

# **ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL**

## **FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA**

**DISEÑO DEL SISTEMA TELEFÉRICO TIPO TURÍSTICO DE 700 m DE  
LONGITUD ENTRE EL BARRIO 6 DE DICIEMBRE Y BALNEARIO DE  
LA SUCIA, UBICADOS EN EL CANTÓN SAN MIGUEL DE LOS  
BANCOS**

**VOLUMEN I**

**PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO MECÁNICO**

**LOAYZA LOAYZA CRISTHIAN RICARDO**

[crsthian\\_loayza@hotmail.es](mailto:crsthian_loayza@hotmail.es)

**ZAPATA HIDALGO DANIEL ROBERTO**

[zdanielrob88@hotmail.es](mailto:zdanielrob88@hotmail.es)

**DIRECTOR: ING. MDI. CARLOS BALDEÓN VALENCIA**

[carlosbaldeon@hotmail.com](mailto:carlosbaldeon@hotmail.com)

Quito, Septiembre 2012

## DECLARACIÓN

Nosotros, **Cristhian Ricardo Loayza Loayza y Daniel Roberto Zapata Hidalgo**, declaramos bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de nuestra autoría; que no ha sido previamente presentada para ningún grado o calificación profesional; y, que hemos consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración cedemos nuestros derechos de propiedad intelectual correspondientes a este trabajo, a la Escuela Politécnica Nacional, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normatividad institucional vigente.

---

Loayza Loayza Cristhian Ricardo

---

Zapata Hidalgo Daniel Roberto

## CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por **Cristhian Ricardo Loayza Loayza y Daniel Roberto Zapata Hidalgo** bajo nuestra supervisión.

---

**Ing. MDI. Carlos Baldeón Valencia**  
**DIRECTOR DEL PROYECTO**

---

**Ing. Galo Homero Barragán**  
**CODIRECTOR DEL PROYECTO**

## AGRADECIMIENTO

A Dios por permitirme cumplir mis sueños.

A mis padres por su amor incondicional hacia mi persona demostrando su apoyo en cada paso importante de mi vida, siendo mi pilar e inspiración para ser cada día mejor persona basado en su ejemplo de fidelidad y cariño mutuo, queriendo dar lo mejor siempre.

Al Ingeniero Carlos Baldeón por ser un maestro, profesor y amigo permitiéndonos abrirnos al mundo de la Ingeniería en toda su dimensión, ser una guía durante el desarrollo de esta tesis y mostrarnos el camino adecuado para conseguir los objetivos trazados.

Ingeniero Barragán por la guía dada durante la realización de la tesis, debido a que su aporte fue importante para comprender aspectos que influyentes en el funcionamiento del teleférico.

Al Ingeniero Marcelo Carrera por abrirnos las puertas al entendimiento práctico de la ingeniería y permitirnos participar en proyectos vitales para el desarrollo del país y de nosotros como profesionales, además de brindarnos importantes consejos tanto en el aspecto profesional como personal.

A mis tíos Zoraida y Yofre, a quienes no tengo palabras para agradecerles todo el apoyo y cariño brindados en diferentes aspectos de mi vida, muchas gracias.

Al Homero demostrarme el significado de un amigo y brindarme un empujón cuando lo necesitaba.

A todas mis panas de la universidad (Adri, Raúl, Wilmer, Danny, Esteban, Carlos, Pato) con quienes comparto lazos de amistad que van más allá de la universidad pudiendo contar mutuamente el resto de nuestras vidas.

A mi pana Cristian con el cual siempre puedo contar, siendo un verdadero amigo, y con quien espero mantener una amistad de por vida.

A mi primo Mickely por apoyarme y comprenderme, siendo más que un hermano.

A mis amigos de Lago Agrio (Arturo, Tefa, Guti, Bryan) con quienes he desarrollado fuertes lazos de amistad, pudiendo apreciar y compartir grandes momentos en mi vida, que ojala se sigan repitiendo.

A toda mi familia por apoyarme incondicionalmente.

A mi compañero de tesis Daniel a quien considero un amigo, siendo una persona confiable, sincera y un apoyo a lo largo de mi carrera.

### **Cristhian**

A mis padres y hermanos por ser mi apoyo en todas las actividades que me propuesto realizar.

Al Ingeniero Carlos Baldeón por su acertada dirección en el desarrollo de este proyecto.

Al Ingeniero Homero Barragán por su invaluable colaboración para la culminación de este proyecto.

Al Ingeniero Marcelo Carrera por permitirnos ser partícipes de proyectos que aportaron experiencia al desarrollo de este proyecto.

A la Escuela Politécnica Nacional y a mi querida Facultad de Ingeniería Mecánica por permitirme la oportunidad de superarme como persona y como profesional.

A los profesores de la Facultad de Ingeniería Mecánica quienes supieron transmitirme sus conocimientos y experiencias, y también por enseñarme que no existe mejor satisfacción que la del deber cumplido.

A mis amigos de la facultad (Adri, Gaby, Raúl, Wilmer, Danny, Homero, Cristhian, Esteban, Edison, Ricardo, Xavier, Jesús) con quienes compartí una época de mi vida inolvidable y forme lazos de amistad que no se romperán jamás.

A mis amigos del barrio (Paola, Nathy, Jessica, Gaby, Raúl, Alex, Andrés) por brindarme su amistad incondicional y compartir momentos gratos en el transcurso de mi vida.

A toda mi familia por darme todo el apoyo y confianza en esta etapa de mi vida.

Daniel

## DEDICATORIA

A Dios por ser mi guía a lo largo del camino transitado.

A mis padres quienes son mi ejemplo a seguir y mi orgullo, siendo las personas más maravillosas de mi vida, los quiero mucho.

A mis abuelos quienes me inspiraron con su amor y cariño, y los cuales debo mucho valores como persona.

Cristhian

A mis padres Fanny y Miguel quienes me brindaron todo lo que un hijo puede desear, su amor infinito.

A mis hermanos Erika y Andrés quienes comparten conmigo todos los buenos y malos momentos que el entorno familiar conlleva.

Para ustedes este trabajo con mucho amor.

Daniel

## TABLA DE CONTENIDO

<b>1</b>	<b>FUNDAMENTOS TEÓRICOS.....</b>	<b>1</b>
1.1	INTRODUCCIÓN.....	1
1.2	DEFINICIÓN DE TELEFÉRICO.....	1
1.3	HISTORIA.....	2
1.4	TIPOS DE TELEFERICOS. ....	4
1.4.1	POR EL TIPO DE CABINA DE CARGA.....	4
1.4.1.1	Telecabina.....	4
1.4.1.2	Telebén.....	4
1.4.1.3	Telesilla.....	4
1.4.2	POR EL SISTEMA DE MOVIMIENTO.....	5
1.4.2.1	De vaivén.....	5
1.4.2.2	Unidireccionales.....	6
1.4.3	POR EL NÚMERO DE CABLES.....	6
1.4.3.1	Monocables.....	6
1.4.3.2	Bicables.....	7
1.4.3.3	Tricables.....	8
1.4.4	POR LA FORMA DE SUJECIÓN DEL VEHÍCULO.....	8
1.4.4.1	Instalaciones de pinza fija.....	8
1.4.4.2	Instalaciones de pinza embragable o automática.....	8
1.4.5	POR LA SITUACIÓN DEL PUESTO DE MANDO.....	9
1.4.6	POR EL SISTEMA DE MANDO DEL MOVIMIENTO.....	9
1.4.6.1	Mando manual.....	9
1.4.6.2	Mando automático.....	9
1.5	ELEMENTOS CONSTITUTIVOS DEL SISTEMA TELEFÉRICO.....	9
1.5.1	COMPONENTES ESTRUCTURALES.....	10
1.5.1.1	Sistemas de cables.....	10
1.5.1.2	Sistemas de apoyo.....	10
1.5.1.2.1	Elemento Pendular.....	10
1.5.1.2.2	Elemento Rígido.....	10

1.5.1.2.3 Elemento flexible. ....	11
1.5.1.3 Anclajes. ....	11
1.5.1.3.1 Bloques de anclaje. ....	11
1.5.1.3.2 Barras de anclaje. ....	11
1.5.2 CABLE. ....	11
1.5.3 TORRES. ....	12
1.5.4 CIMENTACIÓN. ....	13
1.5.4.1 Generalidades. ....	13
1.5.4.2 Estudios geotécnicos. ....	14
1.5.5 SISTEMAS DE ANCLAJE. ....	14
1.6 IMPLANTACIÓN DEL PROYECTO. ....	16
1.6.1 DESCRIPCIÓN DEL SECTOR. ....	16
1.6.2 UBICACIÓN DEL SISTEMA TELEFÉRICO. ....	16
1.6.3 TRAYECTORIA DEL SISTEMA TELEFÉRICO. ....	17
1.6.4 CARACTERIZACIÓN DEL MEDIO AMBIENTE FÍSICO. ....	17
1.6.4.1 Clima. ....	17
1.6.4.2 Morfología de pendientes. ....	18
1.6.4.3 Suelos. ....	18
1.6.4.4 Hidrología. ....	18
1.6.5 CARACTERIZACIÓN DEL MEDIO BIOLÓGICO. ....	18
1.6.5.1 Formaciones vegetales. ....	19
1.6.5.1.1 Bloque lluvioso montano bajo. ....	19
1.6.5.1.2 Bosque siempre-verde pie-montano. ....	19
1.6.5.2 FAUNA. ....	20
1.6.5.2.1 Mamíferos. ....	20
1.6.5.2.2 Aves. ....	21
1.6.5.2.3 Anfibios y reptiles. ....	22
1.6.5.2.4 Peces. ....	22
1.6.5.2.5 Insectos. ....	22
1.6.5.3 Flora del recinto del Rio Blanco. ....	23
1.7 JUSTIFICACION DEL PROYECTO. ....	24



1.8 PARÁMETROS DE DISEÑO.....	25
1.8.1 EMPLAZAMIENTO.....	25
1.8.2 TRAZADO.....	25
1.8.3 PERFIL.....	25
1.8.4 DISTANCIA MÍNIMA AL SUELO.....	25
1.8.5 VELOCIDAD DE FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA.....	25
1.8.6 INTERVALO MÍNIMO ENTRE DOS VEHÍCULOS.....	28
1.8.7 CAPACIDAD Y ACOMPAÑAMIENTO DE LOS VEHÍCULOS.....	29
1.8.7.1 Determinación de la capacidad de los vehículos.....	29
1.8.7.2 Dimensionamiento de las sillas: .....	29
1.8.7.3 Carga de un vehículo.....	29
1.8.8 SOPORTES DE APOYO.....	30
1.8.8.1 Sistemas bicables.....	30
1.8.8.2 Sistema monocables.....	31
1.8.9 ESPECIFICACIONES DEL SISTEMA TELEFÉRICO.....	32
1.8.10 PROTECCIÓN SUPERFICIAL.....	32
1.8.10.1 Galvanizado.....	32
1.8.10.2 Pintura.....	33
1.8.10.2.1 Protección por pintura de una estructura metálica.....	34
1.8.10.3 REQUISITOS ESPECÍFICOS DEL SISTEMA TELEFÉRICO.....	35
1.8.10.3.1 Superficies Inaccesibles.....	35
1.8.10.3.2 Superficies en Contacto.....	35
1.8.10.4 Superficies maquinadas.....	36
1.8.10.4.1 Superficies adyacentes a las soldaduras de obra.....	36
1.8.10.4.2 Espesor de la capa de pintura.....	36
1.8.11 SEGURIDAD DEL SISTEMA.....	37
1.8.11.1 Equipos.....	37
1.8.11.2 Control.....	37
1.8.11.3 Normas de uso.....	38
1.8.11.4 Límites de la tensión en el cable tractor.....	38
1.8.11.5 Parada de emergencia.....	38

1.8.11.6	Condiciones climáticas.....	38
1.8.11.7	Seguridad del entorno.....	39
1.8.11.8	Protección contra rayos.....	39
1.8.11.9	Puesta a tierra.....	39
<b>2</b>	<b>ANÁLISIS ESTRUCTURAL.....</b>	<b>40</b>
2.1	ANÁLISIS DE LA TRAYECTORIA DEL TELEFÉRICO .....	40
2.2	DISEÑO DEL CABLE.....	41
2.2.1	EXPANSIÓN O CONTRACCIÓN TÉRMICA.....	42
2.2.2	MODELACIÓN MATEMÁTICA DEL CABLE .....	43
2.2.3	DETERMINACIÓN DE CARGAS ACTUANTES EN EL CABLE.....	46
2.2.3.1	Determinación de los tramos existentes en el teleférico .....	46
2.2.3.2	Determinación de las luces y alturas de los tramos .....	47
2.2.3.3	Carga de viento.....	48
2.2.3.4	Cargas vivas y peso muerto (P).....	50
2.2.3.5	Hipótesis de diseño.....	51
2.3	DISEÑO DE LA ESTRUCTURA SOPORTE DEL CONTRAPESO.....	56
2.3.1	DISTANCIA RECORRIDA DEL CONTRAPESO .....	56
2.3.2	DIMENSIONAMIENTO DEL CONTRAPESO.....	57
2.3.3	DISEÑO DE LA ESTRUCTURA SOPORTE DEL CONTRAPESO.....	58
2.3.3.1	Diseño de los elementos de soporte principales .....	59
2.3.3.2	Diseño del elemento soporte direccional.....	62
2.4	ANÁLISIS DE LA ESTRUCTURAS DE SOPORTE.....	64
2.4.1	COMBINACIONES DE CARGA DE DISEÑO.....	64
2.4.1.1	CARGA VIVA EN LA TORRE.....	65
2.4.1.1.1	Soporte de ascenso de las sillas. ....	67
2.4.1.1.2	Soporte por donde descienden las sillas. ....	67
2.4.1.2	Cálculo de las reacciones en la torre sometida a sismo.....	69
2.4.1.3	Cálculo de las reacciones en la torre sometida a viento .....	70
2.5	DISEÑO DE LAS TORRES DE SOPORTE.....	71
2.6	SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS.....	72

2.6.1	SELECCIÓN DEL TIPO DE TORRE.....	73
2.6.2	EFFECTOS POR TORSIÓN .....	75
2.6.3	DISEÑO POR FLEXO-COMPRESIÓN.....	77
2.6.3.1	Esfuerzos permisibles.....	78
2.6.3.2	Longitud efectiva de los miembros en compresión.....	79
2.6.3.3	Análisis a compresión .....	80
2.6.3.4	Flexión en el plano YZ.....	83
2.6.3.5	Flexión en el plano XZ.....	86
2.6.4	DISEÑO DE LA CIMENTACIÓN .....	91
2.6.4.1	Diseño de la placa base .....	92
2.6.4.2	Diseño de los pernos de anclaje .....	94
2.6.4.3	Diseño de la zapata de cimentación.....	96
2.6.5	DISEÑO DEL TUBO SOPORTE DE LA TORRE.....	97
2.7	DISEÑO DE LA ESTACIÓN DE SALIDA.....	101
2.7.1	SELECCIÓN DEL MODELO DE LA ESTACIÓN DE SALIDA .....	102
2.7.2	ESQUEMA DE FUERZAS ACTUANTES EN LA ESTACIÓN.....	104
2.7.3	CARGA DE SISMO PARA LA ESTACIÓN DE SALIDA .....	105
2.7.3.1	Carga sísmica reactiva (W) .....	105
2.7.3.2	Cortante basal de diseño .....	106
2.7.3.2.1	Factor de importancia .....	106
2.7.3.2.2	Aceleración espectral .....	107
2.7.3.2.3	Tipo de suelo .....	108
2.7.3.2.4	Periodo de vibración T .....	110
2.7.3.2.5	Factor de reducción de respuesta estructural.....	110
2.7.3.2.6	Factores de configuración estructural.....	110
2.7.4	DISEÑO DE LA VIGA PRINCIPAL .....	110
2.7.5	DISEÑO DE LA COLUMNA A FLEXO-COMPRESIÓN .....	117
2.7.5.1	Análisis a compresión .....	117
2.7.5.2	Flexión en el plano YZ.....	119
2.7.5.3	Flexión en el plano XZ.....	120
2.7.6	DISEÑO DE LA CIMENTACIÓN DE LA ESTACIÓN.....	121

2.7.6.1	Diseño de la placa base .....	121
2.7.6.2	Diseño de los pernos de anclaje .....	123
2.7.6.3	Diseño de la zapata de cimentación.....	124
2.8	DISEÑO DE LA ESTACIÓN DE LLEGADA.....	124
2.8.1	SELECCIÓN DEL MODELO DE LA ESTACIÓN DE LLEGADA .....	125
2.8.2	ESQUEMA DE FUERZAS ACTUANTES EN LA ESTACIÓN DE LLEGADA.....	127
2.8.3	DISEÑO DEL TUBO SOPORTE SUPERIOR.....	128
2.8.4	ANÁLISIS DEL TUBO SOPORTE INFERIOR.....	131
2.8.5	DISEÑO DE LA COLUMNA PRINCIPAL.....	134
2.8.6	DISEÑO DE LA COLUMNA SECUNDARIA .....	139
2.8.7	DISEÑO DEL TUBO SOPORTE DEL TREN DE POLEA GUIA .....	142
<b>3</b>	<b>SISTEMA DE TRANSMISIÓN DE MOVIMIENTO. ....</b>	<b>144</b>
3.1	DEFINICIÓN.....	144
3.2	SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS.....	144
3.2.1	SELECCIÓN DE LA RUEDA MOTRIZ. ....	144
3.2.1.1	Alternativa 1: Rueda motriz 1 .....	144
3.2.1.2	Alternativa 2: Rueda motriz 2 .....	145
3.2.2	EVALUACIÓN DE ALTERNATIVAS.....	145
3.2.3	SELECCIÓN DEL TREN DE POLEAS.....	148
3.2.3.1	Alternativa 1: tren de poleas 1 (doble placa). ....	148
3.2.3.2	Alternativa 2: tren de poleas 2 (placa simple).....	148
3.2.4	EVALUACIÓN DE ALTERNATIVAS.....	149
3.3	DISEÑO DEL SISTEMA DE TRANSMISIÓN DE MOVIMIENTO.....	151
3.3.1	DISEÑO DE LAS RUEDAS MOTRIZ Y DE REENVÍO.....	151
3.3.1.1	Consideraciones de diseño. ....	151
3.3.1.2	Determinación del diámetro óptimo de la polea motriz.....	152
<b>3.3.1.2.1</b>	Consideraciones de cálculo.....	155
3.3.1.2.2	Cálculo.....	155
3.3.1.3	Diseño del canal exterior.....	158

3.3.1.3.1	Análisis de estructuras con miembros curvos.....	158
3.3.1.3.2	Notación, coordenadas y constantes de arcos parabólicos simétricos sin articulaciones. ....	158
3.3.1.3.3	Cargas de diseño.....	160
3.3.1.3.4	Consideraciones de diseño.....	163
3.3.1.3.5	Cálculo.....	164
3.3.1.4	Diseño de los brazos.....	170
3.3.1.4.1	Cargas de diseño.....	171
3.3.1.4.2	Consideraciones de diseño.....	171
3.3.1.4.3	Cálculo.....	172
3.3.1.5	Diseño del soporte interior.....	175
3.3.1.5.1	Criterio de Von Misses.....	175
3.3.1.5.2	Consideraciones de diseño.....	176
3.3.1.5.3	Cargas de diseño.....	176
3.3.1.5.4	Simulación. ....	177
3.3.2	DISEÑO DEL TREN DE POLEAS.....	181
3.3.2.1	Características del tren de poleas. ....	181
3.3.2.2	Determinación del número de poleas.....	182
3.3.2.2.1	Cálculo.....	185
3.3.2.3	Cargas de diseño. ....	187
3.3.2.4	Selección de rodamientos. ....	187
3.3.2.4.1	Rodamientos solicitados dinámicamente.....	189
3.3.2.4.2	Cálculo.....	191
3.3.2.5	Diseño de la polea.....	193
3.3.2.5.1	Cilindros de pared gruesa.....	194
3.3.2.5.2	Consideraciones de cálculo. ....	196
3.3.2.5.3	Cálculo.....	197
3.3.2.6	Diseño de ejes de soporte.....	198
3.3.2.6.1	Cálculo.....	199
3.3.2.7	Diseño de la estructura de soporte.....	201
3.3.2.7.1	Consideraciones de cálculo. ....	204

3.3.2.8	Diseño del sistema de seguridad anti-descarrilamiento. ....	210
3.3.2.8.1	Cargas de diseño.....	211
3.3.3	DISEÑO DEL EJE. ....	213
3.3.3.1	Consideraciones de diseño. ....	213
3.3.3.2	Cargas de diseño. ....	214
3.3.3.2.1	Diseño estático. ....	215
3.3.3.2.2	Diseño dinámico. ....	217
3.3.3.2.3	Selección de chumaceras.....	225
3.3.4	DISEÑO DEL CARRO MÓVIL.....	227
<b>4</b>	<b>POTENCIA DEL SISTEMA.....</b>	<b>230</b>
4.1	SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS.....	230
4.1.1	ALTERNATIVA 1: Sistema de potencia con motor eléctrico. ....	230
4.1.1.1	Funcionamiento y Características. ....	230
4.1.1.2	Ventajas. ....	232
4.1.1.3	Desventajas.....	232
4.1.2	ALTERNATIVA 2: Sistema de potencia con motor hidráulico ....	233
4.1.2.1	Funcionamiento y características. ....	233
4.1.2.2	Ventajas. ....	233
4.1.2.3	Desventajas.....	234
4.1.3	EVALUACIÓN DE ALTERNATIVAS.....	234
4.2	DETERMINACION DE LA POTENCIA DEL SISTEMA. ....	236
4.2.1	POTENCIA DE ARRANQUE.....	236
4.2.1.1	Fuerza para acelerar el cable.....	237
4.2.1.2	Fuerza para acelerar los vehículos de transporte. ....	237
4.2.1.3	Torque para acelerar angularmente la rueda motriz y de reenvío..	238
4.2.1.4	Torque para acelerar angularmente las ruedas del tren de poleas.	239
4.2.1.5	Torque para acelerar angularmente el segmento de cable enrollado en la rueda.....	240
4.2.1.6	Consideraciones de cálculo.....	241
4.2.1.7	Cálculo. ....	241

4.2.1.8	Potencia de arranque del sistema.....	243
4.2.2	POTENCIA DE FUNCIONAMIENTO.....	243
4.2.2.1	Fuerza para levantar los vehículos de transporte.....	244
4.2.2.2	Fuerza para vencer el rozamiento de rodamientos en ruedas y poleas.....	244
4.2.2.3	Torque para doblar elásticamente el cable alrededor de las ruedas. .....	245
4.2.2.4	Consideraciones de cálculo.....	245
4.2.2.5	Cálculo. ....	245
4.2.2.6	Potencia de arranque del sistema.....	246
4.2.2.7	Sistema de transmisión de potencia.....	247
4.2.2.7.1	Selección del motor de potencia.....	247
4.2.2.7.2	Selección de la cadena de transmisión. ....	249
4.2.2.7.3	Diseño de la rueda dentada.....	257
<b>5</b>	<b>DISEÑO DEL CONJUNTO SILLAS.....</b>	<b>260</b>
5.1	DISEÑO DE LAS SILLAS.....	260
5.2	DISEÑO DE LA TUBERÍA PRINCIPAL DE SOPORTE.....	263
5.2.1	ANÁLISIS DE LA SECCIÓN CURVA DEL SOPORTE PRINCIPAL.....	268
5.3	DISEÑO DEL TUBO PRINCIPAL DE SOPORTE.....	271
5.4	DISEÑO DEL ELEMENTO SUJETADOR DE LA UNIÓN SILLA SOPORTE .	273
5.5	DISEÑO DEL ELEMENTO DE SEGURIDAD DE LA SILLA.....	276
5.5.1	DISEÑO DE LA ESTRUCTURA DE SEGURIDAD.....	276
5.5.2	DISEÑO DE LOS EJES DE SUJECIÓN DEL SISTEMA.....	278
<b>6</b>	<b>DISEÑO DEL SISTEMA DE SUJECIÓN DE LA SILLA.....</b>	<b>280</b>
6.1	DISEÑO DEL BRAZO SOPORTE DE LA SILLA.....	280
6.1.1	DISEÑO DE LOS ELEMENTOS CURVOS DEL BRAZO SOPORTE....	283
6.1.2	DISEÑO DEL SISTEMA DE UNIÓN BRAZO SOPORTE – SILLA.....	284
6.1.2.1	Diseño de las placas del sistema de unión.....	284
6.1.2.2	Diseño del eje de unión del brazo con la canastilla.....	286

6.1.3 DISEÑO DE SISTEMA DE UNIÓN BRAZO SOPORTE DE LA SILLA- GANCHO DE SUJECCIÓN .....	287
6.1.3.1 Diseño del soporte de unión.....	288
6.1.3.2 Diseño del resorte de estabilización.....	290
6.1.3.3 Diseño del perno de sujeción del sistema .....	292
6.1.3.3.1 Diseño estático .....	296
6.1.3.3.2 Diseño a fatiga.....	296
6.1.3.3.3 Torque de apriete .....	296
6.2 DISEÑO DEL SISTEMA DE UNIÓN CABLE-GANCHO DE SUJECCIÓN.....	297
6.2.1 DISEÑO DEL EJE .....	299
6.2.1.1 Análisis del punto A.....	300
6.2.1.2 Análisis del punto D.....	301
<b>7 VERIFICACIÓN DE LOS PROCEDIMIENTOS DE SOLDADURA.....</b>	<b>303</b>
7.1 ESPECIFICACIÓN DEL PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA (WPS).....	303
7.2 REQUERIMIENTOS GENERALES PARA UNA WPS PRECALIFICADA .....	303
7.2.1 VARIABLES ESENCIALES DEL PROCESO DE SOLDADURA .....	303
7.2.2 PROCESO DE SOLDADURA .....	305
7.2.3 MATERIAL BASE .....	305
7.2.4 MATERIAL DE APORTE.....	306
7.2.5 POSICIÓN DE SOLDADURA.....	308
7.2.6 RANGO DE ESPESOR Y DIÁMETRO CALIFICADO .....	310
7.2.7 PASES DE SOLDADURA .....	310
7.2.8 DIMENSIONES DE LA JUNTA.....	311
7.3 DISEÑO DE JUNTAS .....	313
7.3.1 DISEÑO DE JUNTAS CON BISEL DE PENETRACIÓN COMPLETA PARA UNIONES NO TUBULARES. ....	313
7.3.1.1 Consideraciones de diseño.....	313
7.3.1.1.1 Cálculos de la garganta efectiva.....	314
7.3.1.1.2 Longitud efectiva en soldaduras de filete.....	317
7.3.1.1.3 Longitud efectiva curvada.....	317



7.3.1.1.4	Longitud mínima en soldadura intermitente.....	317
7.3.1.1.5	Tamaño máximo de soldadura de filete en uniones de traslape. ....	317
7.3.1.1.6	Area Efectiva de las Soldaduras de Filete. ....	318
7.3.1.1.7	Uniones en T inclinadas.....	318
7.3.1.1.8	Soldaduras en ángulos agudos entre 80°-60° y obtusos mayores que 100°.....	318
7.3.1.1.9	Soldaduras en Ángulos entre 60° y 30°: .....	319
7.3.1.1.10	Soldaduras en Ángulos Menores a 30° .....	319
7.3.1.1.11	Longitud efectiva en uniones en T inclinadas .....	319
7.3.1.2	Cargas actuantes. ....	319
7.3.1.2.1	Esfuerzos en la soldadura de filete.....	319
7.3.1.2.2	Tensión permisible en la soldadura. ....	319
7.3.1.3	Cálculo de la junta.....	320
7.3.1.3.1	Esfuerzos permisibles.....	320
7.3.1.3.2	Esfuerzos en las conexiones soldadas.....	321
7.3.2	JUNTAS DE FILETE PARA UNIONES TUBULARES Y NO TUBULARES .....	323
7.3.2.1	Consideraciones diseño .....	323
7.3.2.1.1	Cálculos de la garganta efectiva.....	324
7.3.2.1.2	Longitud Efectiva (Curvada) .....	325
7.3.2.1.3	Longitud mínima .....	325
7.3.2.1.4	Área Efectiva de las Soldaduras de Filete .....	326
7.3.2.2	Cargas actuantes .....	326
7.3.2.3	Calculo de la junta.....	326
7.3.3	JUNTAS DE PENETRACIÓN COMPLETA PARA UNIONES TUBULARES .....	328
7.3.3.1	Consideraciones diseño .....	328
7.3.3.1.1	Limitaciones de la sección circular .....	328
7.3.3.1.2	Determinación de la longitud efectiva .....	329
7.3.3.1.3	Calculo de a garganta de soldadura .....	330
7.3.3.1.4	Área Efectiva de las Soldaduras.....	330

7.3.3.2	Cargas actuantes .....	331
7.3.3.3	Calculo de las junta .....	331
7.3.4	JUNTAS EN CAÑERÍA.....	331
7.4	INSPECCIÓN DE SOLDADURA.....	332
7.4.1	Métodos de prueba y criterios de aceptación para la calificación de los WPS.....	333
7.4.1.1	Inspección visual.....	333
7.4.1.2	Ensayos no destructivos.....	333
7.5	PRECALIFICACIÓN DE WPS. ....	334
7.6	WPS .....	334
<b>8</b>	<b>ANÁLISIS DE COSTOS .....</b>	<b>335</b>
8.1	COSTOS DE UN PROYECTO.....	335
8.2	DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO .....	335
8.3	ESTUDIO ECONÓMICO DEL PROYECTO.....	336
8.3.1	ESTIMACIÓN DE INGRESOS.....	336
8.3.2	ESTIMACIÓN DE EGRESOS.....	336
8.3.3	DESCRIPCIÓN ECONÓMICA DEL PROYECTO.....	337
8.3.3.1	Duración del proyecto.....	337
8.3.3.2	Costo de la inversión.....	338
8.3.3.3	Ingresos no contemplados.....	338
8.3.4	RESUMEN GENERAL DE TIEMPO DE RECUPERACIÓN DE CAPITAL DE INVERSIÓN DEL PROYECTO TELEFÉRICO LOS BANCOS.....	338
8.3.5	ANÁLISIS DE COSTOS UNITARIOS.....	339
8.3.6	PRESUPUESTO DEL PROYECTO.....	365
<b>9</b>	<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>	<b>366</b>
9.1	CONCLUSIONES.....	366
9.2	RECOMENDACIONES.....	367

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Teleférico de Quito. ....	2
Figura 1.2 Funicular del Monte Ulía en San Sebastián. ....	3
Figura 1.3 Funicular aéreo del Niágara. ....	3
Figura 1.4 Sistema de teleférico por telecabina. ....	4
Figura 1.5 Sistema de teleférico por telesilla. ....	5
Figura 1.6 Sistema de teleférico de vaivén. ....	5
Figura 1.7 Sistemas de teleféricos monocables. ....	6
Figura 1.8 Sistema de teleférico de doble anillo. ....	7
Figura 1.9 Sistema de teleférico bicable. ....	7
Figura 1.10 Sistema teleférico tricable. ....	8
Figura 1.11 Partes del cable metálico. ....	11
Figura 1.12 Torres del sistema teleférico. ....	12
Figura 1.13 Tipos de zapatas según su rigidez. ....	14
Figura 1.14 Anclajes inyectados postensados. ....	15
Figura 1.15 Cascada de La Sucia en el cantón San Miguel de los Bancos. ....	16
Figura 1.16 Ubicación del proyecto. ....	17
Figura 1.17 Cañón del Río Blanco. ....	18
Figura 1.18 Formaciones vegetales del sector. ....	20
Figura 1.19 Mamíferos del sector. (Ratón silvestre, raposa) ....	20
Figura 1.20 Aves típicas del sector. ....	21
Figura 1.21 Reptiles y anfibios del sector. ....	22
Figura 1.22 Pez de la especie Characidae. ....	22
Figura 1.23 Insectos del sector. (Odonato, hemíptera) ....	23
Figura 1.24 Ejemplares de orquídeas presentes en el sector. ....	24
Figura 1.25 Vida media del recubrimiento de pintura en función del espesor. ....	36
Figura 2.1 Estudio topográfico del terreno ....	40
Figura 2.2 Perfil de la trayectoria deseada del teleférico. ....	41
Figura 2.3 Esquema de un cable con apoyos a desnivel y con carga en el centro de la luz. ....	44
Figura 2.4 Tramos Presentes en la trayectoria del teleférico. ....	46

Figura 2.5 Dimensiones del contrapeso. ....	58
Figura 2.6 Esquema de fuerzas actuantes en el soporte .....	58
Figura 2.7 Diagrama de fuerza cortante y momento flector plano XZ. ....	59
Figura 2.8 Diagrama de fuerza cortante y momento flector plano XY. ....	59
Figura 2.9 Diagrama de fuerza de compresión. ....	59
Figura 2.10 Diagrama de fuerza cortante y momento flector plano XZ. ....	62
Figura 2.11 Diagrama de fuerza cortante y momento flector plano x-y .....	63
Figura 2.12 Diagrama de fuerza de compresión. ....	63
Figura 2.13 Esquema de fuerzas actuantes en la torre. ....	65
Figura 2.14 Diagrama de cuerpo libre del brazo por donde ascienden las sillas.....	66
Figura 2.15 Diagrama de cuerpo libre del brazo por donde bajan las sillas .....	67
Figura 2.16 Diagrama de cuerpo libre de la torre .....	68
Figura 2.17 Alternativas (a) Estructura tubular y (b) Estructura en celosía .....	73
Figura 2.18 Factores de longitud efectiva para columnas. ....	80
Figura 2.19 Esquema de fuerzas actuantes en la torre. ....	85
Figura 2.20 Diagrama de esfuerzo cortante y momento flector plano yz .....	85
Figura 2.21 Esquema de fuerzas actuantes en la torre. ....	87
Figura 2.22 Diagrama de esfuerzo cortante y momento flector plano xz .....	87
Figura 2.23 Medidas principales para la cimentación.....	91
Figura 2.24 Medidas principales de la placa .....	92
Figura 2.25 Viga de ancho unitario.....	93
Figura 2.26 Esquema de momento máximo en la placa .....	93
Figura 2.27 Esquema general del brazo soporte del tren de poleas .....	97
Figura 2.28 Forma que de apoyo del brazo soporte.....	97
Figura 2.29 Diagrama de fuerza cortante y momento flector plano XZ. ....	97
Figura 2.30 Diagrama de fuerza cortante y momento flector plano x-y .....	98
Figura 2.31 Esquema de la sección compuesta.....	99
Figura 2.32 (a) Estación en celosía tubular y (b) Estación tubular .....	103
Figura 2.33 Esquema de fueras actuantes en la estación.....	104
Figura 2.34 Mapa de zonas sísmicas del Ecuador.....	107
Figura 2.35 Tipo de suelo y factores de sitio Fa.....	108

Figura 2.36 Tipo de suelo y factores de sitio $F_d$ .....	108
Figura 2.37 Tipo de suelo y factores del comportamiento elástico del subsuelo $F_s$ ....	109
Figura 2.38 Diagrama de fuerza cortante y momento flector plano y-z.....	111
Figura 2.39 Diagrama de fuerza cortante y momento flector plano x-y.....	111
Figura 2.40 Esquema de la sección modificada.....	112
Figura 2.41 Deflexión en la estructura.....	116
Figura 2.42 Fuerza axial de compresión.....	118
Figura 2.43 Diagrama de fuerza cortante y momento flector plano YZ.....	119
Figura 2.44 Diagrama de fuerza cortante y momento flector plano XZ.....	120
Figura 2.45 (a) Estación con Tubería, (b) Estación Sólida.....	126
Figura 2.46 Esquema de fuerzas actuantes en la estación de llegada.....	127
Figura 2.47 Elementos principales de la estación.....	128
Figura 2.48 Esquema del soporte actuando a compresión.....	128
Figura 2.49 Diagrama de esfuerzos a compresión YZ.....	129
Figura 2.50 Diagrama de fuerza cortante y momento flector YZ.....	129
Figura 2.51 Diagrama de fuerza cortante y momento flector XY.....	129
Figura 2.52 Esquema de fuerzas en el soporte inferior.....	132
Figura 2.53 Diagrama de esfuerzos a compresión XY.....	132
Figura 2.54 Diagrama de fuerza cortante y momento flector XY.....	132
Figura 2.55 Diagrama de fuerza cortante y momento flector YZ.....	132
Figura 2.56 Diagrama de esfuerzos a compresión y-z.....	134
Figura 2.57 Diagrama de fuerza cortante y momento flector y-z.....	135
Figura 2.58 Diagrama de fuerza cortante y momento flector x-z.....	135
Figura 2.59 Diagrama de esfuerzos a compresión y-z.....	139
Figura 2.60 Diagrama de fuerza cortante y momento flector y-z.....	139
Figura 2.61 Diagrama de fuerza cortante y momento flector x-z.....	139
Figura 2.62 Diagrama de fuerza cortante y momento flector x-z.....	142
Figura 2.63 Diagrama de fuerza cortante y momento flector x-y.....	142
Figura 3.1 Esquema del tren de poleas 1.....	148
Figura 3.2 Esquema del tren de poleas 2.....	148
Figura 3.3 Elementos principales de la rueda motriz.....	151

Figura 3.4 Gráfico para determinar relación $P/Su$ vs. Número de ciclos para vida finita e infinita para 4 diferentes tipos de cables. ....	154
Figura 3.5 Notacion para arcos parabólicos sin articulación. ....	158
Figura 3.6 Coordenadas para arcos parabólicos simétricos sin articulación. ....	159
Figura 3.7 Arco con carga vertical concentrada en la corona. ....	161
Figura 3.8 Diagrama de momento flector resultantes sobre el arco. ....	161
Figura 3.9 Dimensionamiento del perfil de apoyo. ....	163
Figura 3.10 Sección transversal del canal exterior. ....	164
Figura 3.11 Diagramas de cortante y momento flector en el arco exterior. ....	165
Figura 3.12 Reaccione en los empotramientos del arco exterior. ....	165
Figura 3.13 Nomenclatura de análisis. ....	166
Figura 3.14 Diagrama de momento flector presente en los elementos de la rueda. ...	166
Figura 3.15 Diagrama de carga axial presente en los elementos de la rueda. ....	167
Figura 3.16 Carga máxima de flexión en el brazo 2 de la rueda. ....	168
Figura 3.17 Carga axial máxima en el brazo 4 de la rueda. ....	168
Figura 3.18 Carga máxima de flexión en el elemento curvo 10. ....	168
Figura 3.19 Estado de carga crítico del brazo de la rueda. ....	171
Figura 3.20 Sección transversal del brazo de la rueda. ....	172
Figura 3.21 Sección de compresión en los planos de flexión. ....	173
Figura 3.22 Diagramas de momento flector del brazo. ....	174
Figura 3.23 Esfuerzos de Von Misses. (Tensión del cable) ....	177
Figura 3.24 Desplazamientos máximos. (Tensión del cable) ....	177
Figura 3.25 Factor de seguridad. (Tensión del cable) ....	178
Figura 3.26 Esfuerzos de Von Misses. (Peso de la estructura). ....	179
Figura 3.27 Desplazamiento máximo. (Peso de la estructura) ....	179
Figura 3.28 Factor de seguridad. (Peso de la estructura) ....	179
Figura 3.29 Longitud mínima del tren de poleas. ....	182
Figura 3.30 Ángulo de corrección por polea. ....	183
Figura 3.31 Rodamiento de la polea. ....	193
Figura 3.32 Esquema de la polea. ....	193
Figura 3.33 Distribución de esfuerzos radiales y tangenciales. ....	194

Figura 3.34 Viga en cantiléver con carga y momento concentrada en cualquier punto de su longitud. ....	198
Figura 3.35 Carga de flexión sobre la estructura de soporte. ....	201
Figura 3.36 Diagrama de esfuerzo cortante y momento flector actuantes sobre la estructura de soporte. ....	201
Figura 3.37 Sección transversal de la estructura de soporte (a) menor, (b) media, (c) mayor. ....	202
Figura 3.38 Efecto de torsión presente en las estructuras de soporte. ....	203
Figura 3.39 Diagrama de momento torsor actuante en la estructura de soporte. ....	203
Figura 3.40 Geometría del soporte menor. ....	206
Figura 3.41 Esquema del sistema de soporte anti-descarrilamiento. ....	210
Figura 3.42 Esfuerzos de Von Misses actuantes en el elemento. ....	211
Figura 3.43 Desplazamientos máximos del elemento soporte. ....	211
Figura 3.44 Factor de seguridad del elemento soporte. ....	212
Figura 3.45 Estado de carga estático del eje motriz y de reenvío. ....	214
Figura 3.46 Estado de carga dinámico del eje motriz y de reenvío. ....	214
Figura 3.47 Momento flector actuante en el eje motriz y de reenvío. ....	215
Figura 3.48 Diagrama de fatiga para esfuerzo torsional. ....	218
Figura 3.49 Diagrama de resistencia a la fatiga por cortante vs. Número de ciclos. ...	219
Figura 3.50 Factor de acabado superficial. ....	221
Figura 3.51 Geometría del eje de acople. ....	222
Figura 3.52 Factor concentrador de esfuerzos cortantes para cambio de sección. ....	222
Figura 3.53 Estructura del carro móvil. ....	227
Figura 3.54 Esfuerzos de flexión máximos presentes en la estructura. ....	227
Figura 3.55 Esfuerzos torsionales actuantes en la estructura. ....	228
Figura 3.56 Esfuerzos de flexión actuantes en el soporte secundario. ....	228
Figura 3.57 Esfuerzos normales máximos actuantes en la viga central. ....	228
Figura 4.1 Motor Eléctrico. ....	231
Figura 4.2 Motores hidráulicos de caudal fijo, alto torque y bajas rpm. ....	233
Figura 4.3 Esquema de la sección del cable enrollada en la rueda. ....	240
Figura 4.4 Transmisión por cadena de rodillos. ....	247

Figura 4.5 Transmisión de potencia por cadena de rodillos. ....	248
Figura 4.6 Nomenclatura para cadenas de hilera simple, doble y triple. ....	250
Figura 4.7 Diagrama de velocidad para cadenas de rodillos. ....	252
Figura 4.8 Curvas de potencia transmisible cadenas simples. ....	253
Figura 4.9 Diagrama de cuerpo libre para un diente de un engrane recto. ....	257
Figura 4.10 Segmento de la rueda dentada mayor. ....	258
Figura 4.11 Esfuerzos de Von Misses presentes en el diente. ....	259
Figura 4.12 Factor de seguridad en el diente. ....	259
Figura 4.13 Desplazamiento máxima del diente. ....	259
Figura 5.1 Esquema de fuerzas actuantes en la silla. ....	262
Figura 5.2 Esquema de momento flector en la silla doble. ....	262
Figura 5.3 Diagramas de fuerza cortante y momento flector x-z. ....	263
Figura 5.4 Diagramas de fuerza cortante y momento flector x-y. ....	263
Figura 5.5 Esquema de la sección de la tubería principal. ....	265
Figura 5.6 Deflexión del perfil crítico. ....	266
Figura 5.7 Diagrama de esfuerzo cortante y momento flector de la sección. ....	268
Figura 5.8 Diagrama de la sección cortante. ....	268
Figura 5.9 Dimensiones importantes en una viga curva. ....	269
Figura 5.10 Diagramas de fuerza cortante y momento flector x-z. ....	271
Figura 5.11 Diagramas de fuerza cortante y momento flector x-y. ....	271
Figura 5.12 Diagrama de fuerza a tensión. ....	272
Figura 5.13 Esquema de la sección compuesta. ....	273
Figura 5.14 Elemento de análisis. ....	274
Figura 5.15 Detalle del cilindro de pared gruesa. ....	274
Figura 5.16 Esquema de fuerzas actuantes. ....	276
Figura 5.17 Diagramas de fuerza cortante y momento flector x-y. ....	277
Figura 5.18 Diagramas de fuerza cortante y momento flector x-z. ....	277
Figura 5.19 Diagramas de Fuerzas de compresión. ....	277
Figura 5.20 Diagramas de fuerza cortante y momento flector x-y. ....	278
Figura 5.21 Diagramas de fuerza cortante y momento flector x-z. ....	278
Figura 6.1 Esquema del conjunto silla. ....	280



Figura 6.2 Esquema de fuerzas actuantes en el brazo soporte .....	281
Figura 6.3 Diagramas de fuerza cortante y momento flector x-y .....	281
Figura 6.4 Diagramas de fuerza cortante y momento flector x-z .....	281
Figura 6.5 Esquema del sistema de unión brazo soporte-silla .....	284
Figura 6.6 Elemento de análisis del cilindro de pared gruesa .....	284
Figura 6.7 Esquema de fuerzas actuantes en el eje de unión .....	286
Figura 6.8 Factor de seguridad obtenido mediante el programa Inventor .....	286
Figura 6.9 Desplazamiento del eje de unión .....	287
Figura 6.10 Sistema de unión y estabilización de la silla .....	288
Figura 6.11 Soporte de unión .....	288
Figura 6.12 Funcionamiento del gancho de sujeción .....	297
Figura 6.13 Factor de seguridad .....	298
Figura 6.14 Desplazamientos .....	298
Figura 6.15 Esfuerzos máximos .....	298
Figura 6.16 Esquema del eje .....	299
Figura 6.17 Diagrama de momento flector x-y .....	299
Figura 6.18 Diagrama de momento flector x-z .....	300
Figura 6.19 Sección en el punto A .....	300
Figura 7.1 Ubicación de juntas en la rueda motriz. ....	313
Figura 7.2 Sección transversal de la junta a filete. ....	314
Figura 7.3 Componentes de esfuerzos en un elemento. ....	321
Figura 7.4 Ubicación de la junta en las torres .....	323
Figura 7.5 Ubicación de la junta en las estaciones. ....	323
Figura 7.6 Detalle de soldadura en la estación de salida. ....	328
Figura 7.7 Juntas que no requieren calificación. ....	332

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1 Distancias admisibles para vehículos con pinza fija. ....	28
Tabla 1.2 Especificaciones del sistema.....	32
Tabla 1.3 Especificaciones de galvanizado.....	33
Tabla 1.4 Agresividad del clima para diferentes tipos de pinturas.....	34
Tabla 1.5 Tabla comparativa de proceso de preparación de superficie. ....	35
Tabla 2.1 Dimensiones de luces y alturas en los tramos .....	47
Tabla 2.2 Coeficiente Aerodinámico.....	49
Tabla 2.3 Resumen de cargas vivas y peso muerto actuantes sobre el cable. ....	50
Tabla 2.4 Carga máxima presente en cada tramo. ....	50
Tabla 2.5 Factores de seguridad para diferentes tramos y diámetros de cable. ....	54
Tabla 2.6 Factores de seguridad corregidos en el cable.....	55
Tabla 2.7 Longitud del cable a plena carga.....	56
Tabla 2.8 Longitud del cable sin carga por personas. ....	57
Tabla 2.9 Secciones de prueba para el tubo soporte inferior .....	60
Tabla 2.10 Análisis a compresión de las secciones .....	60
Tabla 2.11 Resumen del análisis a flexo-compresión. ....	62
Tabla 2.12 Resumen del análisis a flexo-compresión .....	63
Tabla 2.13 Resumen de fuerzas resultantes en los apoyos de las torres. ....	69
Tabla 2.14 Resumen de cargas considerando sismo.....	69
Tabla 2.15 Resumen de cargas considerando viento .....	71
Tabla 2.16 Evaluación del peso específico de cada criterio .....	73
Tabla 2.17 Evaluación del peso específico del criterio costo. ....	74
Tabla 2.18 Evaluación del peso específico del criterio facilidad de construcción.....	74
Tabla 2.19 Evaluación del peso específico del criterio movilidad.....	74
Tabla 2.20 Evaluación del peso específico del criterio montaje .....	74
Tabla 2.21 Evaluación del peso específico del criterio peso .....	74
Tabla 2.22 Evaluación del peso específico del criterio estética.....	74
Tabla 2.23 Tabla de Conclusiones .....	75
Tabla 2.24 Factor de seguridad para efecto torsor.....	76
Tabla 2.25 Resumen de propiedades de la sección.....	89

Tabla 2.26 Análisis a compresión de las secciones .....	89
Tabla 2.27 Análisis a flexión plano XZ. ....	89
Tabla 2.28 Análisis a flexión plano YZ. ....	89
Tabla 2.29 Resumen de diseño a flexo-compresión .....	90
Tabla 2.30 Propiedades principales de las torres.....	90
Tabla 2.31 Resumen de Criterio ASD .....	90
Tabla 2.32 Resumen del cálculo del centroide.....	100
Tabla 2.33 Resumen de cálculo de la inercia de la sección compuesta .....	100
Tabla 2.34 Evaluación del peso específico de cada criterio .....	102
Tabla 2.35 Evaluación del peso específico del criterio costo .....	103
Tabla 2.36 Evaluación del peso específico del criterio F.D.C.....	103
Tabla 2.37 Evaluación del peso específico del criterio Estabilidad .....	103
Tabla 2.38 Evaluación del peso específico del criterio peso .....	103
Tabla 2.39 Evaluación del peso específico del criterio estética.....	104
Tabla 2.40 Tabla de Conclusiones .....	104
Tabla 2.41 Factor de importancia.....	107
Tabla 2.42 Pórticos resistentes a momentos.....	110
Tabla 2.43 Dimensiones de la sección compuesta .....	113
Tabla 2.44 Inercia de la sección compuesta .....	113
Tabla 2.45 Evaluación del peso específico de cada criterio .....	125
Tabla 2.46 Evaluación del peso específico del criterio: Costo.....	126
Tabla 2.47 Evaluación del peso específico del criterio: Facilidad de construcción.....	126
Tabla 2.48 Evaluación del peso específico del criterio: Estabilidad .....	126
Tabla 2.49 Evaluación del peso específico del criterio: Peso.....	126
Tabla 2.50 Evaluación del peso específico del criterio estética.....	127
Tabla 2.51 Tabla de Conclusiones. ....	127
Tabla 2.52 Secciones de prueba para el tubo soporte superior .....	130
Tabla 2.53 Análisis a compresión de las secciones .....	130
Tabla 2.54 Análisis a flexión plano XY. ....	130
Tabla 2.55 Análisis a flexión plano y-z .....	131
Tabla 2.56 Resumen del análisis a flexo-compresión .....	131

Tabla 2.57 Secciones de prueba para el tubo soporte inferior .....	133
Tabla 2.58 Análisis a compresión de las secciones .....	133
Tabla 2.59 Análisis a flexión plano XY. ....	133
Tabla 2.60 Análisis a flexión plano YZ. ....	134
Tabla 2.61 Resumen del análisis a flexo-compresión .....	134
Tabla 2.62 Secciones de prueba para el tubo soporte inferior .....	135
Tabla 2.63 Análisis a compresión de las secciones .....	136
Tabla 2.64 Análisis a flexión plano y-z .....	138
Tabla 2.65 Análisis a flexión plano x-y .....	138
Tabla 2.66 Resumen del análisis a flexo-compresión .....	138
Tabla 2.67 Secciones de prueba para el tubo soporte inferior .....	140
Tabla 2.68 Análisis a compresión de las secciones .....	140
Tabla 2.69 Análisis a flexión plano y-z .....	141
Tabla 2.70 Análisis a flexión plano x-y .....	141
Tabla 2.71 Resumen del análisis a flexo-compresión .....	141
Tabla 2.72 Resumen de secciones seleccionadas ara la estación de llegada.....	143
Tabla 3.1 Evaluación de peso específico de cada criterio.....	146
Tabla 3.2 Evaluación del peso específico del criterio costo. ....	146
Tabla 3.3 Evaluación del peso específico del criterio facilidad de construcción.....	146
Tabla 3.4 Evaluación del peso específico del criterio confiabilidad. ....	147
Tabla 3.5 Evaluación del peso específico del criterio peso. ....	147
Tabla 3.6 Evaluación del peso específico del criterio movilidad.....	147
Tabla 3.7 Evaluación del peso específico del criterio estética.....	147
Tabla 3.8 Tabla de conclusiones para la selección de alternativas.....	147
Tabla 3.9 Evaluación del peso específico de cada criterio. ....	149
Tabla 3.10 Evaluación del peso específico del criterio costo. ....	149
Tabla 3.11 Evaluación del peso específico del criterio facilidad de construcción.....	149
Tabla 3.12 Evaluación del peso específico del criterio confiabilidad. ....	150
Tabla 3.13 Evaluación del peso específico del criterio peso. ....	150
Tabla 3.14 Evaluación de peso específico del criterio estética. ....	150
Tabla 3.15 Tabla de conclusiones para la selección de alternativas.....	150

Tabla 3.16 Propiedades de distintos tipos de cables. ....	155
Tabla 3.17 Especificaciones del cable. ....	156
Tabla 3.18 Factor de seguridad a fatiga para distintos diámetros de la rueda. ....	157
Tabla 3.19 Valores de constantes de arcos de sección constante. ....	160
Tabla 3.20 Tabla comparativa de resultados. ....	165
Tabla 3.21 Tabla de resultados de fuerzas y momentos en los brazos de la rueda. ....	167
Tabla 3.22 Tabla de resultados de momentos presentes en el canal exterior. ....	169
Tabla 3.23 Propiedades mecánicas del material. ....	170
Tabla 3.24 Factor de seguridad para la sección transversal. ....	170
Tabla 3.25 Propiedades de la sección de compresión en los planos de flexión. ....	174
Tabla 3.26 Reacciones en las juntas del brazo con el soporte interior. ....	177
Tabla 3.27 Tabla de resultados por tensión del cable. ....	178
Tabla 3.28 Tabla de resultados por peso de la estructura. ....	180
Tabla 3.29 Características de la rueda motriz y de reenvío. ....	180
Tabla 3.30 Cambio de dirección del cable. ....	181
Tabla 3.31 Ángulos de corrección para cada torre. ....	185
Tabla 3.32 Longitud mínima del tren de poleas. ....	185
Tabla 3.33 Ángulo de corrección por rueda. ....	185
Tabla 3.34 Número de poleas para cada torre para diferentes diámetros. ....	186
Tabla 3.35 Número de poleas para cada torre. ....	186
Tabla 3.36 Cargas de diseño para el tren de poleas. ....	187
Tabla 3.37 Factores de seguridad para la polea. ....	197
Tabla 3.38 Propiedades mecánicas Acero AISI 4340. ....	200
Tabla 3.39 Factores de seguridad para el eje de soporte de la polea. ....	200
Tabla 3.40 Dimensiones de la estructura de soporte menor. ....	206
Tabla 3.41 Factores de seguridad para el eje de soporte menor. ....	207
Tabla 3.42 Propiedades de la sección transversal. ....	207
Tabla 3.43 Esfuerzos actuantes en la estructura de soporte medio. ....	208
Tabla 3.44 Factores de seguridad para el eje de soporte medio. ....	208
Tabla 3.45 Propiedades de la sección transversal. ....	209
Tabla 3.46 Esfuerzos actuantes en la estructura de soporte mayor. ....	209

Tabla 3.47 Especificaciones del motor de potencia. ....	216
Tabla 3.48 Determinación del diámetro de la rueda motriz y de reenvío.....	217
Tabla 3.49 Factor de confiabilidad. ....	221
Tabla 3.50 Límite de resistencia a la fatiga de la probeta de ensayo.....	223
Tabla 3.51 Factores de corrección del límite de fluencia. ....	224
Tabla 3.52 Medidas del rodamiento del eje motriz y de reenvío (mm). ....	226
Tabla 3.53 Dimensiones del soporte del rodamiento (mm). ....	226
Tabla 4.1 Evaluación del peso específico de cada criterio.....	234
Tabla 4.2 Evaluación de peso específico del criterio costo. ....	235
Tabla 4.3 Evaluación del peso específico del criterio seguridad. ....	235
Tabla 4.4 Evaluación del peso específico del criterio facilidad de montaje. ....	235
Tabla 4.5 Evaluación del peso específico del criterio mantenimiento. ....	235
Tabla 4.6 Evaluación del peso específico del criterio operación. ....	236
Tabla 4.7 Tabla de conclusiones para la selección de alternativas.....	236
Tabla 4.8 Tabla de cálculo de la potencia de arranque.....	242
Tabla 4.9 Tabla resumen potencia de arranque.....	243
Tabla 4.10 Tabla resumen de la potencia de funcionamiento. ....	246
Tabla 4.11 Tabla resumen potencia de arranque.....	246
Tabla 4.12 Especificaciones del motor de potencia. ....	248
Tabla 4.13 Factores de servicio para diferentes tipos de máquinas.....	251
Tabla 4.14 Determinación del número de dientes mínimo para la transmisión de potencia. (Paso 50.8 mm) .....	254
Tabla 4.15 Factor de corrección de cadena simple a múltiple.....	254
Tabla 4.16 Determinación del número de dientes mínimo para la transmisión de potencia. (Paso 44.45 mm) .....	255
Tabla 5.1 Propiedades importantes de la sección compuesta .....	265
Tabla 5.2 Resumen cálculo de inercia de la sección.....	265
Tabla 5.3 Secciones de prueba para el tubo soporte inferior .....	272
Tabla 5.4 Resumen del análisis de la sección.....	273
Tabla 5.5 Resumen sección seleccionada .....	278
Tabla 7.1 Variables esenciales para precalificar un WPS. ....	304

Tabla 7.2 Selección de metal de aporte .....	306
Tabla 7.3 Combinación de metal base y metal de aporte .....	306
Tabla 7.4 Selección del tipo de soldadura y metal de aporte .....	307
Tabla 7.5 Propiedades del electrodo E 7018.....	307
Tabla 7.6 Posiciones de soldadura. ....	309
Tabla 7.7 Rango de espesores .....	310
Tabla 7.8 Dimensiones recomendadas para pases de soldadura.....	310
Tabla 7.9 Detalles de la junta precalificados .....	312
Tabla 7.10 Factores de equivalencia de tamaño de soldadura de filete para juntas en T oblicuas.....	316
Tabla 7.11 Garganta efectiva para las juntas presentes en la rueda. ....	316
Tabla 7.12 Longitudes efectivas para las juntas presentes en la rueda. ....	317
Tabla 7.13 Áreas efectivas de las juntas presentes en la rueda. ....	318
Tabla 7.14 Tensiones permisibles de acuerdo al tipo de esfuerzo aplicado. ....	320
Tabla 7.15 Cargas y características del cordón de soldadura.....	322
Tabla 7.16 Cálculo del área efectiva .....	326
Tabla 7.17 Factores de seguridad dados en la junta.....	327
Tabla 7.18 Cálculo de área efectiva .....	331
Tabla 8.1 Estimación de ingresos proyecto teleférico San Miguel de los Bancos. ....	336
Tabla 8.2 Estimación de egresos proyecto teleférico San Miguel de los Bancos.....	337
Tabla 8.3 Estimación de egresos proyecto teleférico San Miguel de los Bancos.....	337
Tabla 8.4 Tiempo de recuperación del capital de inversión. ....	338
Tabla 8.5 Costos unitarios rueda motriz.....	339
Tabla 8.6 Costos unitarios de la rueda motriz .....	340
Tabla 8.7 Costos unitarios estructura general de soporte .....	341
Tabla 8.8 Costos unitarios ruedas guías .....	342
Tabla 8.9 Costos unitarios del sistema de transmisión .....	343
Tabla 8.10 Costos Unitarios sistema de motor diesel .....	344
Tabla 8.11 Costo unitario sistema hidráulico.....	345
Tabla 8.12 Costo unitario sistema de control .....	346
Tabla 8.13 Costo unitario pararrayos .....	347

Tabla 8.14 Costo unitario obra civil de la estación de salida .....	348
Tabla 8.15 Costo unitario torre direccional 1 .....	349
Tabla 8.16 Costo unitario torre direccional 2 .....	350
Tabla 8.17 Costo unitario torre direccional 3 .....	351
Tabla 8.18 Costo unitario torre direccional 4 .....	352
Tabla 8.19 Costo unitario tren de poleas .....	353
Tabla 8.20 Costo unitario obra civil 4 torres .....	354
Tabla 8.21 Costo unitario rueda motriz .....	355
Tabla 8.22 Costo unitario soporte rueda motriz.....	356
Tabla 8.23 Costo unitario estructura general de soporte (Estación de llegada) .....	357
Tabla 8.24 Costo unitario ruedas guías (Estación de llegada) .....	358
Tabla 8.25 Costo unitario pararrayos (Estación de llegada).....	359
Tabla 8.26 Costo unitario obra civil estación de salida.....	360
Tabla 8.27 Costo unitario cable.....	361
Tabla 8.28 Costo unitario sillas dobles .....	362
Tabla 8.29 Costo unitario sistema de comunicación .....	363
Tabla 8.30 Costo unitario galvanizado .....	364
Tabla 8.31 Presupuesto detallado del proyecto teleférico los bancos .....	365



## RESUMEN

San Miguel de los Bancos es un cantón con enorme potencial turístico, campo que aún no se ha desarrollado completamente. Sin duda la ejecución de la carretera que va a Santo Domingo traerá grandes oportunidades de desarrollo y progreso para sus habitantes. El Alcalde y las Autoridades están empeñados en dirigir sus esfuerzos al desarrollo del cantón para convertirlo en el punto de mayor atractivo turístico de la provincia, aprovechando la seducción que brindan al turista la variedad de ríos, cascadas, senderos naturales y principalmente la gran diversidad de fauna con que cuenta.

El presente proyecto consta de nueve capítulos, en los cuales se presenta el diseño de los diferentes elementos que forman el sistema teleférico, su contenido se detalla a continuación:

En el capítulo 1, se realiza la introducción a los diferentes tipos de transporte por cable de personas existentes con sus características propias. También se justifica la posible implantación del proyecto en el sector considerando su atractivo natural con gran variedad de flora y fauna existente. De igual manera se detallan las consideraciones básicas que influyen en ciertos elementos del sistema teleférico. Finalmente se realiza un análisis de los sistemas de protección anticorrosiva de los elementos estructurales, así como de la seguridad en la operación del teleférico.

En el capítulo 2, se presenta las condiciones topográficas del terreno en donde se implementará el proyecto, analizando la trayectoria deseada, número de pasajeros, tensiones generadas, selección del tipo cable, análisis del diámetro óptimo del cable, luces y altura de los distintos tramos del teleférico. Estos parámetros sirven de base para el diseño estructural del sistema el cual está constituido por el contrapeso, torres de soporte, estación de salida y estación de llegada, seleccionando la sección óptima en cada caso que brinde las condiciones de seguridad y estética adecuadas de acuerdo a criterios de seguridad de la AISC.

En el capítulo 3, se muestra el diseño de los elementos que forman parte del sistema de transmisión de movimiento, en primera instancia se realiza un proceso de

selección de las características que forman parte de éste mediante una evaluación de alternativas. En base a la funcionalidad de cada elemento se realiza el diseño de los mismos aplicando la teoría existente para elementos curvos, elementos sometidos a cargas de flexo-compresión, cilindros de pared gruesa etc.

En el capítulo 4, se presenta el cálculo de la potencia de arranque y funcionamiento necesario para dar movilidad al teleférico, de igual manera se realiza un proceso de selección del motor reductor, cadena y piñón en base a las normativas ISO para finalmente concluir con el diseño de la rueda dentada necesaria para la transmisión de la potencia del motor al sistema teleférico.

En el capítulo 5, se realiza la selección del tipo de silla que se utilizará en el proyecto brindando las condiciones de seguridad y confort necesarias para los usuarios del sistema, analizando los elementos críticos con criterios de seguridad basados en cilindros de pared gruesa y según el manual de la AISC. Se selecciona los sistemas de seguridad que mejor se adapten a las condiciones de trabajo de la silla.

En el capítulo 6, se analiza el funcionamiento del sistema de unión de las sillas con el cable, debido a su funcionalidad es de vital importancia para garantizar la seguridad de las personas, su diseño se ejecuta en base al criterio de esfuerzos admisibles para elementos mecánicos realizando una simulación, mediante el programa AUTODESK INVENTOR de las partes vitales, de manera que se analiza las condiciones reales de trabajo de los distintos elementos.

En el capítulo 7, en base a la norma AWS D1.1 se determinan las variables necesarias para la elaboración de los WPS de las juntas tipo presentes en los elementos del teleférico, además del cálculo de las características de los cordones de soldadura.

En el capítulo 8, se elabora el análisis económico y de precios unitarios para verificar la rentabilidad del proyecto, verificando la factibilidad de la implantación en el sector.

En el capítulo 9, se realizan las conclusiones y recomendaciones finales del proyecto.

## PRESENTACIÓN

Realizando un análisis del contexto económico mundial, se prevé que la principal fortaleza que tiene el país, para lograr un desarrollo sustentable y sostenible a largo plazo, es su biodiversidad; por lo cual se hace imprescindible la construcción de proyectos enfocados en la explotación de esta vital fortaleza competitiva.

El diseño del teleférico turístico está enfocado en la solución de esta problemática para complementar los atractivos naturales, paisajísticos y de aventura que presenta el lugar, convirtiéndolo en un punto focal de atracción turística que dinamice la economía del sector.

La ventaja del teleférico es que permitirá la unión directa del cantón San Miguel de los Bancos con dos de sus principales atractivos turísticos, el Balneario de la Sucia y el Río Blanco, brindando una accesibilidad rápida y mayor movilidad al sector, potenciando de manera significativa el desarrollo turístico de la zona.

El desarrollo del proyecto se basa en la realización del trazado técnico de la trayectoria de un teleférico turístico en el sector de San Miguel de los Bancos. Se diseña el teleférico para un número máximo de veinticuatro personas y con una velocidad baja correspondientes a fines de observación turística. Se analiza mediante técnicas computacionales y analíticas de los distintos sistemas constituyentes del teleférico. Se efectúa el análisis mecánico estructural, sistema de transmisión de movimiento, sistema soporte silla, potencia de arranque, diseño del conjunto sillas, diseño del sistema de unión cable silla y un estudio de los beneficios económicos que presentaría el teleférico en el sector.

Se realiza los planos constructivos basados en cálculos correspondientes. Finalmente se determina los factores de seguridad, en base a normas internacionales para la construcción de teleféricos, de los componentes vitales y secundarios del sistema, logrando un diseño óptimo de los mismos.

## **CAPÍTULO 1**

### **1 FUNDAMENTOS TEÓRICOS.**

#### **1.1 INTRODUCCIÓN.<sup>1</sup>**

El transporte por cable abarca todos los medios de transporte de carga o personas, cuyo mecanismo de funcionamiento se basa en la utilización de un cable carril sobre el cual se desplaza una cabina de pasajeros o carga, que permite enlazar rápidamente dos puntos lejanos que son difíciles de conectar por vías terrestres.

El transporte aéreo para personas se lo utiliza en estaciones de montaña en actividades de esquí, para puntos inaccesibles por otros medios, los de carga se utilizan en la minería, obras públicas y en la industria en general.

La instalación de los transportadores aéreos consta básicamente de dos torres terminales las cuales sirven de soporte para el cable carril, y este a su vez soporta la cabina de carga.

Existen muchos tipos de transportadores aéreos según la disposición de los cables, por lo general el cable motriz acciona el transportador y el cable carril es donde se apoyan y desplazan las ruedas de los carros que soportan la carga.

El movimiento se lo obtiene mediante una fuerza motriz que es suministrada por un motor, para el transporte de personas se recomienda utilizar como complemento un motor auxiliar autónomo como alimentación de reserva en casos de emergencia.

#### **1.2 DEFINICIÓN DE TELEFÉRICO.**

El teleférico es un medio de transporte que consiste en cabinas con capacidad para llevar un grupo de personas y/o carga. Estas cabinas viajan suspendidas en el aire transportadas por uno o varios cables. La mayoría de estos medios de transporte son accionados por energía eléctrica.

---

<sup>1</sup> <http://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/827/3/CAPITULO2.pdf>

Este transporte se usa en zonas con grandes diferencias de altura, donde el acceso por carretera resulta difícil.<sup>2</sup>



**Figura 1.1** Teleférico de Quito.

**Fuente:** <http://blog.travelpod.com/travel-photo/nadineandduncan/1/1251632566/el-teleférico.jpg/tpod.html>

### **1.3 HISTORIA.**

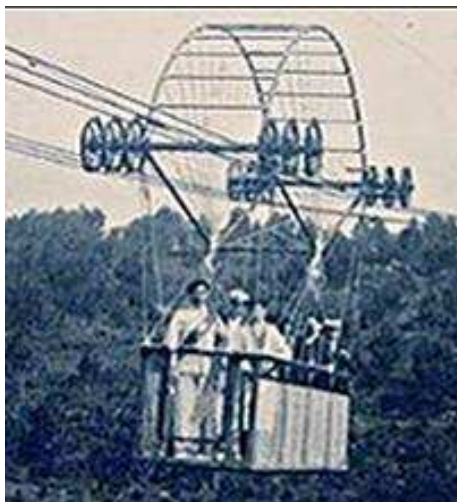
Existen muchos indicios sobre el origen del teleférico, este fue inventado y patentado por el ingeniero cántabro Leonardo Torres Quevedo (1852-1936). Fue en 1887 cuando Torres Quevedo registró su primera patente sobre "Un sistema de camino funicular aéreo de alambres múltiples", en el que la guía y tracción se realiza a través de un sistema de cables cuya tensión es independiente de la carga transportada, ganando así el conjunto estabilidad y seguridad. El invento fue registrado con el nombre de "aerotransportador" o "aerocar".

El invento es recibido con burlas por la comunidad internacional, sin embargo, tras la puesta en marcha del primer funicular del mundo, inaugurado en San Sebastián el 30 de Septiembre de 1907, que permitía a la aristocracia donostiarra acceder sin problemas a la cima del Monte Ulía, el aerotransportador adquirió gran fama mundial, construyéndose inmediatamente varios aerotransportadores en diversas partes del mundo. Los dos siguientes teleféricos que se construyeron en Europa y que en diversos libros europeos son catalogados como los primeros teleféricos del mundo

---

<sup>2</sup> <http://www.skyscrapercity.com/showthread.php?t=1045579>

fueron el de Bolzano (Italia) inaugurado el 29 de Junio de 1908, y el de Grindelwald en Suiza, inaugurado el 27 de Julio del mismo año.



**Figura 1.2** Funicular del Monte Ulía en San Sebastián.

El más famoso de los transportadores construidos con la tecnología ideada por Torres Quevedo, aún en funcionamiento, es el funicular aéreo del Niágara, construido entre 1915 y 1916, en la línea fronteriza entre Canadá y Estados Unidos sobre las famosas cataratas.<sup>3</sup>



**Figura 1.3** Funicular aéreo del Niágara.

---

<sup>3</sup> <http://www.megustaserespanol.com>

## 1.4 TIPOS DE TELEFERICOS.<sup>4</sup>

Entre las diversas clases de teleféricos existen algunos denominados usualmente por constructores, operadores y usuarios de la siguiente forma:

### 1.4.1 POR EL TIPO DE CABINA DE CARGA.

#### 1.4.1.1 Telecabina

Teleférico de Movimiento unidireccional dotado de cabinas de diferente capacidad, las telecabinas para uso turístico son instalaciones generalmente monocables, con movimiento circulatorio continuo y pinzas desembragables. Las telecabinas bicables no son habituales. Las telecabinas necesitan apoyos más próximos que los teleféricos de vaivén y deben mantener menores distancias al suelo, 60 m. Por contra, la capacidad es mayor e independiente de la longitud de la línea.



Figura 1.4 Sistema de teleférico por telecabina.

Fuente: <http://www.nevasport.com/nevasnow/art/7953/Vallnord-estrenara-este-sabado-nuevo-telecabina>

#### 1.4.1.2 Telebén.

Es un teleférico de movimiento unidireccional cuyas cabinas son cestas destinadas a transportar uno o más pasajeros de pie.

#### 1.4.1.3 Telesilla.

Teleférico de movimiento unidireccional constituido por sillas suspendidas a un cable aéreo único.

---

<sup>4</sup> <http://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/827/3/CAPITULO2.pdf>



**Figura 1.5** Sistema de teleférico por telesilla.

**Fuente:** [http://www.digitalphoto.pl/es/royalty\\_free\\_cds/livigno\\_italia/index.php?foto=3949](http://www.digitalphoto.pl/es/royalty_free_cds/livigno_italia/index.php?foto=3949)

## **1.4.2 POR EL SISTEMA DE MOVIMIENTO.**

### **1.4.2.1 De vaivén.**

Los teleféricos de vaivén son generalmente bicables y se conocen también como teleféricos pesados o simplemente teleféricos cuando se contraponen a telecabinas y telesillas. Son las instalaciones aéreas que permiten mayores vanos, superiores a 1 km. Las cabinas para este tipo de instalaciones están en constante progresión, tanto en tamaño como en comodidad, seguridad, estética y aerodinámica. Otra interesante innovación, orientada específicamente a aumentar la espectacularidad del recorrido en viajes turísticos, es la cabina de suelo rotatorio. En estos momentos existen al menos dos instalaciones en el mundo, Table Mountain en Sudáfrica, construida por Garaventa en 1997, con cabinas de 65 plazas y la primera instalada en Titlis (Suiza-1992) con una cabina de 80 plazas, que a pesar de encontrarse en una estación de esquí está abierta todo el año para uso turístico.



**Figura 1.6** Sistema de teleférico de vaivén.



### 1.4.2.2 Unidireccionales.

Cuando las cabinas se mueven siempre en el mismo sentido. Entre estos los hay de "movimiento continuo", que se mueven a una velocidad constante y "pulsados" cuyos cables se mueven de manera intermitente o a una velocidad que varía periódicamente según la posición de las cabinas.

### 1.4.3 POR EL NÚMERO DE CABLES.

#### 1.4.3.1 Monocables.

Dotados de un solo cable llamado portador-tractor, que sirve como guía o carril y de elemento tractor. En este mismo grupo se incluyen aquellos sistemas provistos de más de un cable que, al moverse de forma sincrónica, ejercen de hecho la función de uno solo.



**Figura 1.7** Sistemas de teleféricos monocables.

En esta categorización existe el teleféricos monocables de doble anillo que son una variante de las telecabinas (teleféricos monocables) en las que se disponen dos cables transportadores paralelos, formando una vía. Debe recordarse que el término monocable en el transporte por cable se refiere a que las funciones de sustentación de la carga y tracción se realizan a través de un único cable o grupo de cables, independientemente del número de cables utilizados, mientras que en las instalaciones bicables existen cables destinados a soportar la carga diferentes de los que transmiten la tracción.



**Figura 1.8** Sistema de teleférico de doble anillo.

Los cables se mueven sincrónicamente. Las cabinas suelen ser mayores que en las telecabinas convencionales

La gran ventaja de este sistema es que la gran anchura de la vía confiere una mayor estabilidad frente a grandes vientos y la posibilidad de realizar mayores vanos. Por otro lado, el movimiento circulante y las grandes cabinas hacen que sea un sistema de elevada capacidad.

#### **1.4.3.2 Bicables.**

Dotados de uno o varios cables-carril, que sirven como soporte y guía, y de uno o varios cables tractores.



**Figura 1.9** Sistema de teleférico bicable.

### 1.4.3.3 Tricables.

Es un teleférico conceptualmente bicable, dado que tiene dos cables portadores (o cables carril) y un cable tractor. El movimiento es continuo unidireccional.



**Figura 1.10** Sistema teleférico tricable.

Su objetivo es combinar las ventajas de un teleférico con las de una telecabina, como el teleférico puede superar grandes obstáculos al permitir vanos grandes y circula a velocidades elevadas, de hasta 8 m/s.

Sin embargo, permite que el sistema de embarque y desembarque sea similar al de una telecabina y tiene una capacidad elevada, independiente de la longitud de la línea al ser movimiento continuo unidireccional

También pueden ser: de varios cables tractores, de varios cables de frenos y de varios cables auxiliares.

## 1.4.4 POR LA FORMA DE SUJECIÓN DEL VEHÍCULO.

### 1.4.4.1 Instalaciones de pinza fija.

En las cuales el elemento de acoplamiento queda unido al cable de forma permanente mientras esté en operación.

### 1.4.4.2 Instalaciones de pinza embragable o automática.

Mediante elementos que permiten desacoplar las cabinas del cable en estaciones de pasajeros.

#### **1.4.5 POR LA SITUACIÓN DEL PUESTO DE MANDO.**

De acuerdo con la situación del puesto de mando en servicio normal, se pueden considerar los siguientes tipos:

Con puesto de mando en la estación.

Con puesto de mando en la cabina.

#### **1.4.6 POR EL SISTEMA DE MANDO DEL MOVIMIENTO.**

##### **1.4.6.1 Mando manual.**

En el que la marcha está regulada por un agente situado en la sala de máquinas o bien en los andenes o en las cabinas-telemando.

##### **1.4.6.2 Mando automático.**

En el que la acción de un agente o de los mismos viajeros, se limita a la puesta en marcha de la instalación, sin ninguna intervención posterior.

### **1.5 ELEMENTOS CONSTITUTIVOS DEL SISTEMA TELEFÉRICO.<sup>5</sup>**

Un teleférico debe ser visualizado como sistema estructural en el que sus componentes (anclajes, apoyos, cables) tienen comportamientos diferentes pero que funcionan en conjunto.

Los elementos principales en un teleférico son:

- **Cable Carril:** Es un cable de suspensión que debido a la sollicitación de la carga éste se obliga a cambiar su forma, produciendo únicamente esfuerzos de tensión, que se distribuyen uniformemente sobre su sección transversal.  
Se encuentra suspendido por la estructura portante cuyos apoyos se ubican en dos o más puntos, y a través de ésta se desplaza el vehículo.
- **Cable Motriz:** Es un cable o un par de ellos, con una trayectoria paralela al cable carril, el cual transmite el movimiento desde el sistema motriz hasta la canasta. En algunos casos pueden actuar también como cables carriles.
- **Vehículo:** Es el elemento que transporta a las personas y su equipaje. El diseño debe brindar facilidad de acceso, comodidad y seguridad.

---

<sup>5</sup> [http://www.espe.edu.ec/portal/files/sitiocongreso/congreso/2007/C\\_TIERRA/DCT12.pdf](http://www.espe.edu.ec/portal/files/sitiocongreso/congreso/2007/C_TIERRA/DCT12.pdf)

- **Elementos de Apoyo:** Son elementos verticales, que sirven como sustento del cable carril y el cable motor, que a la vez permiten la circulación del vehículo. Deben ser capaces de absorber las deformaciones en los cables.
- **Anclajes:** Son tipos especiales de cimentación, diseñadas para resistir una fuerza de tensión lateral o hacia arriba transmitida al suelo.
- **Sistema Motriz:** El objetivo de este sistema es dar la energía mecánica necesaria para mover el cable motriz y el vehículo. Consta de motor, mecanismos de transmisión de potencia, ejes, frenos y tambores en algunos casos.

### 1.5.1 COMPONENTES ESTRUCTURALES.

Entre los componentes estructurales que puede requerir un teleférico, para diferentes alternativas de solución, se pueden señalar los siguientes:

#### 1.5.1.1 Sistemas de cables.

En un teleférico la sustentación está a cargo del cable carril y la transmisión de la potencia sujeta al cable motriz. Cuando un cable soporta la aplicación de las cargas y a la vez transmite el movimiento se le llama “motriz-carril”.

Tanto la función carril como motriz pueden trabajar con uno o más cables. Mientras más cables se tenga el coeficiente de seguridad es mayor pero requiere de un alta precisión en la instalación.

#### 1.5.1.2 Sistemas de apoyo.

Pueden ser pórticos, torres o columnas e independientemente de la solución escogida pueden tener las siguientes condiciones de funcionamiento:

##### 1.5.1.2.1 Elemento Pendular.

Es un elemento isostático, simplemente apoyado en su base y unido al cable carril en la parte superior.

##### 1.5.1.2.2 Elemento Rígido.

Tiene en la parte superior un elemento mecánico denominado galápago el cual absorbe deformaciones en los cables; se encuentra empotrado en su base y se mueve en el plano horizontal mediante rodillos.

### 1.5.1.2.3 Elemento flexible.

Las deformaciones de los cables son absorbidas en función del material del que está constituido el apoyo.

## 1.5.1.3 Anclajes.

### 1.5.1.3.1 Bloques de anclaje.

Son semejantes a muros incrustados en el suelo; su capacidad está regida por la capacidad de soporte debido al empuje pasivo del suelo y/o peso del bloque.

### 1.5.1.3.2 Barras de anclaje.

Sus capacidades están definidas por la fricción o esfuerzo cortante que se desarrolla a lo largo del cuerpo cilíndrico del hormigón en forma de anclaje

## 1.5.2 CABLE.<sup>6</sup>

Un cable de acero es un tipo de cable mecánico formado un conjunto de alambres de acero o hilos de hierro que forman un cuerpo único como elemento de trabajo. Estos alambres pueden estar enrollados de forma helicoidal en una o más capas, generalmente alrededor de un alambre central, formando los cables espirales.

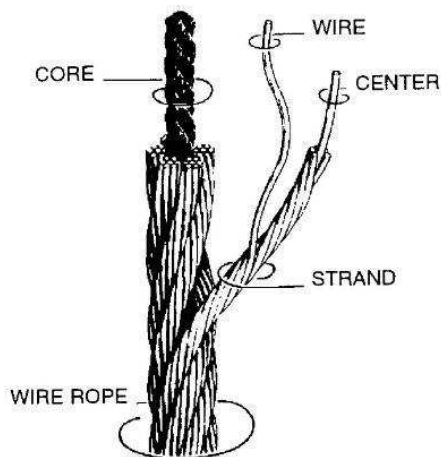


Figura 1.11 Partes del cable metálico.

Estos cables, a su vez, pueden estar enrollados helicoidalmente alrededor de un núcleo o alma, formando los cables de cordones múltiples.

<sup>6</sup> [http://es.wikipedia.org/wiki/Cable\\_de\\_acero](http://es.wikipedia.org/wiki/Cable_de_acero)

Estos cables se pueden considerar como elementos y también se pueden enrollar helicoidalmente sobre un alma, formando los cables guardines, o bien acoplarse uno al lado del otro, para formar los cables planos.

En las instalaciones de transporte de carga así como de personas se utilizan cables de alma metálica cuando en cálculo de resistencia así lo indique, en caso de ser alma textil no se deberá utilizar materiales tratados con cloro, el alma textil será de fibra de cáñamo de manila, de sisal o sintética.

Nunca se deberán utilizar cables usados, así como en el montaje y desmontaje se evitara el destrenzado del cable.

### 1.5.3 TORRES.<sup>7</sup>

Son elementos estructurales de soporte los cuales presentan las siguientes funciones:

- Sostener los cables transportadores a lo largo del recorrido, en la parte superior de cada torre existe un elemento transversal que posee en cada extremo un sistema de tren poleas por donde se desliza el cable transportador.
- Proporciona al cable una altura de funcionamiento para evitar que los vehículos de transporte choquen con obstáculos que existen a lo largo de la trayectoria.
- Sirven de elementos de sujeción para sistemas auxiliares que forman parte del sistema teleférico.



**Figura 1.12** Torres del sistema teleférico.

---

<sup>7</sup> ARMIJOS M., RAMÍREZ R; "Diseño de un teleférico turístico de 2000m de longitud ubicado en la colonia de los Llanganates de la parroquia rio negro, Cantón Baños, provincia de Tungurahua"; Tesis EPN; 2009; Pág. 6-7.

#### 1.5.4 CIMENTACIÓN.<sup>8</sup>

La cimentación puede definirse en general como el conjunto de elementos de cualquier estructura, cuya misión es transmitir al terreno que la soportan las acciones procedentes de la estructura. Su diseño dependerá por tanto no solo de las características del edificio sino también de la naturaleza del terreno.

La importancia del conocimiento de los caracteres propios del suelo se pone de manifiesto desde el momento de la propia ejecución de la obra por su influencia sobre la seguridad de los trabajadores en la realización de excavaciones y movimientos de tierras así como en la de los elementos auxiliares de la construcción: cimbras, encofrados, pozos y zanjas de cimentación líneas enterradas, etc.

##### 1.5.4.1 Generalidades.

Las cimentaciones tienen como misión transmitir al terreno las cargas que soporta la estructura del edificio. De modo general se puede decir que existen dos tipos de cimentación según que principalmente vayan a soportar esfuerzos de compresión pura o que soporten, además, tensiones de tracción. Esta consideración afecta al material que va a constituir la cimentación.

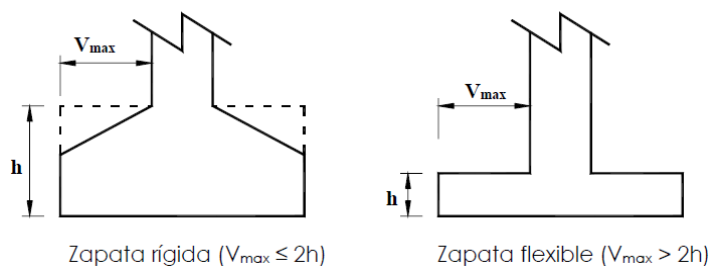
El primer caso se corresponde con estructuras sencillas basadas principalmente en muros de carga. Se pueden emplear las cimentaciones denominadas ciclópeas en las que se emplean sillares de piedra u hormigón en masa, sin armadura aunque se recomienda la inclusión de un armado mínimo en su cara inferior con objeto de absorber las tensiones producidas por distintos factores: atado, arriostramientos, asientos diferenciales, defectos de hormigonado, etc. En el resto de los casos, que constituyen la mayoría, se emplea el hormigón armado.

A los solos efectos del estudio de la interacción suelo-cimentación, las zapatas se clasifican en rígidas y flexibles según la relación entre el canto total ( $h$ ) y el vuelo máximo ( $V_{Max}$ ).

---

<sup>8</sup> [http://www.mapfre.com/documentacion/publico/i18n/catalogo\\_imagenes/grupo.cmd?path=1036794](http://www.mapfre.com/documentacion/publico/i18n/catalogo_imagenes/grupo.cmd?path=1036794)





**Figura 1.13** Tipos de zapatas según su rigidez.

#### 1.5.4.2 Estudios geotécnicos.

El estudio geotécnico tiene por finalidad conocer las características del terreno que soporta la obra tanto en su fase de ejecución definiendo:

- La naturaleza de los materiales a excavar.
- Modo de excavación y utilización de los mismos.
- Los taludes a adoptar en los desmontes de la explanación.
- La capacidad portante del terreno para soportar los rellenos y la estructura.
- Los coeficientes de seguridad que deben adoptarse.
- Las medidas a tomar para incrementarlos caso de no ser aceptables.
- Las operaciones necesarias para disminuir los asentos y/o acelerarlos

Como información previa a la realización del estudio geotécnico, y parte integrante del mismo, se debe conocer todos aquellos datos que puedan condicionar sus características, solicitaciones e influencias.

En particular, cabe mencionar el perfil del terreno, la existencia de vertidos, canalizaciones y servicios enterrados, la existencia de posibles fallas, terrenos expansivos, terrenos agresivos, existencia y ubicación de rellenos, pozos, galerías, depósitos enterrados, la naturaleza y configuración de las cimentaciones de los edificios colindantes, etc. Es de especial interés disponer de los datos que se hayan recogido en el estudio geotécnico realizado.

#### 1.5.5 SISTEMAS DE ANCLAJE.<sup>9</sup>

Los anclajes constituyen en los actuales momentos un medio esencial para garantizar la estabilidad de estructuras muy diversas, lográndose utilizar los

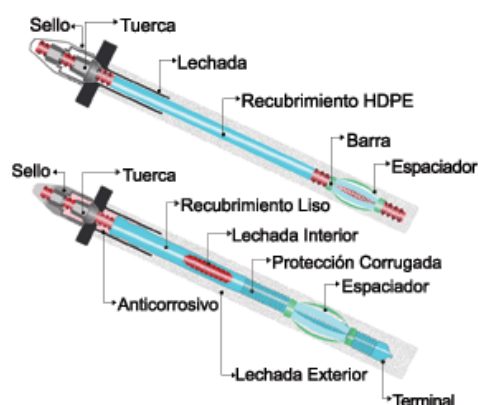
<sup>9</sup> <http://www.castem.com.pe/manual-de-anclaje.pdf>

procedimientos y posibilidades que la tecnología actual del soporte mediante anclajes pone a nuestra disposición para aplicar la técnica moderna del sostenimiento.

Los anclajes pueden usarse en forma muy ventajosa en cualquier situación en que se necesite la ayuda de la masa de suelo para soportar un determinado estado de tensiones o esfuerzos. Como elemento que contrarresta las subpresiones producidas por el agua, en el sostenimiento de techos y hastiales en obras subterráneas de vialidad, de centrales hidroeléctricas y mineras, e igualmente como soporte artificial en taludes constituidos por masas de suelos y/o de rocas.

En el caso de muros anclados, es muy común observar este tipo de obra a lo largo y ancho de importantes tramos carreteros, en donde parte de la calzada ha colapsado al producirse una disminución en la resistencia al corte de la masa de suelo.

Estos problemas han sido resueltos satisfactoriamente a través de las pantallas o muros atirantados. En este sentido, cabe destacar que en las construcciones civiles se viene utilizando cada vez con mayor frecuencia y éxito los anclajes inyectados para sostener muros y absorber momentos volcadores. Este último como ocurre en las torres de alta tensión y en las presas para resistir las fuerzas volcadoras debidas al agua, así como en otras numerosas obras, en la cual la fuerza de tracción al terreno del anclaje transfiere las solicitaciones hasta una zona más profunda y estable, y por tanto de mayor capacidad portante. En estas condiciones, la resistencia tangencial de la masa de suelo o roca circundante al miembro estructural empotrado actúa para resistir dicha carga de tracción.



**Figura 1.14** Anclajes inyectados postensados.

## 1.6 IMPLANTACIÓN DEL PROYECTO.<sup>10</sup>

### 1.6.1 DESCRIPCIÓN DEL SECTOR.

San Miguel de Los Bancos presenta bellos y pintorescos panoramas creados por las cadenas montañosas y su hidrografía. Por su relieve y ubicación geográfica San Miguel de Los Bancos esta privilegiado con una gran variedad de flora, fauna y bellezas escénicas: Relieves, quebradas, peñones, cascadas, ríos, balnearios naturales, senderos, bosques interpretativos primarios y secundarios, que forman parte del ecosistema, considerados como atractivos eco turísticos, accesibles y cercanos para quienes deseen visitarlos y disfrutar de su prodigiosa belleza y aire puro.



**Figura 1.15** Cascada de La Sucia en el cantón San Miguel de los Bancos.

**Fuente:** <http://www.panoramio.com/photo/32713584>

### 1.6.2 UBICACIÓN DEL SISTEMA TELEFÉRICO.

El recinto Rio Blanco, se ubica en el noroccidente de la Provincia de Pichincha, parroquia Los Bancos, sector Rio Blanco, a 1 km del cantón Los Bancos. El lugar de construcción del teleférico se encuentra en la Provincia de Pichincha, parroquia Los Bancos, Área Rio Blanco, sector Rio Blanco las coordenadas expresadas son las siguientes: UTM WGS84 ubicado a 90 kilómetros de la ciudad de Quito.

---

<sup>10</sup> MOROCHZ C; "Estudio de impacto ambiental y levantamiento de línea base biológico del barrio 6 de diciembre y balneario de La Sucia, ubicado en el cantón San Miguel de los Bancos", 2011.



**Figura 1.16** Ubicación del proyecto.

### **1.6.3 TRAYECTORIA DEL SISTEMA TELEFÉRICO.**

Al embarcarse en la estación de salida la primera impresión del turista es una amplia visión panorámica del sector al volar sobre el barranco del Río Blanco.

Se cruza el río y se arriba a un sector cercano a la cascada de La Sucia, sitio en el que está planificado posteriormente hacer un complejo turístico que conste de parqueaderos, un dique, patio de comidas, coliseo multiuso con escenario para presentaciones artísticas, vestidores, baterías sanitarias, etc.

### **1.6.4 CARACTERIZACIÓN DEL MEDIO AMBIENTE FÍSICO.**

#### **1.6.4.1 Clima.**

El lugar donde se desea realizar la construcción, se encuentra entre 1100 msnm y 880 msnm, y es una quebrada hacia el Pacífico por una inmensa cañada que forma el Río Blanco y desemboca en el Esmeraldas con las diferentes quebradas que los alimentan, generando gran cantidad de precipitaciones que se reducen durante los meses de julio y agosto, sin dejar de ser húmedos.

Estas precipitaciones están ligadas a las presencias de bosques naturales que enfrían el aire caliente, proveniente del río y produce gran concentración de nubes. La temperatura promedio es de 24 °C.

La parte baja donde se va a construir el proyecto, que se ubica en los 880 msnm, posee una temperatura promedio de 24 °C, posee un periodo lluvioso un poco más largo con precipitaciones promedias entre los 2000 y 4000 mm, aunque en los últimos años ha variado su comportamiento.

#### **1.6.4.2 Morfología de pendientes.**

La pendiente donde se desea realizar la construcción es muy pronunciada fluctuando entre 45° y los 90° (perpendicular), casi constante a lo largo de todo el bosque, lo que dificulta especialmente el acceso a muchos lugares.

#### **1.6.4.3 Suelos.**

Los suelos son oxisoles infértiles, con alta concentración de óxidos de hierro y aluminio, no existe capa vegetal, son rocosos, muy pobres, compuestos principalmente por arcillas poco profundas, sin un horizonte significativo de materia orgánica, la misma que en algunos sitios es inexistente. En otros sitios debido a las fuertes pendientes y sumado a la acción de la escorrentía el suelo es fácilmente removible o erosionado si no existiese la protección vegetal de raíces y troncos.

#### **1.6.4.4 Hidrología.**

Se puede decir que el área corresponde al gran cañón del Río Blanco que es alimentado por otros ríos o riachuelos arriba y debajo de la quebrada La Sucia, por la estructura y morfología de las pendientes se producen caídas y saltos de agua que influyen directamente en la humedad relativa presente, la misma que impide la desertificación de estos sitios.



**Figura 1.17** Cañón del Río Blanco.

**Fuente:** [http://www.panoramio.com/photo\\_explorer](http://www.panoramio.com/photo_explorer)

#### **1.6.5 CARACTERIZACIÓN DEL MEDIO BIOLÓGICO.**

El medio biológico correspondiente al sector abarca todo el conglomerado de recursos tanto animales como vegetales los cuales se detallan a continuación:

### 1.6.5.1 Formaciones vegetales.

#### 1.6.5.1.1 *Bloque lluvioso montano bajo.*

Se ubica entre los 700 a 250 msnm. Las características climáticas y fisionómicas del bosque son una humedad atmosférica alta más o menos constante, neblina asociada con la llovizna, una gran cantidad de epifitas vasculares así como de briofitos en las ramas y en los troncos de los árboles. En las cimas de la cordillera costera del Pacífico del Ecuador occidental, una vegetación de bosque nublado fisionómicamente típica crece a una elevación tan baja como 400m.

Según Cañadas (1983), pertenece a bosque muy húmedo pre-montano (bmhPM) 300 a 1800 msnm, mientras que según Sierra et al. (1999), define un solo tipo de formación que se describe a continuación:

#### 1.6.5.1.2 *Bosque siempre-verde pie-montano.*

Incluye toda la región sobre los 300 hasta los 1800 m.s.n.m., al pie de la cordillera de los Andes, como por ejemplo en la Cordillera de Toisan en Imbabura, Pichincha y Esmeraldas.

Formación caracterizada por una gran dominancia de especies arbóreas en especial del grupo de las palmas junto a Mimosaceae, Fabaceae, Bursaceae, y Meliaceae. El dosel puede alcanzar 30 o más metros de altura.

Los fustes de los árboles están cubiertos por orquídeas, bromelias y helechos. El estrato herbáceo es denso, en especial con especies de las familias Marantaceae y Araceae y por Polypodiophytos. En 0.1 Hectáreas, se encontraron más de 80 especies de 2.5 cm.

Dentro de la vegetación indicadora se tiene Palmas: *Wettinia quinaria*, *Pholidostachys dactyloides*, *Iriartea deltoidea* (Aracaceae); *Virola dixonii*, *Otoba gordoniiifolia* (Myristicaceae); *Guarea cartaguenya* (Meliaceae); *Dacryodes* sp. (Burceraceae); *Vitex gigantea* (Verbenaceae); *Caryodahnopis theobromifolia* (Lauraceae). Entre las herbáceas están: *Irbachia alata* (Gentiananeae); *Begonia glabra* (Begoniaceae); *Costus laevis* (Costaceae).



**Figura 1.18** Formaciones vegetales del sector.

### 1.6.5.2 FAUNA.

Ambos estudios aplican los métodos de evaluación ecológica rápida, el cual usa la metodología de puntos de observación al azar, para detectar las especies de aves a través de registros visuales y auditivos.

Otros estudios de mamíferos, peces, insectos, anfibios y reptiles se realizaron a través de monitoreo rápido de valoración ecológica, procedimientos de investigación de campo para establecer los diferentes listados que mediante el uso de guías especializados y comparación de especímenes en el Museo Ecuatoriano de Ciencias Naturales.

#### *1.6.5.2.1 Mamíferos.*

Los estudios relacionados con mamíferos en base al lugar y estado del hábitat, señalan cuatro grupos predominantes, siendo el grupo de los murciélagos del orden Chiroptera, familia Phyllostomidae, la que tiene mayor presencia por número de especies, 19 registradas. Los registros generales muestran 9 órdenes que encierran 19 familias, 42 géneros y 50 especies. Otros grupos importantes aparecen los carnívoros de la familia Procyonidae, los ratones silvestres Cricetidae y las raposas o zorros del grupo Didelphidae.



**Figura 1.19** Mamíferos del sector. (Ratón silvestre, raposa)



#### 1.6.5.2.2 Aves.

Los estudios de evaluación ecológica rápida de Aves, realizada por Morochz Carlos (2004), señalan un total de 100 especies de aves. Se encontraron especies que son consideradas raras en el país o de distribución restringida como *Odontophorus melanonotus*, *Pseudocolaptes johnsoni*, *Entomodestes coracinus*, *Sporophila schistacea*. Registros interesantes fueron el de *Cichlopsis leucogenys* e *Iridophanes pulcherrima*, especies muy raras a lo largo de su distribución en Ecuador.

Ciertos grupos de aves comúnmente cazados para alimento como pavas (Cracidae) tinamúes (Tinamidae) no fueron encontrados, pero en áreas alejadas de la influencia humana se detectó corcovados (Odontophoridae, también llamados codornices de monte). Existen 10 grupos principales acorde al número de especies entre ellos Thraupidae donde se agrupan las tangaras con 15 especies, seguido de Tyrannidae, con 11 especies y Trochilidae con 9 especies. Este primer análisis ornitológico señala que existen 99 especies en 84 géneros y 27 familias.



**Figura 1.20** Aves típicas del sector.

El Recinto Rio Blanco alberga una interesante avifauna que combina especies de áreas tropicales y subtropicales, bastante similar a los alrededores de Pedro Vicente Maldonado o el Valle de Mindo, con una inclusión muy alta de especies pertenecientes a la zona de endemismo del Chocó.

El área en general tiene una riqueza de especies pero la mayoría de las especies son de amplia distribución. A partir de esta evaluación rápida y tomando en cuenta el tipo de ecosistema estudiado, se estima que la avifauna en el Recinto Rio Blanco debe albergar cerca de 200 especies de aves, fuerte atractivo para turistas.



#### 1.6.5.2.3 *Anfibios y reptiles.*

Para la zona se señalan estadísticas importantes en lo que se refiere a anfibios y reptiles; cuatro órdenes, 16 familias, 24 géneros y 35 especies. Las familias más importantes por número de especies son Brachycephalidae que posee 6 especies, seguido de Colubridae y Viperidae con 4 especies.



**Figura 1.21** Reptiles y anfibios del sector.

#### 1.6.5.2.4 *Peces.*

Diferentes estudios realizados en los cuerpos de agua del Rio Blanco y cascada La sucia, demostró que existen 4 ordenes, 7 familias, 9 géneros y 15 especies registradas para el bosque protector.



**Figura 1.22** Pez de la especie Characidae.

#### 1.6.5.2.5 *Insectos.*

Los estudios de insectos, realizados en la totalidad de la superficie en el área de utilización para el teleférico señala que existen 50 géneros en 33 familias y 14 órdenes, el nivel de especie no se reconoce por la dificultad de los grupos los cuales requieren mayores análisis.



**Figura 1.23** Insectos del sector. (Odonato, hemíptera)

### 1.6.5.3 Flora del recinto del Rio Blanco.

Aportan con el conocimiento de la flora el Museo Ecuatoriano de Ciencias Naturales (2008). El método utilizado fue la evaluación ecológica rápida en base a transectas. Se las efectuó de manera aleatoria tratando de cubrir la mayor parte de superficie posible. Estas transectas atraviesan toda la gradiente esto es desde los 1.100 en la cumbre hasta los 880 m.s.n.m en el Rio Blanco.

Adicionalmente la identificación florística se la realizó in situ, a través de métodos dendrológicos y morfológicos y aquellos especímenes que no fueron identificados por este método fueron colectados para ser identificados y montados en los Herbarios de Botánica Económica USFQ y Herbario Nacional del Ecuador QCNE.

Por otro lado, datos complementarios y de evaluación de flora en la gradiente altitudinal se realizaron a través de recorridos de área. Los datos de campo de la investigación fueron tomados en diferentes áreas del predio de Rio Blanco intentando cubrir la gradiente altitudinal con una variación entre los 500 y 1.300 m.s.n.m.

El estudio de MECN, profundiza y aporta un buen registro de especies e indica otros grupos como Melastomataceae (Tibouchinas, Blackea), Asteraceae (Compositae), Solanaceae (familia del tabaco, tomate) y Lauraceae (Canelos). El estudio del MECN tiene un mayor alcance de la flora nativa e identifica 182 especies en 116 géneros y 62 familias, siendo la familia Rubiaceae (familia del café con elementos arbustivos como Psychotria sp. y Palicourea sp.); Melastomataceae Meriania sp. (Arboles ``siete cueros``), Gesneriaceae (plantas ornamentales de sotobosque, arbustivas y

herbareas), así como las Lauraceae (árboles de canelos), las que poseen mayor presencia por número de especies.



**Figura 1.24** Ejemplares de orquídeas presentes en el sector.

## **1.7 JUSTIFICACION DEL PROYECTO.**

Debido a que dentro del plan de desarrollo nacional se prevé transformar al Ecuador en un atractivo turístico a nivel mundial en un periodo de mediano y largo plazo, el desarrollo del turismo mediante distintos métodos es vital para lograr la consecución de este objetivo.

En vista de ello se hace necesario el desarrollo de los distintos lugares con gran potencial turístico que existen en la actualidad, entre los cuales se destaca el Cantón San Miguel de Los Bancos en la Provincia de Pichincha, ya que por la abundante riqueza de especies de aves de Milpe - Pachijal, dentro del Distrito Metropolitano de Quito, Mindo y San Miguel de los Bancos, en el año 2.003, la organización Europea, Bird Life Internacional, identificó esta área como una zona importante para la conservación de aves, Important Bird Area (IBA) por sus siglas en inglés. Ubicándola en el mapa de las atracciones turísticas a nivel mundial, motivando un flujo constante de turistas en dicho sector.

Debido a ello se hace necesaria la construcción de un atractivo turístico que motive la presencia de un mayor número de visitas, a la vez que facilite el transporte de las personas de una manera rápida y segura a través del maravilloso entorno que presenta el bosque húmedo en donde se va a realizar este proyecto.

## **1.8 PARÁMETROS DE DISEÑO.<sup>11</sup>**

### **1.8.1 EMPLAZAMIENTO.**

Las instalaciones referentes a estación de llegada y salida y torres de soporte deben ser elegidas de forma que no se vean amenazadas por peligros naturales como desprendimientos, desplazamientos de terreno etc.

### **1.8.2 TRAZADO.**

El trazado de la trayectoria se procura sea rectilíneo, no obstante en casos justificados se admiten desviaciones siempre que las torres de soporte garanticen la estabilidad del sistema, tanto en funcionamiento como fuera de servicio.

### **1.8.3 PERFIL.**

El perfil del trazado deberá ser de forma regular en lo posible. En las instalaciones de movimiento continuo la inclinación del cable entre dos apoyos consecutivos no podrá superar el 100 por 100, es decir la pendiente no debe ser mayor a 45°, salvo para tramos cortos siempre que se tenga una evacuación adecuada para este tramo.

### **1.8.4 DISTANCIA MÍNIMA AL SUELO.**

La distancia medida verticalmente entre el punto más bajo de un vehículo, de su carga o de un cable y la cota superior del terreno, deberá superar los siguientes mínimos, salvo en las inmediaciones de las estaciones.

- En terreno cerrado: 2 metros.
- En terreno abierto: 3 metros.
- En el cruce con caminos o carreteras (salvo que exista prescripciones que impongan otras condiciones desfavorables): 5m

### **1.8.5 VELOCIDAD DE FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA.**

A la hora de fijar la velocidad de funcionamiento de una instalación de transporte por cable deberán tenerse en cuenta los siguientes puntos:

- La seguridad del sistema frente al riesgo de descarrilamiento.

---

<sup>11</sup> [http://caminos.udc.es/grupos/ferroca/orro/documentos/Transporte\\_por\\_cable.pdf](http://caminos.udc.es/grupos/ferroca/orro/documentos/Transporte_por_cable.pdf)

- La suavidad de funcionamiento, con especial atención al paso de los vehículos por los soportes, y la ausencia de oscilaciones anormales en cualquier circunstancia.
- El comportamiento dinámico de los cables, elementos giratorios y vehículos.
- La organización de embarque y desembarque.
- La comodidad de los usuarios a lo largo del recorrido.
- La energía mecánica acumulada en el vehículo y en los correspondientes cables de puede transformarse en calor al efectuar el frenado, sin detrimento para los frenos y sin quitarles efectividad.

A continuación se indican las velocidades máximas admisibles para los diferentes tipos de instalaciones. Previamente a su autorización la administración podrá elegir el funcionamiento de la instalación a velocidades inferiores. Durante un periodo experimental y, a la vista de los resultados obtenidos fijar la velocidad máxima de marcha.

- Funiculares: 12 m/s.
- Teleféricos bicables con vehículos acompañados:
  - a) Fuera de los soportes de línea: 12 m/s.
  - b) Al paso por los soportes de línea: 10 m/s.
- Teleféricos bicables con vehículos no acompañados.
  - a) En línea: 7 m/s.
  - b) Al paso por los soportes de línea: 6 m/s.
  - c) En estaciones: 0.40 m/s.
- Teleféricos monocables con vehículos cerrados y pinza fija:
  - a) En línea: 6 m/s.
  - b) En estaciones: 0.40 m/s.
- Teleféricos de movimientos unidireccionales y pinzas desembragables:
  - a) En línea:
    - 1) En vehículos cerrados: 6 m/s.
    - 2) En vehículos abiertos: 5 m/s.
  - b) En estaciones:

- 1) En vehículos cerrados: 0.40 m/s.
  - 2) En vehículos abiertos, en el embarque y desembarque:
    - Esquiadores: 1.3 m/s
    - Peatones por delante: 1 m/s.
    - Peatones sobre el costado: 0.50 m/s.
- Teleféricos con vehículos abiertos y pinzas fijas:
- a) En línea: 5 m/s.
  - b) En estaciones:
    - 1) Transporte de esquiadores sobre:
      - Sillas monoplazas o biplazas: 2.5 m/s.
      - Sillas con más de dos plazas: 2.3 m/s.
    - 2) Transporte de peatones sobre:
      - Sillas monoplazas o biplazas: 1.5 m/s.
      - Sillas con más de dos plazas: 1 m/s.

Se podrá aceptar velocidades de embarque más elevadas siempre que existan dispositivos que reduzcan la diferencia de velocidad del ocupante en relación con la silla a los valores establecidos como máximos.

En el desembarque la velocidad no podrá superar los 2.8 m/s en el caso de vehículos hasta dos plazas y 2.6 m/s cuando se trate de vehículos con más de dos plazas.

La utilización simultánea de un telesilla por ocupante se admitirá siempre que no viajen en el mismo vehículo y se cumplan las condiciones establecidas para unos y otros sobre áreas de embarque y desembarque, velocidad, señalización, etc.

Cuando los telesillas de tres o más plazas con velocidad superior a 1 m/s sean utilizados por ocupantes, se ocuparan únicamente las plazas extremas.

El cambio de velocidad rápida a lenta y viceversa no podrá dar lugar a una aceleración y deceleración superior a  $1 \text{ m/s}^2$ .

En telesillas de tres o cuatro plazas, salvo casos realmente justificados la velocidad será variable.

Durante la utilización del motor de emergencia la velocidad de marcha no podrá superar 1.5 m/s, cuando el funcionamiento de la instalación con este motor implique dejar fuera de servicio algún mecanismo o represente detrimento de la acción de frenado.

### 1.8.6 INTERVALO MÍNIMO ENTRE DOS VEHÍCULOS.

En instalaciones de movimiento continuo el intervalo mínimo entre dos vehículos consecutivos depende de varios factores:

- En instalaciones con vehículos de pinza desembragable, principalmente de la velocidad de funcionamiento.
- En instalaciones con vehículos con pinza fija del tiempo de embarque y desembarque.

Los valores admisibles serán los que se establecen a continuación:

- Vehículos con pinza fija a los que los viajeros, si son más de uno acceden simultáneamente: Intervalo medido en segundos transcurridos entre el paso de dos vehículos por las zonas de embarque y desembarque:

	Ocupantes
Vehículo de una plaza	5 s
Vehículo de 2 plazas	8 s
Vehículos de 3 o 4 plazas.	9s

**Tabla 1.1** Distancias admisibles para vehículos con pinza fija.

Los valores mínimos del intervalo entre vehículos solo se admitirá cuando las áreas de embarque y desembarque estén convenientemente acondicionadas y, en las estaciones intermedias no se permitirá la subida de viajeros a las sillas parcialmente ocupadas.

- En las estaciones dotadas de vehículos con pinza desembragable el intervalo mínimo deberá fijarse de forma que no se produzca la acumulación de vehículos a la entrada y a la salida de las estaciones. De todas formas, si se trata de instalaciones con vehículos abiertos, la separación entre ellos no deberá ser

nunca inferior a 1.5 veces la distancia de frenado, y a 1.2 veces, en el caso de cabinas cerradas.

### **1.8.7 CAPACIDAD Y ACOMPAÑAMIENTO DE LOS VEHÍCULOS.**

La indicación de la capacidad y carga máxima admisibles de las cabinas deberá ser indicada adecuadamente en el interior de las mismas, en un lugar visible por los usuarios.

#### **1.8.7.1 Determinación de la capacidad de los vehículos.**

Se adoptan los criterios en función de la superficie del suelo de la cabina en metros cuadrados.

Hasta cinco personas: 0.25 metros cuadrados por persona.

Desde seis personas en adelante: Superficie total=  $0.5+aN$ , siendo:

a: de 0.15 a 0.25 metros cuadrados, según las condiciones climatológicas y el equipo que lleve el pasajero.

N: Número de pasajeros, incluido el agente de acompañamiento.

#### **1.8.7.2 Dimensionamiento de las sillas:**

Las dimensiones de las sillas deben cumplir los siguientes requerimientos mínimos:

Hasta dos plazas: 0.50 metros de ancho por persona.

Más de dos plazas: 0.45 metros de ancho por persona.

La profundidad será de orden de 0.50 metros.

#### **1.8.7.3 Carga de un vehículo.**

Para determinar la carga de un vehículo se tendrá en cuenta su capacidad, las condiciones climatológicas y el equipo que llevan los viajeros. Se toman valores comprendidos entre 70 y 100 kilogramos para el peso medio de un viajero.

Los valores más bajos se aplicarán a los vehículos de mayor capacidad. La capacidad máxima esta dado de la siguiente forma:



- Sillas: Seis viajeros.
- Cabinas acompañadas: No se fija límite:
- Cabinas no acompañadas: 30 viajeros. El servicio sin acompañamiento mediante cabina de más de 15 viajeros hasta el límite de 30 viajeros exigirá autorización explícita otorgada, en cada caso por la administración en función de las características constructivas y del equipo de la instalación y estará supeditada al cumplimiento de las siguientes condiciones:
  - Los soportes de línea estarán acondicionados de modo permanentemente para la subida de los agentes de evacuación, quienes deberán tener fácil acceso a las cabinas sin ayuda de los pasajeros.
  - Las cabinas estarán dotadas del utillaje que pueda ser necesario para la evacuación.
  - En las cabinas no existirán mecanismos o elementos que, imprescindiblemente, hayan de manipularse, aun en casos de emergencia.
  - Existirán elementos de comunicación entre cabinas y la estación motriz en ambos sentidos o, al menos megafonía en los soportes de línea.

### **1.8.8 SOPORTES DE APOYO.**

#### **1.8.8.1 Sistemas bicables.**

En los sistemas bicables la altura de los soportes de línea (torres) y las características de los elementos sustentadores de la línea (tren de poleas) deberán fijarse de forma que el apoyo de los cables-carril existentes se mantenga asegurado por su propia presión.

El valor mínimo de la carga del cable-carril sobre los elementos de apoyo deberá ser tal que quede asegurado permanentemente el contacto entre ambos aun en el caso teórico de que la tensión máxima prevista en la hipótesis más desfavorable se incremente en un 40% y que, por la acción del viento ascendente, se ejerza sobre el cable una presión de  $500 \text{ N/m}^2$ . En todo caso, la resultante de la carga máxima deducida con la instalación fuera de servicio y del esfuerzo máximo de un viento horizontal, deberá pasar por la superficie de apoyo del cable sustentador.

### 1.8.8.2 Sistema monocables.

En los sistemas monocables, con movimiento uniforme y en las condiciones más desfavorables en servicio normal, deberán cumplirse las siguientes condiciones:

- La carga total sobre cada ramal de los soportes de línea de apoyo no deberá ser inferior a 2000 N.
- La carga por cada rodillo en los soportes de línea de apoyo deberá ser como mínimo de 500 N. En casos particulares y debidamente justificados, podrá admitirse una reducción hasta 400 N.
- La carga unitaria admisible sobre los rodillos de los soportes de línea varía según el material utilizado en su fabricación, la forma y el diámetro de la misma, así como con la carga media, la temperatura y la velocidad de instalación. Los valores máximos expresados en newtons, varía en función de dichas circunstancias entre:

$$25 \times d \times D \text{ y } 50 \times d \times D$$

Donde:

*d*: Diámetro del cable en centímetros.

*D*: Diámetro del rodillo en centímetros.

- El ángulo máximo de desviación del cable en cada rodillo no podrá ser superior a 0.1 rad (5.7°)

### 1.8.9 ESPECIFICACIONES DEL SISTEMA TELEFÉRICO.

En base a los principales parámetros de diseño analizados se tienen las siguientes especificaciones del sistema:

PARÁMETRO	DESCRIPCIÓN
Emplazamiento	Del estudio topográfico existe una zona de riesgo de desplazamiento de terreno, se deberá realizar un mejoramiento de suelo.
Trazado	La trayectoria que une los puntos correspondientes a la estación de llegada y salida es rectilínea.
Perfil	De acuerdo a la forma del perfil se presenta una máxima pendiente del cable de 20°.
Distancia mínima al suelo.	Considerando la forma del sector se tiene un terreno cerrado donde la altura corresponde a 2 m.
Velocidad de funcionamiento	De acuerdo al tipo de vehículo correspondiente a un telesilla se estima una velocidad de 1 m/s. Se acepta una aceleración máxima de 1 m/s <sup>2</sup> .
Intervalo entre vehículos.	Se tiene un intervalo mayor a 8 segundos.
Dimensiones del vehículo.	De acuerdo a la especificación se tendrá las dimensiones mínima requeridas de 0.50 m de ancho por persona.
Carga del vehículo.	Telesilla biplaza ( 2 ocupantes por silla) Peso estimado por ocupante: 100 kg.
Deflexión máxima del cable en el rodillo.	5.7°

**Tabla 1.2** Especificaciones del sistema.

**Fuente:** Propia.

### 1.8.10 PROTECCIÓN SUPERFICIAL.

#### 1.8.10.1 Galvanizado.

El cantón San Miguel de los Bancos tiene un clima bastante lluvioso y se observa con frecuencia la formación de neblina por su ubicación geográfica en la ceja de montaña con una humedad promedio de 95 %, por lo que se hace necesaria brindar

una protección adicional a las estructuras de soporte del sistema teleférico, para aumentar su durabilidad.

El proceso recomendado corresponde a un galvanizado en caliente por inmersión el cual se realiza en base a la normativa española e internacional UNE EN ISO 1461 que especifica las características que deben cumplir los recubrimientos galvanizados en caliente sobre productos acabados de hierro y acero. El criterio para determinar la calidad del galvanizado por inmersión son el aspecto superficial o visual, la adherencia y el espesor. Este último es el más relevante, dado que la duración es directamente proporcional a su espesor.

Espesor de la pieza	Recubrimiento Local (mínimo )		Recubrimiento Medio (Mínimo)	
	g/m <sup>2</sup>	µm	g/m <sup>2</sup>	µm
<b>Acero &gt;6 mm</b>	505	70	610	85
<b>Acero &gt; 6 mm hasta =&lt; 6 mm</b>	395	55	505	70
<b>Acero &gt; 1.5 mm hasta =&lt; 3 mm</b>	325	45	395	55
<b>Acero &lt; 1.5 mm</b>	250	35	325	45
<b>Piezas moldeadas &gt;= 6 mm</b>	505	70	575	80
<b>Piezas moldeadas &lt; 6 mm</b>	430	60	575	70

**Tabla 1.3** Especificaciones de galvanizado.

Este tipo de recubrimiento se aplica a todo el sistema estructural torres, estaciones de salida y llegada, rueda motriz y de reenvío, tren de poleas, entre otros. Los pernos y arandelas de sujeción serán galvanizados y tropicalizados para garantizar la durabilidad en las condiciones climáticas del sector.

#### **1.8.10.2 Pintura**

La protección anticorrosiva del sistema estructural mediante pintura se determina de acuerdo con los siguientes criterios:

- Evitar el contacto de los agentes corrosivos con la superficie de las estructuras.

- Por su acción inhibidora de la oxidación debida a las propiedades electroquímicas del material de la pintura.

#### 1.8.10.2.1 Protección por pintura de una estructura metálica.

Hay numerosos criterios para la selección de los sistemas de revestimientos. Considerando la agresividad del clima con el tipo de revestimientos se debe tomar en cuenta que si la humedad relativa no excede el 50 % y no hay exposiciones de agentes químicos e industriales el acero no necesita ser limpiado con arena (Sandblasting).

CONDICIONES	TIPO GENÉRICO				
	VINILO	EPÓXICOS	FENÓLICOS	ALCALINOS	BASE DE ACEITE
Luz solar y agua	10	9	2	10	10
Esfuerzos e impactos	8	3	9	4	4
Abrasión	7	6	5	6	4
Calor	7	9	10	8	7
Agua	10	10	10	8	7
Salinas	10	10	10	8	6
Solventes	5	8	10	4	2
Alcalinos	10	9	2	6	1
Ácidos	10	10	10	6	1
Oxidación	10	6	7	3	1

**Tabla 1.4** Agresividad del clima para diferentes tipos de pinturas.

**Nota:** Se califica en un rango de 1 a 10 por categoría

Para la preparación del método de pintura se elige la limpieza mediante chorreado con materiales abrasivos.

Este método proporciona mayor confiabilidad puesto que se obtiene superficies limpias de herrumbre y calamina. La siguiente tabla muestra un análisis comparativo de los métodos de limpieza en función de la durabilidad que ese le proporciona al proceso de pintura.

Método de preparación de la superficie	Durabilidad (años) del esquema de pintura	
	Sistema de 2 capas (pintura óxido de hierro rojo)	Sistema de 4 capas (2 de óxido de hierro rojo y 2 de plomo rojo)
Ninguno (cascarilla de laminación intacta)	3,0	8,2
Envejecimiento a la intemperie y acepillado	1,2	2,3
Decapado	4,6	9,5
Choreado	6,3	2,4
	Sistema de pintura con 170 µm de espesor	
Ninguno (cascarilla de laminación intacta)	3.0	
Envejecimiento a la intemperie y acepillado	0.5	
Decapado	4.0	
Choreado	9.0	

Tabla 1.5 Tabla comparativa de proceso de preparación de superficie.

### 1.8.10.3 REQUISITOS ESPECÍFICOS DEL SISTEMA TELEFÉRICO.

#### 1.8.10.3.1 Superficies Inaccesibles

Excepto para las superficies de apoyo por contacto, las superficies inaccesibles después del armado de taller, se limpiarán y pintarán antes del armado, si se lo requiere en las especificaciones de proyecto.

#### 1.8.10.3.2 Superficies en Contacto

La pintura puede usarse sin restricciones en conexiones por aplastamiento. Las superficies que queden en contacto después del armado de taller se limpiarán antes de unir las de acuerdo con las disposiciones del código de prácticas generales de la AISC, pero no se pintarán excepto cuando el diseño se basa en condiciones especiales de superficie de acuerdo con los requisitos del apéndice E del manual del AISC. Las superficies que quedaran en contacto en el campo, y las que cumplan con

los requisitos del apéndice E del manual del AISC, se limpiarán en taller de acuerdo con las especificaciones de la obra.

#### 1.8.10.4 Superficies maquinadas.

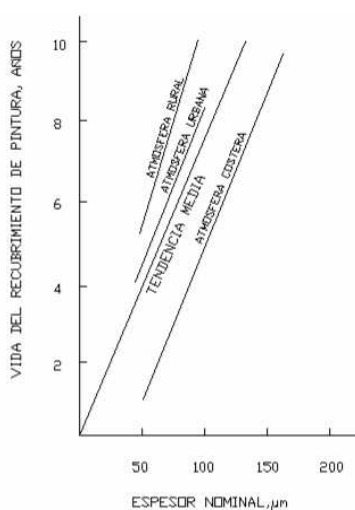
Las superficies maquinadas serán protegidas contra la corrosión mediante un revestimiento inhibidor de la corrosión que pueda ser removido antes del montaje ó pinturas cuyas características hagan innecesaria su remoción previa al montaje.

##### 1.8.10.4.1 Superficies adyacentes a las soldaduras de obra

A menos que se especifique de otro modo en los documentos de proyecto, la superficie en 50 mm alrededor de cualquier soldadura ejecutada en obra, deberá estar libre de materiales que pudieran impedir el correcto proceso de soldado ó produzcan humos inaceptables durante la ejecución de la soldadura.

##### 1.8.10.4.2 Espesor de la capa de pintura.

El espesor de un recubrimiento orgánico es el parámetro más íntimamente relacionado con el efecto barrera que poseen las pinturas con relación al ambiente en que están expuestas. Para la protección de las superficies metálicas contra la oxidación u otros factores se deberá tener en cuenta la necesidad de superar un cierto espesor crítico para que la protección sea realmente duradera como lo indica a continuación.



**Figura 1.25** Vida media del recubrimiento de pintura en función del espesor.

Para la protección óptima del sistema estructural se necesita un espesor de pintura de 100  $\mu\text{m}$ , para obtener una durabilidad de ocho años. Se debe colocar dos capas de pintura anticorrosiva y un recubrimiento de esmalte, para garantizar una correcta protección.

Para la protección anticorrosiva tiene que estar compuesto principalmente por óxido de hierro, silicato de sodio y EDTA, el mismo debe ser apto para climas húmedos. El esmalte sintético debe contener cromato de zinc y debe utilizarse las resinas alquílicas, que tienen gran dureza, buen brillo, resisten agentes químicos e intemperie y, al combinarse con los aceites, tienen gran flexibilidad.

### **1.8.11 SEGURIDAD DEL SISTEMA.**

#### **1.8.11.1 Equipos.**

Los equipos que constituyen el sistema teleférico, como motores, reductores, sistemas de transmisión, deben contar con las protecciones físicas que vienen proporcionados por parte del fabricante.

#### **1.8.11.2 Control.**

El sistema de control del teleférico es hidráulico, el cual es seleccionado por su facilidad de manejo. La presión de trabajo está en el rango de 1200 a 2000 psi y se debe contar con una válvula de alivio regulada a 2200 psi.

En caso de falla del motor del sistema de potencia se contempla la puesta en marcha de un motor emergente a diesel, cuyo cambio se lo realiza en unos cinco minutos y es de forma mecánica.

Todo el control y los circuitos de seguridad deberán ser de fácil acceso. Los controles de funcionamiento deben ser posicionados dentro de la sala de control tal que el teleférico puede ser manejado y controlado en cualquier modo deseado. La sala de control debe estar situada en la estación de salida y colocada de tal modo que proporcione la mejor vista posible de la línea.



### **1.8.11.3 Normas de uso.**

Todos estos dispositivos deben estar correctamente diseñados y sus funciones claramente establecidas en la documentación de diseño. Se pretende que con el diseño adecuado se prevenga el uso indebido de los equipos y daños en los mismos. Su uso debe estar bajo la supervisión de personal responsable y debidamente capacitado.

El fabricante debe proporcionar un manual de funcionamiento, mantenimiento y operación.

### **1.8.11.4 Límites de la tensión en el cable tractor.**

Se proporcionará un sistema de seguridad para controlar funcionamiento del cable tractor, el cual se detendrá automáticamente si la tensión en el mismo es superior a 1,4 veces la tensión máxima permisible diseñado bajo la condición del peor caso de carga operativa.

Está contemplada una indicación de descarrilamiento y/o mala alineación de las poleas, en ese momento se activa por medio de un interruptor la parada emergente hasta corregir el daño.

### **1.8.11.5 Parada de emergencia.**

Es necesaria la utilización de dos pulsadores de pánico usados en caso de que exista alguna emergencia en las estaciones de salida o de llegada. Estos pulsadores son accionados por los operadores para detener automáticamente el movimiento del teleférico hasta solventar la emergencia, luego de lo cual fácilmente el sistema vuelve a la normalidad.

### **1.8.11.6 Condiciones climáticas.**

El sistema está diseñado para soportar vientos fuertes, pero este debe detener su funcionamiento en caso de advertencia de condiciones no favorables y se evacuará de forma rápida a los usuarios del mismo.

#### **1.8.11.7 Seguridad del entorno.**

Todas las escaleras, pasarelas y barandillas deben estar debidamente señalizadas para que las personas puedan proceder a la evacuación por sus propios medios. En caso de accidente la silla está diseñada para evitar que los pasajeros salgan despedidos. El sujetador de la silla se asegura solo, para desactivarlo se necesita ayuda externa, además cada persona cuenta con su cinturón de seguridad evitando que los pasajeros intenten salirse por sus propios medios. Para que las personas puedan ascender y descender con facilidad de los asientos necesitan ayuda de un operador, el cual brinda asistencia a cada usuario.

#### **1.8.11.8 Protección contra rayos.**

En el sistema es necesario contemplar la colocación de pararrayos. Cada estructura deberá estar debidamente atterrada, para dar una resistencia de 10 ohmios según establece la norma británica BS 6651: 1992 (Código de prácticas para la protección de estructuras contra rayos.)

#### **1.8.11.9 Puesta a tierra.**

La puesta a tierra se da para los elementos eléctricos ajenos al teleférico, como caja registrador, computadoras, sistema de control, cámaras, etc. Todo el equipo eléctrico debe estar conectado a tierra de acuerdo con el código de prácticas para la electricidad.

## CAPÍTULO 2

### 2 ANÁLISIS ESTRUCTURAL

#### 2.1 ANÁLISIS DE LA TRAYECTORIA DEL TELEFÉRICO

El diseño del teleférico al ser de tipo turístico se basa principalmente en brindar comodidad y confort a los usuarios, está destinado a personas que les gusta disfrutar de la aventura así como de la naturaleza. Por ello se dimensiona un sistema teleférico como un medio de transporte que permita disfrutar al máximo del entorno que rodea al lugar en donde será construido, se contará con un sistema de doce sillas dobles ergonómicas con una capacidad para veinticuatro personas, brindando un mayor confort a los usuarios, a la vez que brinden la sensación de aventura deseada por los ocupantes.

En base al estudio topográfico se define la trayectoria deseada para el teleférico, de esta manera se puede definir un sistema de referencia y así determinar las longitudes y alturas en los diferentes tramos del sistema que serán el punto de partida para el cálculo de los componentes del teleférico.

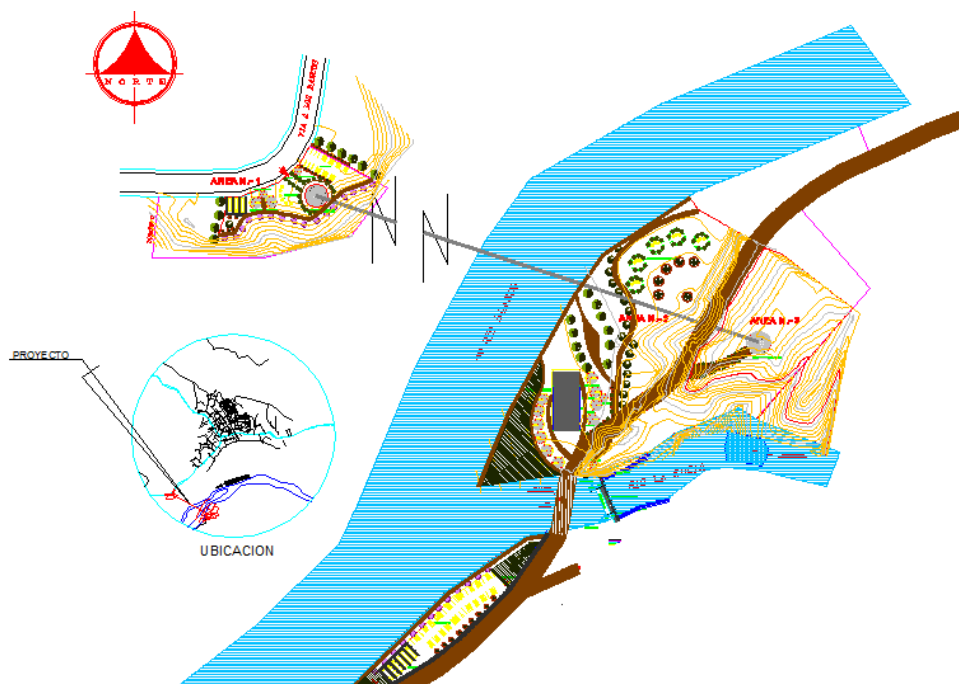
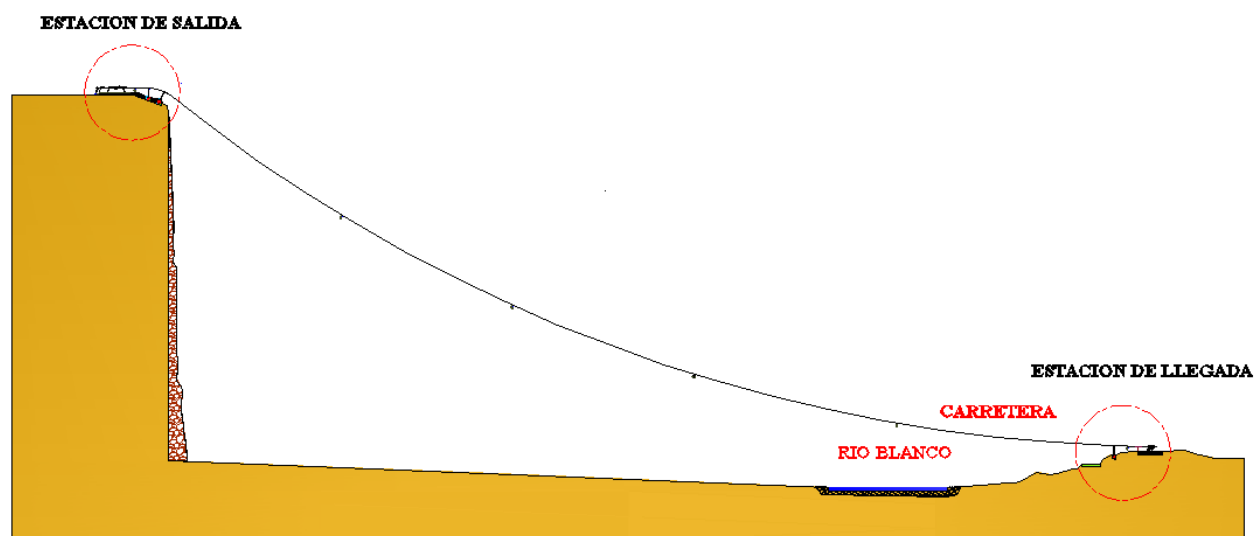


Figura 2.1 Estudio topográfico del terreno



**Figura 2.2** Perfil de la trayectoria deseada del teleférico.

Fuente: Propia

## 2.2 DISEÑO DEL CABLE

En el diseño de cables se tomarán en cuenta los siguientes aspectos al momento de dimensionar el tipo de cable que se va a utilizar en la construcción del teleférico:

- Los cables son elementos que trabajan axialmente, dentro del rango elástico de comportamiento de los materiales, que deben ser diseñados bajo el paradigma de grandes deformaciones, con factores de seguridad altos por su funcionamiento mecánico, los cuales deben oscilar entre 5.0-6.0 según recomendaciones internacionales.
- En las estructuras de un teleférico existen dos tipos de cargas permanentes: cargas cuyo comportamiento básico es estático como las torres y los anclajes, y cargas cuyo comportamiento es semidinámico cuando se combinan con las otras cargas gravitacionales pues sufren grandes desplazamientos, como es el caso del cable
- Es importante conocer las condiciones topográficas, geológicas, climáticas y de funcionamiento para trazar los lineamientos que serán los que guíen la fase

de diseño. Por ello debido a las condiciones del terreno se procede a diseñar para el tramo crítico, el cual tiene una luz de 593 m y una altura de 231 m.

- Las cargas concentradas en el tramo crítico generaran una tensión que se transmitida en todos los puntos del cable, por lo que la flecha debe calcularse con la tensión crítica de trabajo.
- Para evitar que el cable trabaje a fatiga se coloca un contrapeso, que en este caso se ubica en la estación de salida, de manera que cuando las personas asciendan y descendan en el teleférico la carga que estas generan en el cable no aumenten ni disminuyan la tensión de trabajo, sino que solo se produzca un desplazamiento del contrapeso, manteniéndose siempre la misma tensión.
- Para disminuir los efectos debido al aplastamiento se selecciona un cable con alma de acero ya que éste da mayor soporte a los cordones e impide su deformación. Se selecciona este tipo de alma considerando que también es importante la resistencia a la tracción.
- Debido a las condiciones agresivas del lugar en donde se va a ubicar el sistema teleférico es necesario la utilización del cable con acabado galvanizado.

### **2.2.1 EXPANSIÓN O CONTRACCIÓN TÉRMICA**

Considerando la variación de temperatura existente en el Cantón San Miguel de los Bancos se hace necesario verificar el efecto que produce estas fluctuaciones de temperatura en la longitud total del cable, el cambio de longitud está directamente relacionado con el aumento o descenso de la temperatura y se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$\Delta L = \alpha \cdot L_o \cdot \Delta T$$

(Ec. 2.1)

$\alpha$ : Coeficiente de expansión lineal

$L_0$ : Longitud original del cable, [mm]

$\Delta T$ : Cambio de temperatura, [°C]

$\Delta L$ : Cambio de longitud, [mm]

Para determinar la variación de longitud presente en el cable se tiene los siguientes datos:

Temperatura mínima: 2,31 [°C].

Temperatura máxima: 19,22 [°C].

Longitud del cable: 1472,7 [m].

Coeficiente de expansión lineal:  $12,5 \times 10^{-6}$  [°C<sup>-1</sup>]

$$\Delta L = 12,5 \times 10^{-6} (1472,7) \cdot (19,22 - 2,31)$$

$$\Delta L = 0,31 [m]$$

Con lo cual la variación de longitud no es muy significativa y la misma se compensa con el movimiento del contrapeso.

## 2.2.2 MODELACIÓN MATEMÁTICA DEL CABLE <sup>12</sup>

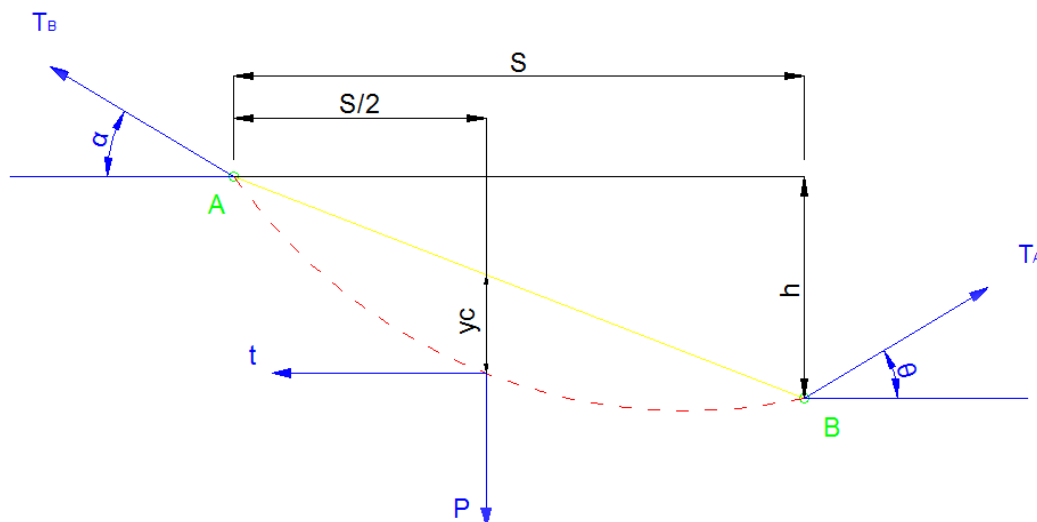
Existen cuatro configuraciones básicas que expresan modelos matemáticos para realizar los cálculos requeridos, los cuales son los siguientes:

- Cable con los extremos en una misma horizontal y carga distribuida.
- Cable con los extremos en una misma horizontal y carga concentrada.
- Cable con los extremos desnivelados y carga distribuida.
- Cable con los extremos desnivelados y carga concentrada.

---

<sup>12</sup> PARRA L., ROMERO J., ROSERO E.; "Diseño de sistemas de cabinas teleféricos para recorrido turístico"; Tesis EPN; 2000; Pág. 92-101.

Como se explicó anteriormente, las condiciones topográficas del terreno se adaptan a la modelación de extremos desnivelados con carga concentrada en el centro de la luz al considerarse este como el caso más crítico con el fin de garantizar la seguridad del sistema. A continuación se muestra los términos del modelo matemático y las expresiones para el cálculo correspondiente.



**Figura 2.3** Esquema de un cable con apoyos a desnivel y con carga en el centro de la luz

Fuente: Propia

Tensión horizontal del cable:

$$t = \frac{S(2P + WS)}{8y_c}$$

(Ec. 2.2)

Tensiones en los apoyos:

$$T_A = \frac{t}{\cos \theta}$$

(Ec. 2.3)

$$T_B = \frac{t}{\cos \alpha}$$

(Ec. 2.4)

Ángulos que forman las tensiones con el eje horizontal:

$$\tan \theta = \frac{P + WS}{2t} - \frac{h}{S}$$

(Ec. 2.5)

$$\tan \alpha = \frac{P + WS}{2t} + \frac{h}{S}$$

(Ec. 2.6)

Longitud del cable:

$$L = \left(1 + \frac{8y_c^2}{3S^2}\right) \sqrt{S^2 + h^2}$$

(Ec. 2.7)

Donde:

$t$ : Tensión horizontal del cable, [kg]

$T_A$ : Tensión en el apoyo izquierdo del cable, [kg]

$T_B$ : Tensión en el apoyo derecho del cable, [kg]

$\theta$ : Ángulo que forma la tensión izquierda del cable, [rad]

$\alpha$ : Ángulo que forma la tensión derecha del cable, [rad]

$L$ : Longitud del cable, [m]

$P$ : Carga concentrada que actúa sobre el cable, [kg]

$W$ : Carga distribuida en el cable, la cual incluye el peso propio del cable y la carga de viento, [kg/m]

$S$ : Luz entre los apoyos del cable, [m]

$h$ : Diferencia de altura entre los apoyos del cable, [m]

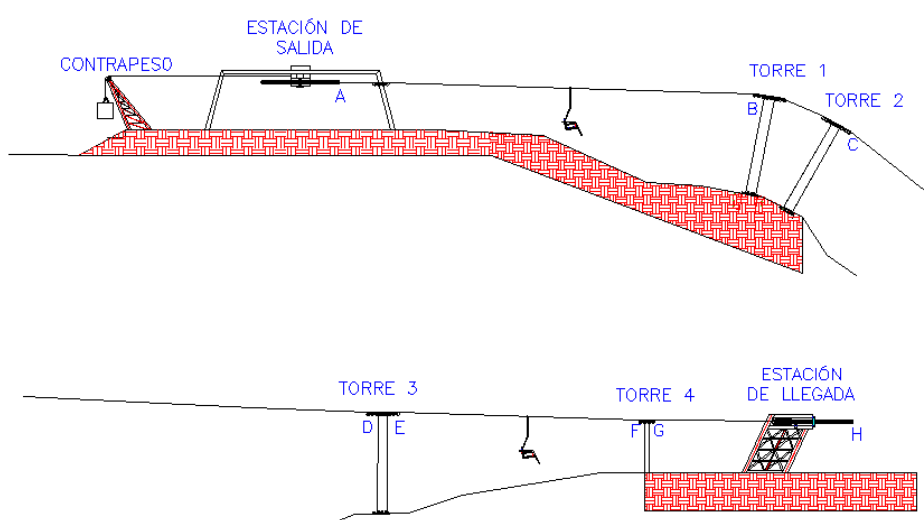
$y_c$ : Flecha en el punto medio de la luz que forma el cable, [m]



## 2.2.3 DETERMINACIÓN DE CARGAS ACTUANTES EN EL CABLE

### 2.2.3.1 Determinación de los tramos existentes en el teleférico

Para el análisis de cada una de las tensiones presentes, se procede a dividir cada tramo de la siguiente manera, siendo el que brinda mejores condiciones para la construcción:



**Figura 2.4** Tramos Presentes en la trayectoria del teleférico.

**Fuente:** Propia

TRAMO 1: Entre la estación de salida y las torres 1-2 (6 m de altura cada torre).

TRAMO 2: Entre la torres 1-2 y la torre 3 (6 m de altura cada torre).

TRAMO 3: Entre la torre 3 y torre 4 (3 m de altura).

TRAMO 4: Entre la torre 4 y estación de llegada.

Se observa que el tramo de mayor criticidad corresponde al tramo dos, procediéndose al análisis del mismo.

### 2.2.3.2 Determinación de las luces y alturas de los tramos

Basándonos en la trayectoria del teleférico y estableciendo un sistema de coordenadas adecuado (el origen está ubicado en la rueda motriz de la estación de salida), se tiene la siguiente tabla:

TRAMO	PUNTO	COORDENADA		$\Delta$ [m]	LUZ (S) [m]	ALTURA (h) [m]
		Y [m]	Z [m]			
1	A	0.0	0.0	26,3	26.3	0.4
	B	26.3	0.4			
2	C	26.3	0.4	636.6	593.5	-230.3
	D	619.7	-230.7			
3	E	619.7	-230.7	41.7	41.7	0.8
	F	661.5	231.5			
4	G	661.5	231.5	9.9	9.9	-0.3
	H	671.3	-231.7			

Tabla 2.1 Dimensiones de luces y alturas en los tramos

Fuente: Propia

Se observa que existen valores de altura negativos debido a que son medidos en dirección contraria al sistema de coordenadas establecido.

Para determinar el valor de  $y_c$ , primero se determina la longitud  $\Delta$  considerando como si el cable estuviera totalmente tensionado, luego el valor de la flecha es aproximadamente de 4 a 6 % esta longitud.

Como el valor de  $\Delta$  es grande y el relieve del terreno permite utilizar un gran valor de la flecha se procede a escoger un valor de 6 % del valor de  $\Delta$  en el tramo crítico para no tener grandes tensiones en las torres.

Utilizando la ecuación 2.7 se determina la longitud total del sistema, sumando el perímetro que recorren en la rueda motriz, para posteriormente dividir dicha longitud para el número de sillas que utilizará en el teleférico.

$$L = \left(1 + \frac{8(38)}{3(624.5)^2}\right) \sqrt{(624.5)^2 + (232.5)^2}$$

$$L = 673.66 [m]$$

De la misma manera se determina las longitudes de los demás tramos, se suman y se multiplica por dos debido a que se utiliza el mismo cable para subir y bajar las cabinas.

$$\Delta = 1444.47 [m]$$

A este valor se le suma el perímetro recorrido en las ruedas motriz y de reenvío:

$$L = 1444.47 + \pi(4.5)$$

$$L = 1458.6 [m]$$

Se divide para el número de canastillas dobles, obteniéndose que la separación entre las sillas es de 121.6 metros. De acuerdo al análisis anterior se tiene que el número de sillas presentes en el tramo crítico es de 6.

### 2.2.3.3 Carga de viento

A los fines de considerar la carga por acción del viento sobre los cables se aplicará la siguiente fórmula<sup>13</sup>:

Para luces de hasta 200 m:

$$W_w = 0.75 \times C \times P_w \times d \times a$$

(Ec. 2.8)

Para luces mayores de 200 m:

$$W_w = 0.75 \times C \times P_w \times d \times (80 + 0.6a)$$

(Ec. 2.9)

Donde:

$W_w$ : Carga del viento, [kg]

<sup>13</sup> <http://www.mosp.gba.gov.ar/sitios/energia2/pdf/doc/Anexo%201.pdf>

$C$ : Coeficiente aerodinámico.

$P_w$ : Presión de Viento, [ $kg/m^2$ ]

$d$ : Diámetro del cable, [ $m$ ]

$a$ : Luz del trayecto, [ $m$ ]

Para el cálculo en primera instancia se selecciona el coeficiente aerodinámico de la siguiente tabla:

Diámetro del Cable, en mm	C
$d = 12,5$	1,2
$12,5 < d < 15,8$	1,1
$d > 15,8$	1,0
Cables de sección no circular	1,3

**Tabla 2.2** Coeficiente Aerodinámico

**Fuente:**

[http://www.inifed.gob.mx/doc/NORMAS\\_TECNICAS/VOLUMEN\\_4/Volumen\\_4\\_Tomo\\_III\\_Disenio\\_por\\_Viento.pdf](http://www.inifed.gob.mx/doc/NORMAS_TECNICAS/VOLUMEN_4/Volumen_4_Tomo_III_Disenio_por_Viento.pdf)

Presión de Viento:

$$P_w = \frac{V_w^2}{16}$$

(Ec. 2.10)

$V_w$ : Velocidad del viento, [ $m/s$ ]

Se considera una velocidad de viento de 200 km/h (55.56m/s), lo que permite abarcar todas las posibles sobrecargas debidas a vientos:

$$P_w = \frac{(55,56)^2}{16}$$

$$P_w = 196,2 \text{ [kg/m}^2\text{]}$$

Como se tiene una luz mayor a 200m se utiliza la ecuación 2.9, tomándose un cable de 1/8 pulgadas 6x19:

$$W_w = 0,75 \times (1) \times (196,2) \times (0,028575) \times (80 + 0,6 \times (593,5))$$

$$W_w = 1833,72 \text{ [kg]}$$

Esta carga se distribuye alrededor de todo el cable por lo cual se determina la carga por metro debida a viento:

$$W_w = \frac{1833,72}{729,3} = 2,51 \left[ \frac{\text{kg}}{\text{m}} \right]$$

#### 2.2.3.4 Cargas vivas y peso muerto (P)

Para el cálculo de las tensiones presentes en cada tramo se procede a determinar parámetros funcionales como la carga que soporta el cable, sabiendo que el sistema se diseña para doce sillas dobles con una capacidad de veinticuatro personas obteniéndose los siguientes resultados:

ELEMENTO	CANTIDAD	PESO [kg]	TOTAL [kg]
Sillas Dobles	12	80	960
Personas	24	90	2160
<b>Total</b>			<b>3120 kg</b>

Tabla 2.3 Resumen de cargas vivas y peso muerto actuantes sobre el cable.

TRAMO	$\Delta$ [m]	$y_c$ [m]	$L$ [m]	LONGITUD TOTAL DEL CABLE [m]	LONGITUD CABLE EN UN SENTIDO [m]	DISTANCIA ENTRE DIVISIÓN [m]	NÚMERO MÁXIMO DE SILLAS POR TRAMO	CARGA PERSONAS [kg]	CARGA CANASTILLA [kg]
1	26.3	1.6	26.5	1458,6	729,3	121,6	1	180	40
2	636.6	38.2	643.6	1458,6	729,3	121,6	6	1080	480
3	41.7	2.5	42.1	1458,6	729,3	121,6	1	180	40
4	9.9	0.6	10.0	1458,6	729,3	121,6	1	180	40

Tabla 2.4 Carga máxima presente en cada tramo.

Fuente: Propia

Cabe resaltar que los valores mostrados en la tabla anterior están sobredimensionados con el fin de introducir un factor de seguridad en el cálculo del cable, además se toman en cuenta cargas debidas a objetos que se deseen transportar en el teleférico, como mochilas, bicicletas y demás implementos utilizados por los turistas.

### 2.2.3.5 Hipótesis de diseño

La probabilidad de que ambas fuerzas se encuentren a plena carga es muy baja por lo que se diseña tomando en cuenta la siguiente hipótesis de diseño para la determinación del empuje longitudinal a través del cable, sirviendo de base para los cálculos de los sistemas estructurales del teleférico:

$$H = 60\%W_w + 80\%P_{Personas}$$

(Ec. 2.11)

Donde:

$H$ : Hipótesis de diseño

$W_w$ : Presión del viento, [kg]

$P_{personas}$ : Carga total de personas, [kg]

Determinación de la carga de viento de acuerdo con la hipótesis de diseño.

$$P = P_{Personas} + P_{Canastillas}$$

$$W = \sqrt{W_w^2 + W_{Cable}^2}$$

Según la hipótesis de diseño para el tramo crítico:

$$P'_{Personas} = 0.8 \times 1080 = 864 \text{ [kg]}$$

$$P = 864 + 480 = 1344 \text{ [kg]}$$

$$W'_w = 0.6 \times 2.51 = 1.51 \left[ \frac{\text{kg}}{\text{m}} \right]$$

$$W = \sqrt{(1.51)^2 + (3.48)^2}$$

$$W = 3.8 \left[ \frac{kg}{m} \right]$$

Reemplazando en la ecuación 2.2 se obtiene:

$$t = \frac{(593.5) \times [2(1344) + 3.8(593,5)]}{8 \times (38.2)} [kg]$$

$$t = 9592,73 [kg]$$

Mediante las ecuaciones 2.5 y 2.6 se obtiene los valores de los ángulos formados por efecto de la carga actuante en el cable.

$$\tan \theta = \frac{1344 + (3.82) \times (593.47)}{2(9592.73)} - \frac{230.3}{593.5}$$

$$\theta = -10.87^\circ$$

$$\tan \alpha = \frac{1344 + (3.82) \times (593.47)}{2(9592.73)} + \frac{230.3}{593.5}$$

$$\alpha = 30.28^\circ$$

Sustituyendo en las ecuaciones 2.3 y 2.4 para obtener los valores de las tensiones máximas se tiene:

$$T_A = \frac{9592.73}{\cos(-10,87^\circ)} [kg]$$

$$T_A = 9762.13 [kg]$$

$$T_B = \frac{9592.73}{\cos(30.28)^\circ} [kg]$$

$$T_B = 11108,3 [kg]$$

Para obtener el factor de seguridad se divide la resistencia última a la tracción del cable para la tensión máxima obtenida:

$$n = \frac{59000 [kg]}{11108,3 [kg]}$$

$$n = 5,31$$

Considerando que en la mayoría de los casos, un cable no puede aumentar al mismo tiempo su resistencia a la fatiga y su resistencia a la abrasión. Por esta razón es necesario elegir el cable de acero apropiado, para la aplicación exacta. De esta manera se selecciona un cable 6x19 por su alta resistencia a la abrasión ya que la resistencia a la fatiga se garantiza con el dimensionamiento de la rueda mostrado en el capítulo 3.

A continuación se muestra los factores de seguridad para los diferentes tramos de la trayectoria en función del diámetro del cable.



Tramo	Cable [pulg]	Diámetro [cm]	Carga Viento [Kg/m]	Peso Cable [Kg/m]	Peso Personas [Kg]	Peso Sillas [Kg]	Peso del Cable + Carga Viento [Kg/m]	Peso de Personas + Canastillas [Kg]	Tensión Última Tu [Kg]	Tensión Horizontal To [Kg]	$\theta$ [°]	$\alpha$ [°]	T <sub>A</sub> [Kg]	T <sub>B</sub> [Kg]	n
1	1	2,54	1,82	2,75	180,00	80,00	3,30	260,00	46750	1263,81	6,95	8,66	1273,17	1278,40	36,57
	1(1/8)	2,86	1,51	3,48	180,00	80,00	3,79	260,00	59000	1290,76	7,07	8,78	1300,66	1306,09	45,17
	1(3/8)	3,5	2,51	5,21	180,00	80,00	5,79	260,00	86850	1399,78	7,52	9,22	1411,91	1418,12	61,24
2	1	2,54	1,82	2,75	1080,00	480,00	3,30	1344,00	46750	9025,05	-11,15	30,06	9198,77	10428,04	4,48
	1(1/8)	2,86	1,51	3,48	1080,00	480,00	3,79	1344,00	59000	9592,73	-10,87	30,28	9768,13	11108,30	5,31
	1(3/8)	3,5	2,51	5,21	1080,00	480,00	5,79	1344,00	86850	11889,06	-10,02	30,94	12073,04	13861,24	6,27
3	1	2,54	1,82	2,76	180,00	80,00	3,31	260,00	46750	1370,93	7,18	9,33	1381,77	1389,32	33,65
	1(1/8)	2,86	1,51	3,49	180,00	80,00	3,80	260,00	59000	1413,86	7,34	9,49	1425,56	1433,49	41,16
	1(3/8)	3,5	2,51	5,22	180,00	80,00	5,79	260,00	86850	1587,05	7,91	10,05	1602,29	1611,79	53,88
4	1	2,54	1,82	2,75	180,00	80,00	3,30	260,00	46750	1151,20	5,71	8,76	1156,95	1164,79	40,41
	1(1/8)	2,86	1,51	3,48	180,00	80,00	3,79	260,00	59000	1161,33	5,77	8,81	1167,24	1175,21	50,55
	1(3/8)	3,5	2,51	5,21	180,00	80,00	5,79	260,00	86850	1202,29	5,99	9,03	1208,88	1217,37	71,84

**Tabla 2.5** Factores de seguridad para diferentes tramos y diámetros de cable.

Fuente: Propia

Se verifica que el TRAMO 2 es el crítico, teniendo factores de seguridad de 4.48 a 6.27 ubicándose dentro de las recomendaciones, por ello se selecciona el cable de 1 1/8 pulgadas cumpliendo con las normativas internacionales para el manejo y uso de cables en sistemas teleféricos.

Para realizar un cálculo de las distintas partes constituyentes del teleférico se escoge la máxima tensión dada en el tramo crítico la cual es 11108.3 [kg], por ello se aproxima la misma a 11.5 [Ton], para determinar todas las fuerzas presentes en el sistema. Esta fuerza de trabajo se utiliza en el diseño del contrapeso, el cual evita que el cable trabaje a fatiga, además de mantener una tensión de trabajo constante sin importar el número de personas que se encuentren dentro del teleférico, además esta tensión permite recalcular los factores de seguridad de cada tramo con diferentes diámetros de cable como se muestra a continuación:

TRAMO	Diámetro Cable [in]	Tensión Última [Ton]	Tensión Horizontal [Kg]	$\theta$ [°]	$\alpha$ [°]	$T_A$ [Kg]	$T_B$ [kg]	n
1	1	46750	9025,05	6,95	8,66	9091,90	9129,24	5,12
	<b>1(1/8)</b>	<b>59000</b>	<b>9592,73</b>	<b>7,07</b>	<b>8,78</b>	<b>9666,30</b>	<b>9706,60</b>	<b>6,08</b>
	1(3/8)	86850	11889,06	7,52	9,22	11992,08	12044,79	7,21
2	1	46750	9025,05	-11,15	30,06	9198,77	10428,04	4,48
	<b>1(1/8)</b>	<b>59000</b>	<b>9592,73</b>	<b>-10,87</b>	<b>30,28</b>	<b>9768,13</b>	<b>11500,00</b>	<b>5,13</b>
	1(3/8)	86850	11889,06	-10,02	30,94	12073,04	13861,24	6,27
3	1	46750	9025,05	7,18	9,33	9096,42	9146,11	5,11
	<b>1(1/8)</b>	<b>59000</b>	<b>9592,73</b>	<b>7,34</b>	<b>9,49</b>	<b>9672,08</b>	<b>9725,92</b>	<b>6,07</b>
	1(3/8)	86850	11889,06	7,91	10,05	12003,24	12074,39	7,19
4	1	46750	9025,05	5,71	8,76	9070,12	9131,57	5,15
	<b>1(1/8)</b>	<b>59000</b>	<b>9592,73</b>	<b>5,77</b>	<b>8,81</b>	<b>9641,57</b>	<b>9707,39</b>	<b>6,12</b>
	1(3/8)	86850	11889,06	5,99	9,03	11954,24	12038,20	7,27

**Tabla 2.6** Factores de seguridad corregidos en el cable.

Fuente: Propia

## 2.3 DISEÑO DE LA ESTRUCTURA SOPORTE DEL CONTRAPESO.

El sistema del contrapeso permite mantener una tensión constante de trabajo a lo largo del cable, evitando que este trabaje a fatiga, de ahí la importancia debido a que su correcto funcionamiento aumenta la vida útil del cable mejorando la integridad del sistema, a la vez que evita grandes costos en el mantenimiento y cambio del cable así como de los elementos constituyentes del teleférico.

### 2.3.1 DISTANCIA RECORRIDA DEL CONTRAPESO

Primero se analiza la distancia aproximada de desplazamiento que tendrá el sistema, es decir, la variación de longitud que tendrá el cable cuando esta a plena y sin carga en el sistema. Para ello se utiliza las ecuaciones 2.2 y 2.7 para todos los tramos como se muestra a continuación:

Para el tramo crítico analiza el sistema a plena carga:

$$y_c = \frac{(593,5)[2(1344) + (3,79)(593,5)]}{8(9592,73)} = 42.32 \text{ [m]}$$

$$L = \left(1 + \frac{8(42,32)}{3(593,5)^2}\right) \sqrt{(593,5)^2 + (230,27)^2} = 684.92 \text{ [m]}$$

Este valor nos muestra la longitud rea del cable para el estado de carga determinado, para los tramos restantes se resume a continuación los resultados obtenidos:

TRAMO	Yc [m]	L [m]
1	0,21	26,28
2	42,3	684,9
3	0,37	41,76
4	0,07	9,88
<b>TOTAL</b>		<b>762.83</b>

**Tabla 2.7** Longitud del cable a plena carga

Fuente: Propia

Evaluando el sistema con carga de pasajeros:

$$y_c = \frac{(593,5)[2(480) + (3,79)(593,5)]}{8(9592,73)} = 27,99 \text{ [m]}$$

$$L = \left[ 1 + \frac{8(38,18)}{3(593,5)^2} \right] \sqrt{(593,5)^2 + (230,27)^2} = 680,43 \text{ [m]}$$

Este valor nos muestra la longitud producida en el cable para el estado de carga determinado, para los tramos restantes se resume a continuación los resultados obtenidos:

TRAMO	yc [m]	L [m]
1	0,09	26,27
2	27,9	680,4
3	0,17	41,75
4	0,03	9,87
	<b>L</b>	<b>758.33</b>

**Tabla 2.8** Longitud del cable sin carga por personas.

Fuente: Propia

Se determina la variación de longitud cuando se tiene los casos analizados, para determinar el desplazamiento del contrapeso:

$$\Delta L = 762,83 - 758,33 = 4,5 \text{ [m]}$$

Esta distancia sirve de base para el cálculo del soporte del contrapeso y de la distancia de la estación de salida.

### 2.3.2 DIMENSIONAMIENTO DEL CONTRAPESO.

El contrapeso se dimensiona en base a la tensión máxima generada en el sistema, calculada con anterioridad, de 23000 kg. Se calcula el volumen del contrapeso conociendo la densidad del concreto ( $\delta = 2300 \text{ kg/m}^3$ )

$$V = \frac{m}{\delta}$$

$$V = \frac{23000}{2300} = 10 \text{ [m}^3\text{]}$$

En base al volumen se puede determinar las dimensiones del contrapeso, considerando una altura de 1.5 m para evitar grandes dimensiones en la estructura de soporte.

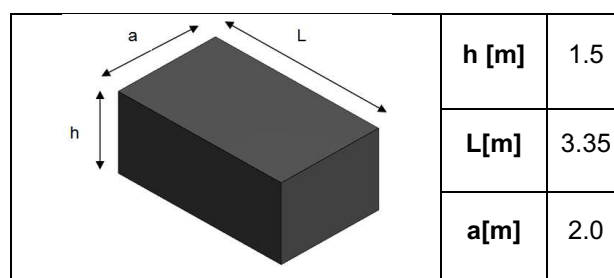


Figura 2.5 Dimensiones del contrapeso.

### 2.3.3 DISEÑO DE LA ESTRUCTURA SOPORTE DEL CONTRAPESO

El diseño de este sistema consiste en una tubería inclinada que esta compuesta de cuatro poleas guías capaz de soportar el peso del contrapeso, cuyo esquema se muestra en la siguiente figura:

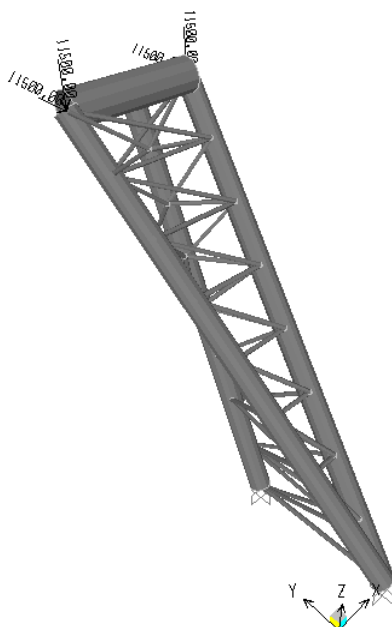


Figura 2.6 Esquema de fuerzas actuantes en el soporte

Fuente: Propia

De acuerdo al estado de cargas se procede a diseñar los elementos principales de acuerdo al análisis realizado en el apartado 2.6.3. El análisis corresponde a los siguientes elementos.

### 2.3.3.1 Diseño de los elementos de soporte principales

Debido a que los soportes principales tienen las mismas características se realiza el diseño para el elemento de mayor criticidad, cuyos diagramas de fuerza cortante y momento flector se obtienen a continuación:

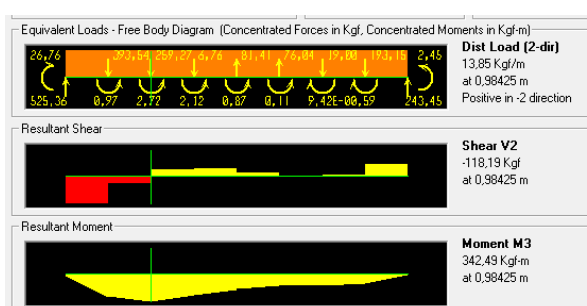


Figura 2.7 Diagrama de fuerza cortante y momento flector plano XZ.

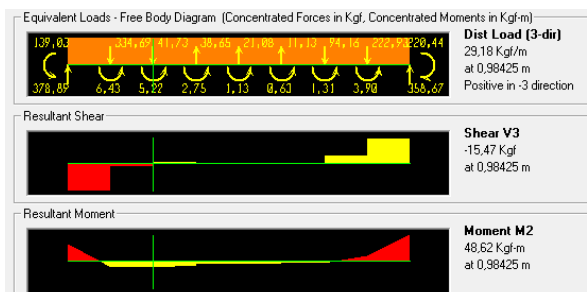


Figura 2.8 Diagrama de fuerza cortante y momento flector plano XY.

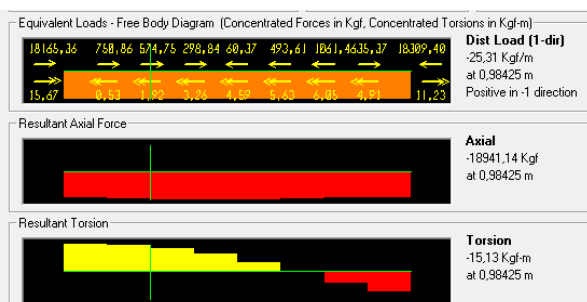


Figura 2.9 Diagrama de fuerza de compresión.

Fuente: Propia

Las principales fuerzas que actúan sobre el soporte son:

$$M_y = 342.49 \text{ [kg. m]}$$

$$M_x = 48.62 \text{ [kg. m]}$$

$$P = 18941.14 \text{ [kg]}$$

Analizando las condiciones de carga se determina las propiedades de las secciones:

TUBERIA CIRC.	L [m]	Peso [kg/m]	D <sub>ext</sub> [m]	D <sub>int</sub> [m]	t [m]	A [m <sup>2</sup> ]	I <sub>y</sub> [m <sup>4</sup> ]	I <sub>x</sub> [m <sup>4</sup> ]	r <sub>y-y</sub> [m]	λ
5 PULG.	0,49	21,78	0,1413	0,1282	0,00655	2,77E-03	6,31E-06	1,1E-05	4,8E-02	20,55
6 PULG.	0,49	28,26	0,1683	0,1551	0,0066	3,4E-03	1,1E-05	1,1E-05	5,7E-02	17,18
8 PULG.	0,49	42,53	0,2191	0,2019	0,0086	5,7E-03	3,2E-05	3,2E-05	7,5E-02	13,16
TUBERIA RECT.	L [m]	Peso [kg/m]	D <sub>ext</sub> [m]	D <sub>int</sub> [m]	t [m]	A [m <sup>2</sup> ]	I <sub>y</sub> [m <sup>4</sup> ]	I <sub>x</sub> [m <sup>4</sup> ]	r <sub>y-y</sub> [m]	λ
200X150X4	0,49	23,4	0,2	0,15	0,004	2,7E-03	1,0E-05	1,6E-05	7,7E-02	12,7
250X150X4	0,49	26,6	0,25	0,15	0,004	3,1E-03	1,3E-05	2,8E-05	9,4E-02	10,4
250X200X5	0,49	36,66	0,25	0,2	0,005	4,4E-03	3,0E-05	4,2E-05	9,7E-02	10,1

Tabla 2.9 Secciones de prueba para el tubo soporte inferior

Fuente: Propia

Se tiene que  $C_c \geq \lambda$  por ello se analiza de manera similar a lo mostrado en el apartado 2.4.3.1.

SECCIÓN	C <sub>c</sub>	FS	P [kg]	Fa [MPa]	fa [MPa]	fa/Fa
<b>TUBERÍA CIRCULAR</b>						
6 PULGADAS	128	1,726	18941,14	138,32	67,01	0,4845
8 PULGADAS	128	1,717	18941,14	139,64	51,61	0,3696
10 PULGADAS	128	1,705	18941,14	141,12	32,60	0,2310
<b>TUBERÍA RECTANGULAR</b>						
200X150X4	128	1,713	18941,14	140,14	67,91	0,4846
250X150X4	128	1,712	18941,14	140,28	59,25	0,4224
250X200X5	128	1,702	18941,14	141,54	42,23	0,2984

Tabla 2.10 Análisis a compresión de las secciones

Fuente: Propia.

Verificando que para todas las secciones se cumple que  $f_a/F_a \geq 0.15$  se debe cumplir simultáneamente las ecuaciones 2.17 y 2.18, realizando el proceso de cálculo descrito a continuación para una tubería de 8 pulgadas cédula 40:

$$F'_{ex} = \frac{12\pi^2(199950)}{23[17,18]^2}$$

$$F'_{ex} = 3488,61 \text{ [MPa]}$$

Como la tubería tiene una sección circular se tiene que:

$$F'_{ex} = F'_{ey}$$

Debido que se trata de una columna sujeta a desplazamientos laterales se tiene que  $C_b = 0.85$  en ambos planos de análisis, a continuación se reemplaza los valores en las ecuaciones correspondientes:

$$f_{bx} = \frac{342,49 \text{ [kg.m]} \times 0,08415 \text{ [m]}}{1,1e^{-5} \text{ [m}^4]} = 24,11 \text{ [MPa]}$$

$$f_{by} = \frac{48,62 \text{ [kg.m]} \times 0,08415 \text{ [m]}}{1,1e^{-5} \text{ [m}^4]} = 3,42 \text{ [MPa]}$$

Considerando un perfil de sección compacta se establece el valor del esfuerzo admisible correspondiente a:

$$F_{bx} = F_{by} = 0,6 \times S_y = 145,14 \text{ [MPa]}$$

Finalmente se diseña la sección para un factor de seguridad de 3 debido a las condiciones de trabajo de la estación así como normativas internacionales para la construcción de teleféricos, y reemplazando en la ecuación 2.57.

$$\frac{51,61}{145,14} + \frac{(1,0)(24,11)}{\left[1 - \frac{(51,61)}{(3488,61)}\right](145,14)} + \frac{(1,0)(3,42)}{\left[1 - \frac{(51,61)}{(3488,61)}\right](145,14)} \leq 0,57$$

$$0,533 \leq 0,566$$

De igual manera se reemplaza en la ecuación 2.58 para comprobar si se cumplen ambos requisitos:



$$\frac{51,61}{0,6(240)} + \frac{24,11}{145,14} + \frac{3,42}{145,14} \leq 0,57$$

$$0,545 \leq 0,57$$

Puesto que cumple ambos requisitos de diseño se considera a la sección como satisfactoria, se analiza la sección óptima que brinda las mejores prestaciones para el sistema soporte del contrapeso obteniendo los siguientes resultados.

SECCIÓN	$\frac{f_a}{F_a} + \frac{C_{mx}f_{bx}}{(1 - \frac{f_a}{F_{ex}})F_{bx}} + \frac{C_{my}f_{by}}{(1 - \frac{f_a}{F_{ey}})F_{by}} \leq 0,5$	$\frac{f_a}{0,6F_y} + \frac{f_{bx}}{F_{bx}} + \frac{f_{by}}{F_{by}} \leq 0,57$
<b>TUBERÍA CIRCULAR</b>		
5 PULGADAS	0,7430	0,7574
6 PULGADAS	0,5332	0,5452
8 PULGADAS	0,3092	0,3161
<b>TUBERÍA RECTANGULAR</b>		
200X150X4	0,6448	0,6543
250X150X4	0,5532	0,5611
250X200X5	0,3738	0,3793

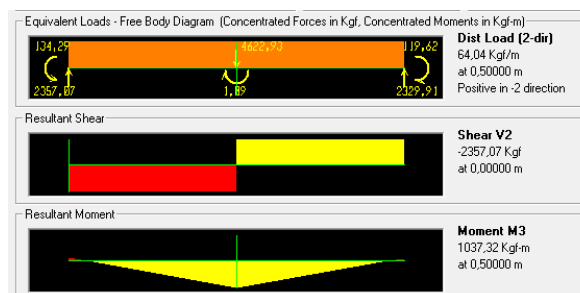
**Tabla 2.11** Resumen del análisis a flexo-compresión.

Fuente: Propia

Se selecciona la sección de 6 pulgadas cédula 40, debido a que la sección circular brinda mejores características de servicio.

### 2.3.3.2 Diseño del elemento soporte direccional

Se procede de manera similar al apartado anterior determinando los esquemas de fuerza principales actuantes en el elemento:



**Figura 2.10** Diagrama de fuerza cortante y momento flector plano XZ.

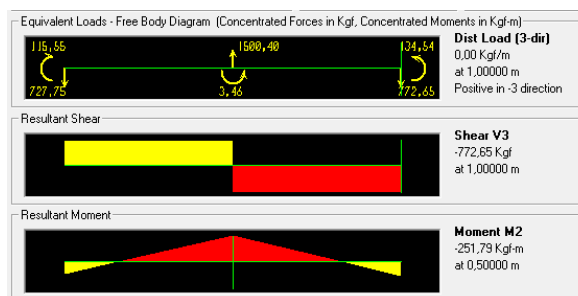


Figura 2.11 Diagrama de fuerza cortante y momento flector plano x-y

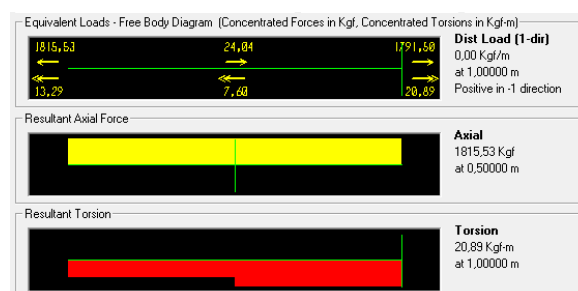


Figura 2.12 Diagrama de fuerza de compresión.

Fuente: Propia

Las principales fuerzas que actúan sobre el soporte son:

$$M_y = 1037.32 \text{ [kg.m]}$$

$$M_x = 251.79 \text{ [kg.m]}$$

$$P = 1815.53 \text{ [kg]}$$

Se realiza el análisis adecuado para la sección y se obtienen los siguientes resultados, sabiendo que la relación  $f_a/F_a \leq 0,15$  satisface la ecuación 2.19:

SECCIÓN	$\frac{f_a}{F_a} + \frac{f_{bx}}{F_{bx}} + \frac{f_{by}}{F_{by}} \leq 0.55$
<b>TUBERÍA CIRCULAR</b>	
6 PULGADAS	0,70348
8 PULGADAS	0,32374
10 PULGADAS	0,16994

Tabla 2.12 Resumen del análisis a flexo-compresión

Se selecciona la sección de 8 pulgadas cédula 40 debido a la estética de la sección; para los elementos secundarios se escoge tubería de ½ pulgada cédula 40, después de realizar el análisis respectivo.

## **2.4 ANÁLISIS DE LA ESTRUCTURAS DE SOPORTE**

Una vez determinada la trayectoria del teleférico se analizan el número de estructuras intermedias que se dispondrán para lograr la misma, conjuntamente con la ubicación óptima de las estaciones de salida y de llegada, para facilitar el ascenso y descenso de personas.

Como se observa en la Figura 2.2 es necesaria la utilización de tres torres de seis metros y una de tres metros de guía, que se ubicarán tal como se indica en la Figura 2.4, ya que la trayectoria deseada posee una luz significativa que brindará el grado de aventura requerido por los usuarios del sistema.

El sistema contará con cuatro torres principales, de las cuales se realiza el análisis respectivo determinándose que la torre crítica es la 2. Se selecciona la longitud de los soportes de las torres de 4.5 metros por requerimientos de diseño, como se determina en el análisis de la rueda motriz del capítulo 3.

La carga máxima del sistema corresponde a las condiciones extremas de trabajo; esto es carga viva de personas a la máxima capacidad, cargas eólicas, carga de sismo y carga de peso propio de los sistemas mecánico y estructural.

### **2.4.1 COMBINACIONES DE CARGA DE DISEÑO.**

Debido a las condiciones de trabajo dadas en el sistema teleférico se determinan las combinaciones de cargas adecuadas. Para esto se analiza que el contrapeso da la tensión de funcionamiento a todo el sistema, y este a su vez se basa en las tensiones máximas generadas en el tramo crítico por las cargas muertas (cable, sillas, maletas, etc.) y las cargas vivas (personas).

Se realiza el análisis mediante la tensión generada combinada con sismo y viento en ambos planos, escogiéndose la más crítica para cada caso, esto se ejemplifica en el diseño de las torres.

### 2.4.1.1 CARGA VIVA EN LA TORRE.

Para determinar las cargas que actúan sobre las torres es necesario calcular los ángulos de entrada, lo cual se determinó mediante las ecuaciones 2.5 y 2.6, que sirven para determinar las tensiones actuantes sobre los extremos de la torre según se observa en el siguiente esquema:

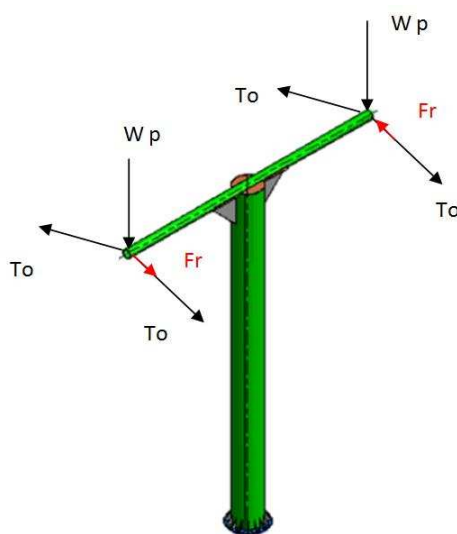


Figura 2.13 Esquema de fuerzas actuantes en la torre.

Donde:

$T$ : Tensión de trabajo del cable

$W_p$ : Peso del tren de poleas (500 kg)

$F_f$ : Fuerza de fricción en los rodamientos del tren de poleas

$\alpha$ : Ángulo que forma la tensión derecha del cable

$\theta$ : Ángulo que forma la tensión izquierda del cable

De acuerdo al diagrama de cuerpo libre se obtiene las fuerzas resultantes en los puntos especificados que determinan la carga de trabajo de la torre. Se sabe que existe la fuerza de rozamiento entre los rodamientos de las poleas, el cual se determina mediante la siguiente fórmula:

$$F_R = 2 \times n \times u \times T \times \sin\left(\frac{\delta}{2}\right)^{14}$$

(Ec. 2.12)

Donde:

$n$ : Número de poleas en todo el sistema (68 poleas).

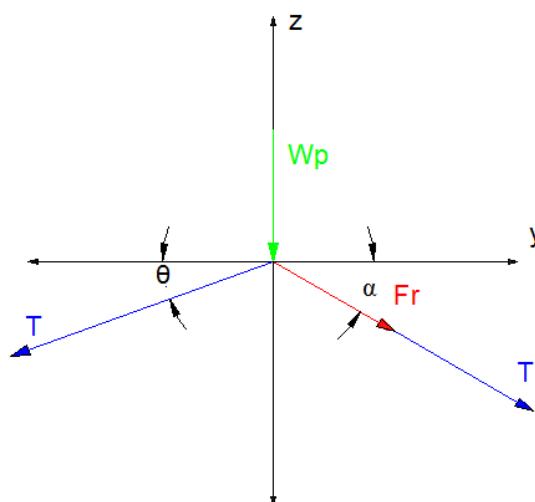
$u$ : Factor de rozamiento en los rodamientos de las poleas  $(0.0015)^{15}$ .

$T$ : Tensión máxima ejercida por el contrapeso (11.5 T)

$\delta$ : Ángulo de contacto del cable en las poleas (Se estima  $3^\circ$ ).

$$F_R = 2 \times (68) \times (0.0015) \times (11500) \times \sin\left(\frac{3^\circ}{2}\right) = 65.02 \text{ [kg]}$$

Se calcula las reacciones en los extremos de la torre crítica, en el siguiente diagrama en donde se describe la tensión máxima dada en el sistema y los ángulos de entrada correspondientes para cada torre en particular:



**Figura 2.14** Diagrama de cuerpo libre del brazo por donde ascienden las sillas.

**Fuente:** Propia

<sup>14</sup> PARRA L., ROMERO J., ROSERO E.; "Diseño de sistemas de cabinas teleféricos para recorrido turístico"; Tesis EPN; 2000; Pág. 92-101.

<sup>15</sup> RODAMIENTOS FAG, Catálogo WL 41 520/3 SB, Pág. 96.

#### 2.4.1.1.1 Soporte de ascenso de las sillas.

Aplicando las leyes de Newton se obtiene la resultante en el punto A

$$\sum F_x = R_{AX}$$

$$R_{AX} = T \cos \theta - F_R \cos \alpha - T \cos \alpha$$

$$R_{AX} = (11500) \cos(8,78^\circ) - (65,02) \cos(30,28^\circ) - (11500) \cos(30,28^\circ)$$

$$R_{AX} = 1378.01 \text{ [kg]}$$

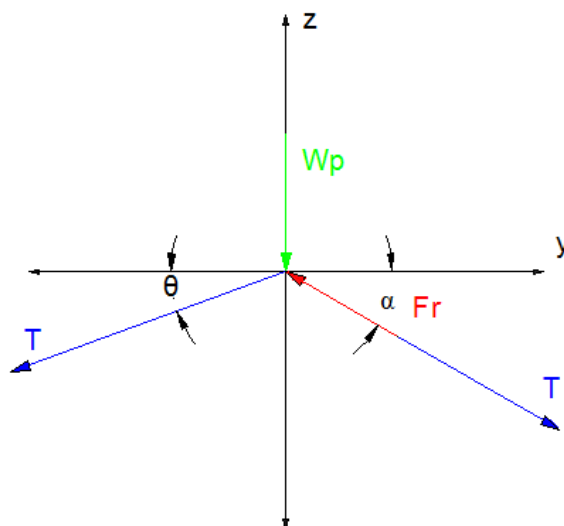
$$\sum F_y = R_{AY}$$

$$R_{AY} = T \sin \theta + F_R \sin \alpha + T \sin \alpha + W_p$$

$$R_{AY} = (11500) \sin(8,78^\circ) + (65) \sin(30,28^\circ) + (11500) \sin(30,28^\circ) + (500)$$

$$R_{AY} = 8086.76 \text{ [kg]}$$

#### 2.4.1.1.2 Soporte por donde descienden las sillas.



**Figura 2.15** Diagrama de cuerpo libre del brazo por donde bajan las sillas

**Fuente:** Propia

Aplicando las leyes de Newton obtenemos la resultante en el punto B

$$\sum F_X = R_{BX}$$

$$R_{AX} = T \cos \theta + F_R \cos \alpha - T \cos \alpha$$

$$R_{AX} = (11500) \cos(8,78^\circ) + (65,02) \cos(30,28^\circ) - (11500) \cos(30,28^\circ)$$

$$R_{AX} = 1490.32 \text{ [kg]}$$

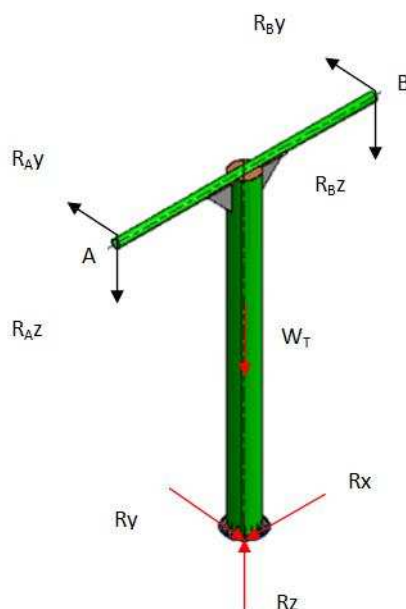
$$\sum F_Y = R_{BY}$$

$$R_{AY} = T \sin \alpha - F_R \sin \alpha + T \sin \theta + W_p$$

$$R_{AY} = (11500) \sin(30,28^\circ) - (65,02) \sin(30,28^\circ) + (11500) \sin(8,78^\circ) + 500$$

$$R_{AY} = 8021,18 \text{ [kg]}$$

Se obtiene las reacciones existentes sobre todas las bases de la torres de acuerdo al siguiente esquema, que permite visualizar todas las variables implicadas en el cálculo de las mismas:



**Figura 2.16** Diagrama de cuerpo libre de la torre

**Fuente:** Propia

$W_T$ : Peso de la Torre

$R_{Az}$ ,  $R_{Ay}$ ,  $R_{Bz}$ ,  $R_{By}$ : Fuerzas resultantes en los extremos de la torre

$R_x$ ,  $R_y$ ,  $R_z$ : Reacciones en el empotramiento.

Se realiza un análisis similar para el resto de las torres obteniéndose los siguientes resultados:

T [kg]	$\theta$ [°]	$\alpha$ [°]	Fr [kg]	PUNTO A		PUNTO B	
				Ry [kg]	Rz[kg]	Ry[kg]	Rz[kg]
11500	8,78	30,28	65,02	1378,01	8086,76	1490,32	8021,18
11500	8,78	30,28	65,02	1378,01	8086,76	1490,32	8021,18
11500	10,87	9,49	65,02	-113,09	4575,47	15,18	4554,03
11500	7,34	8,81	65,02	-22,81	3740,49	105,70	3720,57

**Tabla 2.13** Resumen de fuerzas resultantes en los apoyos de las torres.

Fuente: Propia

#### 2.4.1.2 Cálculo de las reacciones en la torre sometida a sismo

Mediante el programa SAP 2000, de acuerdo al tipo de suelo del sector el cual se encuentra entre (B y C), se selecciona el tipo C y la zona sísmica en donde se encuentra la cual es la zona 5. Por lo tanto utilizando una combinación de carga adecuada se determina las reacciones producidas en la base de la torre.

TORRE	TENSIÓN [T]	PUNTO A		PUNTO B		CIMENTACIÓN			MOMENTOS		
		Ry [T]	Rz [T]	Ry [T]	Rz [T]	Ry [T]	Rz [T]	Rx [T]	My [T.m]	Mz [T.m]	Mx [T.m]
1	11,5	1,38	8,096	1,49	8,02	-3,33	16,76	-2,01	-12,07	0,203	19,98
2	11,5	1,38	8,09	1,49	8,02	-3,33	16,76	-2,01	-12,07	0,203	19,98
3	11,5	-0,1	4,58	-0,015	4,55	0,14	9,77	-1,17	-7,03	0,241	0,84
4	11,5	-0,022	3,74	-0,106	3,72	-0,13	7,81	-0,94	-2,81	0,126	0,78

**Tabla 2.14** Resumen de cargas considerando sismo

Fuente: Propia.



### 2.4.1.3 Cálculo de las reacciones en la torre sometida a viento

Para proceder al análisis mediante carga de viento se determina los aspectos fundamentales que intervienen en el cálculo de dicha carga:

$$V_D = F_{TR} \cdot F_\alpha \cdot V_R$$

(Ec. 2.13)

Donde:

$V_D$ : Velocidad de diseño.

$F_{TR}$ : Factor correctivo que toma en cuenta las condiciones locales relativas a la topografía y a la rugosidad del terreno en los alrededores del sitio de desplante.

$F_\alpha$ : Factor que toma en cuenta la variación de la velocidad con la altura.

$V_R$ : Velocidad regional según la zona que le corresponde al sitio en donde se construirá la estructura.

Reemplazando los valores para una velocidad de 55 m/s (200 km/h),  $F_\alpha$  de 1.0 debido a que  $z \leq 10$  y  $F_{TR}$  igual a 1 debido a que se trata de un terreno tipo R1, se obtienen los siguientes resultados:

$$V_D = 55 \left[ \frac{m}{s} \right]$$

De donde procedemos a calcular la presión  $P_Z$  que ejerce el viento sobre la estructura:<sup>16</sup>

$$P_Z = 0.47 \times C_p \times V_D^2$$

(Ec. 2.14)

Donde

$P_Z$ : Presión de diseño (kg/m<sup>2</sup>)

---

<sup>16</sup> INIFED; "Normas técnicas complementarias para diseño por viento"; México; 2011.

$C_p$ : Coeficiente local de presión

Reemplazado los valores se obtiene:

$$P_z = 0.47(0.7)(55)^2$$

$$P_z = 1015.23 \text{ [kg/m}^2\text{]}$$

En base a esta carga se procede a introducir en el programa SAP 2000, dichas condiciones de carga y se analiza las reacciones obtenidas:

TORRE	TENSIÓN [T]	PUNTO A		PUNTO B		CIMENTACIÓN			MOMENTOS		
		Ry [T]	Rz [T]	Ry [T]	Rz [T]	Ry [T]	Rz [T]	Rx [T]	My [T.m]	Mz [T.m]	Mx [T.m]
1	11,5	1,38	8,096	1,49	8,02	-3,81	16,76	-2,09	-9,14	-0,202	22,86
2	11,5	1,38	8,09	1,49	8,02	-3,81	16,76	-2,09	-9,14	-0,202	22,86
3	11,5	-0,1	4,58	0,015	4,55	-0,139	9,88	-2,09	-9,14	-0,241	0,834
4	11,5	-0,022	3,74	0,106	3,72	-0,1	7,9	-1,04	-2,28	-0,126	0,3

**Tabla 2.15** Resumen de cargas considerando viento

**Fuente:** Propia.

En base a estos resultados se diseña las torres para la condición de mayor criticidad, que en este caso sería bajo la combinación de carga de sismo, sumada a la carga del contrapeso (carga viva y muerta) y la carga muerta de la estructura.

## 2.5 DISEÑO DE LAS TORRES DE SOPORTE

Como se conoce en el sistema teleférico se dispondrá de 5 torres sobre las cuales actuarán los efectos producidos por las cargas (peso del cable, personas, viento, sillas, sismo, trenes de poleas, carga muerta, etc.).

Con los resultados obtenidos del análisis de las estructuras de soporte se realiza el estudio de como estas fuerzas afectan el funcionamiento de la torre, para ello se estudiarán las siguientes fuerzas:

- Torsión: se analiza el esfuerzo cortante que se produce por la diferencia en los valores de las reacciones en el eje y, mismas que producen un momento torsor alrededor del eje z.
- Flexo-compresión: la acción combinada de una carga a compresión y un momento flector aumenta la deflexión transversal.

## **2.6 SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS.**

En el diseño es importante determinar parámetros que permiten seleccionar la solución más adecuada, para el análisis de la mejor alternativa de cada elemento del sistema se utiliza el método ordinal corregido de criterios ponderados.

Para la evaluación de las alternativas se consideran los siguientes criterios de valoración:

- Costo.- Este criterio es importante considerando que la relación coste/beneficio debe ser aceptable al momento de seleccionar una alternativa.
- Facilidad de construcción.- Es de gran importancia al momento de considerar los aspectos constructivos del elemento.
- Peso.- Es importante para disminuir la carga por peso sobre la estructura de soporte.
- Estética.- Constituye un criterio importante puesto que el sistema teleférico es parte de un atractivo turístico.
- Movilidad.- Esta relacionado con la facilidad de transporte de la rueda como un conjunto.
- Confiabilidad.- El funcionamiento de la rueda constituye una parte importante en el desempeño del sistema.
- Montaje.- Se relaciona con la facilidad que presta el elemento en el montaje para la puesta en marcha del sistema.

Durante el desarrollo del presente proyecto se determina la evaluación del peso específico para los elementos diseñados. Siguiendo el procedimiento mostrado a continuación:

### 2.6.1 SELECCIÓN DEL TIPO DE TORRE.

En base al método de evaluación de soluciones se selecciona el tipo de torre que brinda mejores prestaciones al momento de implementarse en el proyecto.

Criterio	Costo	FDC	Peso	Estética	Movilidad	Montaje	$\Sigma+1$	Pond.
Costo		1	0.5	1	0.5	0.5	4.5	0.21
FDC	0		1	1	0.5	0.5	4	0.19
Peso	0.5	0		1	0.5	0.5	3.5	0.17
Estética	0	0	0		0	0	1	0.05
Movilidad	0.5	0.5	0.5	1		0.5	4	0.19
Montaje	0.5	0.5	0.5	1	0.5		4	0.19
						<b>Suma</b>	<b>21</b>	<b>1.00</b>

Tabla 2.16 Evaluación del peso específico de cada criterio

Fuente: Propia

FDC: Facilidad de Construcción

Se selecciona entre dos alternativas, una torre con estructura tubular y una estructura en celosía las cuales se muestran a continuación:

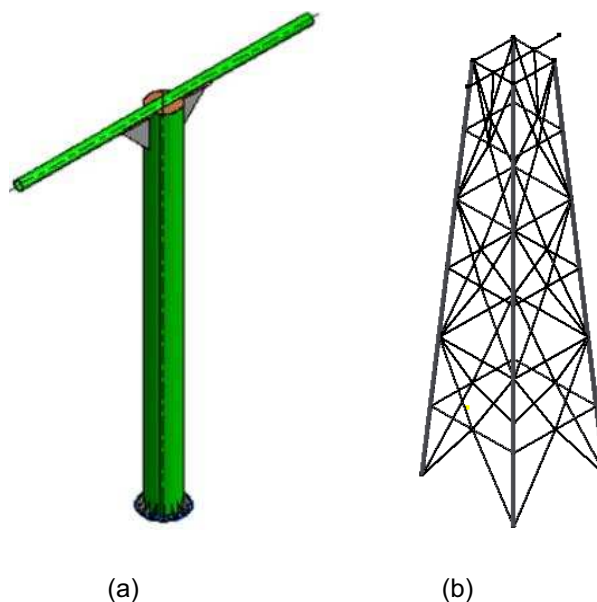


Figura 2.17 Alternativas (a) Estructura tubular y (b) Estructura en celosía

Fuente: Propia

Evaluando los pesos específicos de los criterios de selección se tiene:

Costo	Torre en Celosía	Torre Tubular	$\Sigma+1$	Ponderación
Torre en Celosía		0	1	0,33
Torre Tubular	1		2	0,67
		<b>Suma</b>	<b>3</b>	<b>1,00</b>

Tabla 2.17 Evaluación del peso específico del criterio costo.

FDC	Torre en Celosía	Torre Tubular	$\Sigma+1$	Ponderación
Torre en Celosía		0	1	0,33
Torre Tubular	1		2	0,67
		<b>Suma</b>	<b>3</b>	<b>1,00</b>

Tabla 2.18 Evaluación del peso específico del criterio facilidad de construcción.

Movilidad	Torre en Celosía	Torre Tubular	$\Sigma+1$	Ponderación
Torre en Celosía		1	2	0,67
Torre Tubular	0		1	0,33
		<b>Suma</b>	<b>3</b>	<b>1,00</b>

Tabla 2.19 Evaluación del peso específico del criterio movilidad

Facilidad de montaje	Torre en Celosía	Torre Tubular	$\Sigma+1$	Ponderación
Torre en Celosía		0	1	0,33
Torre Tubular	1		2	0,67
		<b>Suma</b>	<b>3</b>	<b>1,00</b>

Tabla 2.20 Evaluación del peso específico del criterio montaje

Peso	Torre en Celosía	Torre Tubular	$\Sigma+1$	Ponderación
Torre en Celosía		0,5	1,5	0,50
Torre Tubular	0,5		1,5	0,50
		<b>Suma</b>	<b>3</b>	<b>1,00</b>

Tabla 2.21 Evaluación del peso específico del criterio peso

Estética	Torre en Celosía	Torre Tubular	$\Sigma+1$	Ponderación
Torre en Celosía		0	1	0,33
Torre Tubular	1		2	0,67
		<b>Suma</b>	<b>3</b>	<b>1,00</b>

Tabla 2.22 Evaluación del peso específico del criterio estética

Considerando los valores obtenidos de la evaluación de peso específico para cada criterio se muestra la siguiente tabla de conclusiones:

Conclusión	Costo	Facilidad de construcción	Movilidad	Montaje	Peso	Estética	$\Sigma$	Prioridad
Torre en Celosía	0,07	0,06	0,13	0,06	0,08	0,02	0,42	2
Torre Tubular	0,14	0,13	0,06	0,13	0,08	0,03	0,58	1

Tabla 2.23 Tabla de Conclusiones

Fuente: Propia

Del análisis se puede apreciar que la alternativa correspondiente a la torre tubular cumple en mayor porcentaje los criterios de valoración.

### 2.6.2 EFECTOS POR TORSIÓN

Usando la fórmula para obtener el esfuerzo por torsión mediante el criterio de los esfuerzos admisibles:

$$\tau = \frac{T \cdot r}{J}$$

(Ec. 2.15)

Donde

$\tau$ : Esfuerzo de corte por torsión.

$r$ : Brazo de momento torsor.

$J$ : Momento polar de inercia.

$D_{ext}$ : Diámetro exterior de la sección transversal.

$D_{int}$ : Diámetro interior de la sección transversal.

Reemplazando los valores correspondientes en la ecuación 2.15 se tiene:

$$\tau = 0,392 [MPa]$$

Aplicando el criterio de seguridad estructural para corte:

$$I_v = \frac{f_v}{F_v}$$

(Ec. 2.16)

Donde:

$f_v$ : Esfuerzo real por corte, [MPa]

$F_v$ : Esfuerzo admisible a corte (Acero estructural A-588 corresponde a 207 MPa)

$I_v$ : Índice de trabajo a torsión

Entonces para verificar la seguridad:

$$I_v \leq 1$$

Para el análisis realizado se tiene:

$$I_v = \frac{0,392 \text{ MPa}}{207 \text{ MPa}} = 0,00189$$

El valor que se obtiene se encuentra muy por debajo del límite permitido, la estructura no tendrá ningún tipo de falla debido a torsión, sus efectos serán insignificantes.

A continuación se muestra la tabla de valores correspondientes a cada una de las torres:

TORRE	SECCIÓN	D <sub>ext</sub> [m]	D <sub>int</sub> [m]	L [m]	T [kg.m]	J [m <sup>4</sup> ]	r [m]	τ [MPa]	Fv [MPa]	f <sub>v</sub>
1	32 PULG.	0,82	0,808	6	247,5	2,54E-03	0,41	0,392	207	0,00189
2	32 PULG.	0,82	0,808	6	247,5	2,54E-03	0,41	0,392	207	0,00189
3	20 PULG.	0,508	0,496	6	191,25	5,96E-04	0,254	0,799	207	0,00386
4	12 PULG.	0,3238	0,3032	3	189	2,50E-04	0,1619	1,202	144	0,00835

**Tabla 2.24** Factor de seguridad para efecto torsor.

**Fuente:** Propia.

### 2.6.3 DISEÑO POR FLEXO-COMPRESIÓN.

En base al AISC para el diseño de columnas sujetas a esfuerzos por carga axial y de flexión se debe cumplir de forma simultánea las siguientes ecuaciones de interacción para garantizar la seguridad estructural del elemento.

$$\frac{f_a}{F_a} + \frac{C_{mx}f_{bx}}{\left(1 - \frac{f_a}{F'_{ex}}\right)F_{bx}} + \frac{C_{my}f_{by}}{\left(1 - \frac{f_a}{F'_{ey}}\right)F_{by}} \leq 1.0$$

(Ec. 2.17)

$$\frac{f_a}{0.6F_y} + \frac{f_{bx}}{F_{bx}} + \frac{f_{by}}{F_{by}} \leq 1.0$$

(Ec. 2.18)

Cuando  $f_a/F_b \leq 0.15$  el diseño se limita al cumplimiento de:

$$\frac{f_a}{F_a} + \frac{f_{bx}}{F_{bx}} + \frac{f_{by}}{F_{by}} \leq 1.0$$

(Ec. 2.19)

$$F'_e = \frac{12\pi^2 E}{23(KL_b/r_b)^2}$$

(Ec. 2.20)

Donde:

$F_a$ : Esfuerzo admisible a carga axial, [ksi]

$F_b$ : Esfuerzo admisible a cargas de flexión. [ksi]

$F'_e$ : Esfuerzo de Euler dividido para un factor de seguridad. [ksi]

$L_b$ : Longitud del elemento sin arriostrar en el plano de flexión. [in]

$r_b$ : Radio de giro. [in]

$K$ : Factor efectivo de longitud en el plano de flexión.

$f_a$ : Esfuerzo real por carga axial, [ksi]



$f_b$ : Esfuerzo real por cargas de flexión. [ksi]

$C_m$ : Coeficiente de reducción.

### 2.6.3.1 Esfuerzos permisibles.

En una sección sometida a cargas axiales de compresión, cuando la relación  $(KL/r)$  es menor que  $C_c$  se tiene:

$$F_a = \frac{\left[1 - \frac{(KL/r)^2}{2C_c^2}\right] F_y}{\frac{5}{3} + \frac{3(KL/r)}{8C_c} - \frac{(KL/r)^3}{8C_c^3}}$$

(Ec. 2.21)

Cuando la relación  $(KL/r)$  es mayor que  $C_c$  se tiene:

$$F_a = \frac{12\pi^2 E}{23(KL/r)^2}$$

(Ec. 2.22)

En el anexo 6 se muestran los valores de esfuerzos permisibles para miembros principales y secundarios en compresión para un acero de acero A-588, usado en el diseño de la torre. El esfuerzo permisible presente en un miembro a flexión se puede determinar con mayor precisión mediante las siguientes expresiones:

$$\sqrt{\frac{102 \times 10^3 C_b}{S_y}} \leq \frac{l}{r_T} \leq \sqrt{\frac{510 \times 10^3 C_b}{S_y}}$$

$$F_b = \left[ \frac{2}{3} - \frac{S_y (l/r_T)^2}{1530 \times 10^3 C_b} \right] \times S_y$$

(Ec. 2.23)

Cuando:

$$\frac{l}{r_T} \geq \sqrt{\frac{510 \times 10^3 C_b}{S_y}}$$

$$F_b = \frac{170 \times 10^3 C_b}{(l/r_T)^2}$$

(Ec. 2.24)

Donde:

$l$ : Distancia entre las secciones transversales con apoyos contra el giro o el desplazamiento lateral del ala comprimida. Para vigas en voladizos con apoyos en contra al giro la distancia puede ser considerada la longitud real del elemento. [in]

$r_T$ : Radio de giro de la sección de compresión que comprende el patín de compresión más 1/3 del área del alma de compresión. [in]

$A_f$ : Área del patín en compresión. [in<sup>2</sup>]

$C_b$ : Es la relación entre el menor y mayor momento de flexión en los extremos del elemento sin soporte lateral. Esta relación es positiva cuando los momentos en los extremos tienen el mismo signo (curvatura inversa de flexión) y negativo cuando son de signos opuestos (curvatura simple de flexión).

$$C_b = 175 + 1.05 \left( \frac{M_1}{M_2} \right) + 0.3 \left( \frac{M_1}{M_2} \right)^2 \leq 2.3$$

(Ec. 2.25)

### 2.6.3.2 Longitud efectiva de los miembros en compresión.

Definiendo la longitud efectiva de una columna en términos de su longitud total sin soporte y del coeficiente de fijación  $C$  de sus extremos, la carga crítica de Euler para un miembro con restricciones en sus extremos está dada por:

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 EI}{(KL)^2}$$

(Ec. 2.26)

Donde:

$E$ : Módulo de elasticidad

$I$ : Inercia de la sección transversal

$K$ : Factor de longitud efectiva

L: Longitud de la columna

$P_{cr}$ : Carga crítica de Euler

La Figura 2.18 muestra estos tipos comunes de condiciones de extremo con el valor teórico de K para cada caso y también el valor de K recomendado para diseño, el cual toma en cuenta las diferencias existentes en las estructuras reales respecto a las ideales.








































































La geometría de la columna deformada por pandeo se indica en línea de puntos	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)
Valor teórico de K	0,5	0,7	1,0	1,0	2,0	2,0
Valor de K de diseño cuando la estructura se aproxima a las condiciones ideales	0,65	0,80	1,2	1,0	2,10	2,0
Referencia de las condiciones de vínculo de los extremos						
						
						
						
						
						
						
						
						
						
						
						
						
						

Figura 2.18 Factores de longitud efectiva para columnas.

Fuente: <http://es.scribd.com/doc/66735501/42/Factor-de-Longitud-Efectiva-K>

### 2.6.3.3 Análisis a compresión

El pandeo puede ocurrir cuando la carga excede la carga crítica ya sea en el rango elástico o inelástico, es así que se tiene el esfuerzo promedio, para ello se selecciona una tubería de 32 pulgadas de diámetro espesor 6 mm:

$$F_{cr} = \frac{\pi^2 E_e}{(KL/r)^2}$$

(Ec. 2.27)

Donde:

$E_e$ : Módulo efectivo de elasticidad.

$r_{\min.}$ : Radio mínimo de giro de la sección transversal.

$KL/r$ : Relación de esbeltez.

El valor más bajo de la relación de esbeltez para el que puede presentarse el pandeo elástico es:

$$C_c = \sqrt{\frac{2\pi^2 E}{S_y}}$$

(Ec. 2.28)

Para el análisis se selecciona un perfil de treinta y dos pulgadas de diámetro y se calcula los valores necesarios.

$$r = \sqrt{\frac{I}{A}}$$

(Ec. 2.29)

$$r = \sqrt{\frac{1,27e^{-3} m^4}{1,53e^{-2} m^2}}$$

$$r = 0,288 [m]$$

$$\lambda = \frac{2(6 m)}{(0,288 m)} = 41,6$$

Se determina  $C_c$  para lo cual se utiliza la ecuación 2.29.

$$C_c = \left[ \frac{2\pi^2 (29000 \text{ ksi})}{50 \text{ ksi}} \right]^{1/2}$$

$$C_c = 107$$

$$\frac{KL}{r} < C_c$$

Por lo tanto se trabaja en la zona elástica y se calcula los esfuerzos utilizando las ecuaciones según la AISC.

$$F_a = \frac{F_y}{F_s} \left[ 1,0 - \frac{0,5 \left( \frac{KL}{r} \right)^2}{C_c^2} \right]$$

(Ec. 2.30)

Donde

$F_a$ : Esfuerzo permisible de compresión axial

$E$ : Módulo de rigidez de material

$L_e$ : Longitud efectiva de la columna.

$L$ : Longitud de la columna.

$K$ : Factor de apoyo.

$r$ : Radio de giro mínimo.

$F_y$ : Esfuerzo de fluencia del acero A 588.

$C_c$ : Relación de esbeltez de la columna en el límite entre el pandeo inelástico y elástico.

$F_s$ : Factor de seguridad.

Siendo:

$$F_s = \frac{5}{3} + \frac{3 KL/r}{8 C_c} - \frac{1 (KL/r)^3}{8 C_c^3}$$

(Ec. 2.31)

$$F_s = \frac{5}{3} + \frac{3 (41,6)}{8 (107)} - \frac{1 (41,6)^3}{8 (107)^3}$$

$$F_s = 1,805$$

$$F_a = \frac{345 \text{ MPa}}{1,805} \left[ 1,0 - \frac{0,5(41,6)^2}{(107)^2} \right]$$

$$F_a = 176,88 \text{ [MPa]}$$

Teniendo el esfuerzo permisible de compresión axial se calcula el esfuerzo de compresión:

$$f_a = \frac{P}{A}$$

(Ec. 2.32)

$$f_a = \frac{16760 \text{ [kg]}}{1,53e^{-2} \text{ [m}^2\text{]}}$$

$$f_a = 10,72 \text{ [MPa]}$$

Se calcula la siguiente relación y se verifica los requerimientos de la AISC:

$$\frac{f_a}{F_a} = \frac{10,72 \text{ MPa}}{176,88 \text{ MPa}} = 0,0606 \leq 0,15$$

#### 2.6.3.4 Flexión en el plano YZ.

Se determina la relación de esbeltez para las condiciones de carga actuantes en la estructura.

$$\gamma_F = \frac{L}{r_T}$$

(Ec. 2.33)

Donde

$\gamma_F$ : Esbeltez a Flexión

$L$ : Longitud de la Columna

$r_T$ : Radio de Giro del Patín

Aplicando las fórmulas que establece el AISC se determina el radio de giro del patín.

Utilizando el programa Autocad se tiene el área del patín de compresión para la sección de análisis:

$$A_T = 6,06e^{-3} [m^2]$$

$$I_T = 3,77e^{-4} [m^4]$$

$$r_T = \sqrt{\frac{3,77e^{-4}}{6,06e^{-3}}} = 0,249 [m]$$

Reemplazando en la ecuación 2.35 se obtiene la esbeltez de la sección:

$$\gamma_F = \frac{L}{r_T} = \frac{6 m}{0,249m} = 24,09$$

Para el material ASTM A588 se tiene las siguientes constantes, reemplazando en la ecuación 2.24.

$$45\sqrt{C_b} \leq \frac{L}{r_T} \leq 101\sqrt{C_b}$$

Para este caso  $M_1$  toma un valor de 0, y se reemplaza en la ecuación 2.26.

$$C_b = 1,75 + 1,05(0) + 0,3(0)^2 = 1,75$$

Reemplazando los valores en la ecuación 2.25 se tiene los siguientes resultados:

$$59,5 \leq \frac{L}{r_T} \leq 133,6$$

$$\frac{L}{r_T} = 10,76$$

Como se tiene un elemento no esbelto se tiene:

$$F_b = 0,6 S_y$$

(Ec. 2.34)

$$F_b = 0,6 \times 345 = 207 MPa$$

En este plano se tiene una columna con el estado de carga que se muestra a continuación:

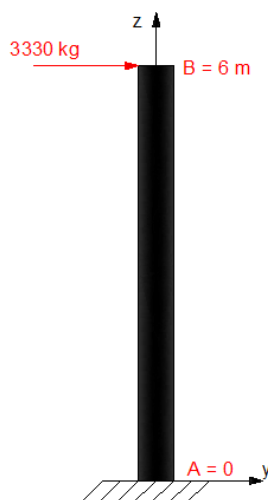


Figura 2.19 Esquema de fuerzas actuantes en la torre.

Fuente: Propia

Utilizando el programa SAP 2000 mediante combinaciones de carga se obtiene los siguientes diagramas de esfuerzos para la torre:

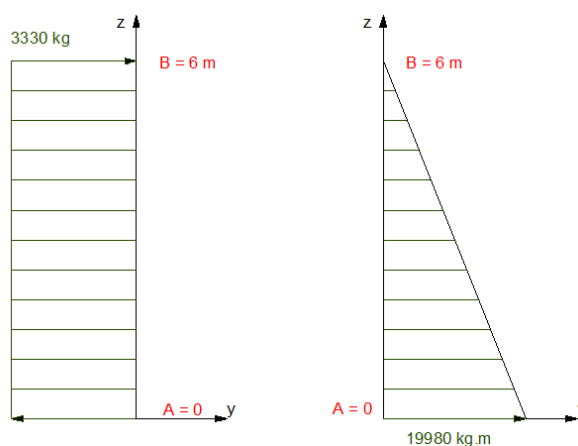


Figura 2.20 Diagrama de esfuerzo cortante y momento flector plano yz

Fuente: Propia

Como la sección crítica se ubica en la base de la columna se procede al análisis de la misma, utilizando la siguiente ecuación:

$$f_b = \frac{M \cdot c}{I}$$

(Ec. 2.35)



Donde

$f_b$ : Esfuerzos real por Flexión

$M$ : Momento Máximo de Flexión

$c$ : radio de giro

$I$ : Momento de inercia

$$I = \frac{\pi}{64} (d_{ext}^4 - d_{int}^4)$$

(Ec. 2.36)

$$I = \frac{\pi}{64} (0,820^4 - 0,808^4)$$

$$I = 1,27e^{-3} [m^4]$$

Reemplazando en la ecuación 2.38 se tiene

$$f_b = \frac{19980 [kg.m] \times 0,410 [m]}{1,27e^{-3} [m^4]} = 38,16 [MPa]$$

### 2.6.3.5 Flexión en el plano XZ.

Se determina las condiciones de trabajo para la torre, reemplazando en la ecuación 2.26 utilizada con anterioridad, para este caso  $M_1$  toma un valor de 171 kg.m:

$$C_b = 1,75 + 1,05 \left( \frac{171 \text{ kg.m}}{12070 \text{ kg.m}} \right) + 0,3 \left( \frac{171 \text{ kg.m}}{12070 \text{ kg.m}} \right)^2 = 1,765$$

$$60 \leq \frac{L}{r_T} \leq 134$$

$$\frac{L}{r_T} = 10,76$$

Por lo tanto se utiliza las mismas expresiones detalladas en el apartado anterior.

Se tiene una columna con el siguiente estado de carga:

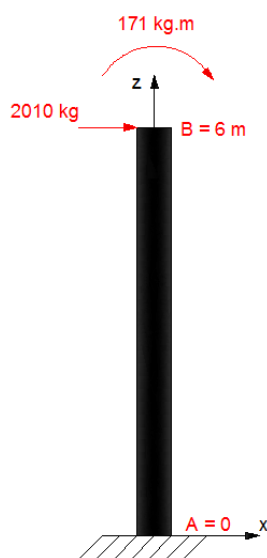


Figura 2.21 Esquema de fuerzas actuantes en la torre.

Fuente: Propia

Utilizando el programa SAP 2000 se obtiene los siguientes diagramas:

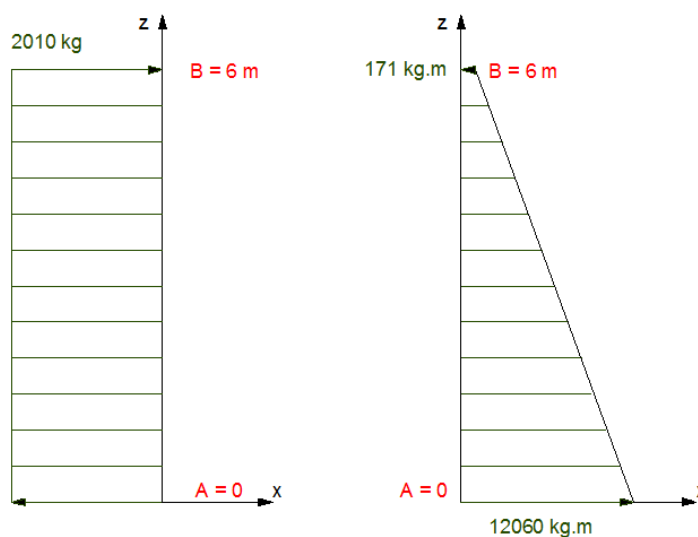


Figura 2.22 Diagrama de esfuerzo cortante y momento flector plano xz

Fuente: Propia.

Para la sección crítica se tiene:

$$f_b = \frac{12060[\text{kg.m}] \times 0,41[\text{m}]}{1,27 \times 10^{-3} [\text{m}^4]} = 24,75 [\text{MPa}]$$

Se calcula el momento máximo que puede soportar la sección seleccionada, basado en ese criterio se realiza una hipótesis de diseño que cumpla con un factor de seguridad de 3, en donde se deduce la siguiente ecuación:

$$\frac{f_a}{F_a} + \frac{f_{by}}{F_{by}} + \frac{f_{bz}}{F_{bz}} \leq 1.0$$

Si se quiere un factor de seguridad de 4 se conoce que:

$$\frac{f_a}{F_a} + \frac{f_{by}}{F_{by}} + \frac{f_{bz}}{F_{bz}} \leq 0,33$$

Se sabe que existe un factor de seguridad dado en los parámetros usados para calcular los esfuerzos y diversas constantes que intervienen en el cálculo, con ello se deducen la fórmula que se debe aplicar:

$$\frac{f_a}{0,534 \cdot F_y} + \frac{f_{by}}{0,6 \cdot F_y} + \frac{f_{bz}}{0,6 \cdot F_y} \leq 0,25$$

De donde se procede a reemplazar en la formula y se obtiene el siguiente resultado:

$$\frac{f_a}{F_a} + \frac{f_{by}}{F_{by}} + \frac{f_{bz}}{F_{bz}} \leq 0,566$$

Reemplazando los valores obtenidos en la fórmula para comprobar los requerimientos de la AISC y de construcción de teleféricos:

$$\frac{8,64 \text{ MPa}}{184,51 \text{ MPa}} + \frac{40,97 \text{ MPa}}{207 \text{ MPa}} + \frac{23,11 \text{ MPa}}{207 \text{ MPa}} \leq 0,416$$

$$0,364 \leq 0,416$$

Se selecciona la sección que brinda las mejores condiciones de trabajo.

TUBERÍA CIRC.	L [m]	Peso [kg/m]	D <sub>ext</sub> [m]	D <sub>int</sub> [m]	t [m]	A [m <sup>2</sup> ]	I <sub>y</sub> [m <sup>4</sup> ]	r <sub>y-y</sub> [m]	λ
20 PULG.	6	74	0,508	0,496	0,006	9,46E-03	2,98E-04	0,177	67,61
30 PULG.	6	112	0,762	0,75	0,006	1,43E-02	1,02E-03	0,267	44,89
32 PULG.	6	120	0,82	0,808	0,006	1,53E-02	1,27E-03	0,288	41,70
40 PULG.	6	149	1,016	1,004	0,006	1,90E-02	2,43E-03	0,357	33,60

**Tabla 2.25** Resumen de propiedades de la sección.

En base a estas propiedades se procede a realizar el análisis a compresión para determinar las condiciones de trabajo:

SECCIÓN	Cc	P [kg]	FS	Fa [MPa]	fa [MPa]	fa/Fa
<b>TUBERÍA CIRCULAR</b>						
20 PULG.	107	16760	1,872	147,75	17,38	0,1176
30 PULG.	107	16760	1,815	173,66	11,54	0,0664
32 PULG.	107	16760	1,805	176,88	10,72	0,0606
40 PULG.	107	16760	1,781	184,51	8,64	0,0468

**Tabla 2.26** Análisis a compresión de las secciones

Posteriormente se realiza un análisis para flexión como se describe a continuación:

SECCIÓN	M [kg.m]	Cb	Fb [MPa]	fb [MPa]	fb/Fb
<b>TUBERÍA CIRCULAR</b>					
20 PULG.	12070	1,75	207,35	100,78	0,4861
30 PULG.	12070	1,75	207,35	44,26	0,2135
32 PULG.	12070	1,75	207,35	38,16	0,1840
40 PULG.	12070	1,75	207,35	24,75	0,1194

**Tabla 2.27** Análisis a flexión plano XZ.

SECCIÓN	M [kg.m]	Cb	Fb [MPa]	fb [MPa]	fb/Fb
<b>TUBERÍA CIRCULAR</b>					
20 PULG.	19980	1,75	207,35	166,83	0,8046
30 PULG.	19980	1,75	207,35	73,27	0,3534
32 PULG.	19980	1,75	207,35	63,17	0,3046
40 PULG.	19980	1,75	207,35	40,97	0,1976

**Tabla 2.28** Análisis a flexión plano YZ.

Con los resultados obtenidos se realiza el resumen del análisis a flexo-compresión de la sección:

SECCIÓN	$\frac{f_a}{F_a} + \frac{f_{by}}{F_{by}} + \frac{f_{bz}}{F_{bz}} \leq 0,566$
<b>TUBERÍA CIRCULAR</b>	
20 PULG.	1,40824
30 PULG.	0,63330
32 PULG.	0,54927
40 PULG.	0,36378

**Tabla 2.29** Resumen de diseño a flexo-compresión

**Fuente:** Propia.

Se analiza de manera similar a la primera torre, seleccionándose la sección de acuerdo a las condiciones de trabajo, el costo de la misma, facilidad de construcción y estética.

TORRE	LONGITUD [m]	SECCIÓN	PESO [kg/m]	D <sub>ext</sub> [m]	D <sub>int</sub> [m]	t [m]	A [m <sup>2</sup> ]	I [m <sup>4</sup> ]	r [m]	$\lambda$
1	6	32 PULG.	120	0,82	0,808	0,006	1,53E-02	1,27E-03	0,288	41,70
2	6	32 PULG.	120	0,82	0,808	0,006	1,53E-02	1,27E-03	0,288	41,70
3	6	20 PULG.	74	0,508	0,496	0,006	9,46E-03	2,98E-04	0,177	67,61
4	3	12 PULG.	80	0,3238	0,30318	0,01031	1,02E-02	1,25E-04	0,111	54,11

**Tabla 2.30** Propiedades principales de las torres

Con ello se resume el análisis a flexo-compresión verificándose que se cumpla con los requisitos de la norma.

TORRE	SECCIÓN	$\frac{f_a}{F_a} + \frac{f_{by}}{F_{by}} + \frac{f_{bz}}{F_{bz}} \leq 0,566$
1	32 PULG.	0,55
2	32 PULG.	0,55
3	20 PULG.	0,385
4	12 PULG.	0,38

**Tabla 2.31** Resumen de Criterio ASD

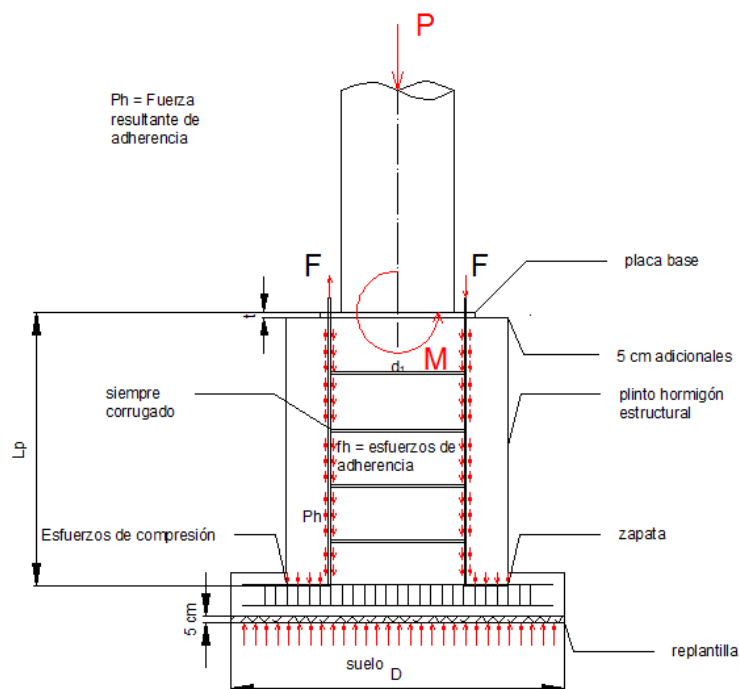
**Fuente:** Propia

Por lo tanto el factor de seguridad se considera adecuado ya que se encuentran en el intervalo admisible de diseño, si bien la torre tres y la torre cuatro tienen factores de diseño elevados se consideran satisfactorios debido a la facilidad de construcción y estética que representan, además que se contemplan posibles cargas imprevistas al momento de realizar el montaje del teleférico.

#### 2.6.4 DISEÑO DE LA CIMENTACIÓN

Una vez realizado el levantamiento topográfico y definido el área de afectación del proyecto, se realizó un estudio de suelos mediante el cual se determinó las condiciones generales del terreno, definiendo así las dimensiones necesarias para la cimentación de la torre.

Para el cálculo de la profundidad y las diversas dimensiones necesarias en la construcción de la cimentación de la torre se llevó a cabo el siguiente procedimiento de cálculo que se basa en este esquema:



**Figura 2.23** Medidas principales para la cimentación

Fuente: Propia

### 2.6.4.1 Diseño de la placa base

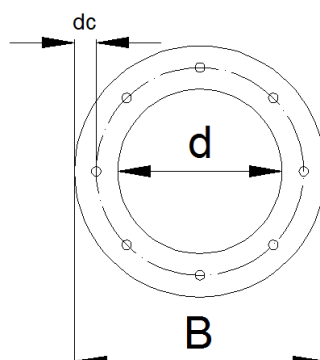


Figura 2.24 Medidas principales de la placa

Fuente: Propia

$$\rho = \frac{P}{A} \leq F'_c$$

$F'_c$ : Esfuerzo admisible del hormigón.

$f'_c$ : Resistencia última del hormigón.

$$F'_c = \frac{f'_c}{F.S.} = \frac{240}{5} = 48 \left[ \frac{kg}{cm^2} \right]$$

$$A_p \geq \frac{P}{F'_c} = \frac{17000}{48} [cm^2]$$

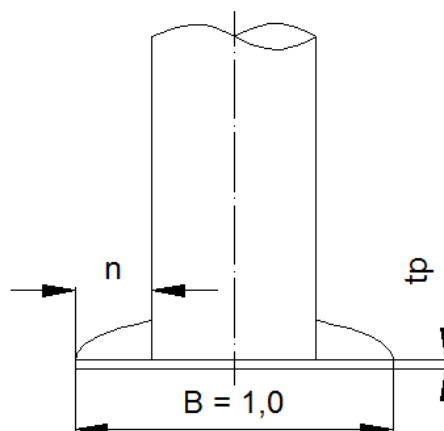
$$A_p \geq 354,17 [cm^2]$$

$$B_{min} = \sqrt{\frac{354,17 [cm^2]}{\pi}}$$

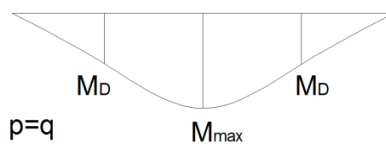
$$B_{min} = 21,23 [cm]$$

Los lados de la placa son mayores a esta medida, debido a que  $d$  es igual 0,82 metros siendo el diámetro exterior del tubo soporte de la torre, por lo cual cumple con los requerimientos necesarios de diseño.

Para el diseño de la placa se realiza una analogía con una viga de ancho unitario:



**Figura 2.25** Viga de ancho unitario



**Figura 2.26** Esquema de momento máximo en la placa

Fuente: Propia

$$M_D = \frac{qn^2}{2}$$

(Ec. 2.37)

$$f_{bp} = \frac{Mc}{I} = \frac{qn^2 \left(\frac{t_p}{2}\right)}{\frac{1t_p^3}{12}} \leq F_b$$

$$q = \frac{P}{BB} = \frac{P}{B}$$

$$\frac{3PBn^2}{B^2t_p^2} \leq 0,6S_y$$

$$\frac{3F'_c n^2}{t_p^2} \leq 0,6S_y$$

$$t_p = \sqrt{\frac{3F'_c n^2}{0,6S_y}}$$



$$t_p = \sqrt{\frac{3(48)(5)^2}{0,6(3500)}}$$

$$t_p = 1,3 \text{ [cm]}$$

Por lo tanto se selecciona un espesor de 1,5 cm (5/8"), con un diámetro B = 120 cm, que satisface con los condiciones de diseño.

#### 2.6.4.2 Diseño de los pernos de anclaje

Para los pernos de anclaje se realiza el siguiente análisis:

$$M = Fd_1$$

Suponemos pernos de  $\varnothing = 1"$

$$\varnothing_{aguj} = \varnothing_p + \frac{1}{8}"$$

$$\varnothing_{aguj} = 1 \frac{1}{8}" = 2,86 \text{ cm}$$

$$d_c \geq 1,5\varnothing_{aguj}$$

$$d_c \geq 1,5(2,86 \text{ cm})$$

$$d_c \geq 3,81 \text{ cm}$$

Se sabe que el diámetro d es 0,82 metros, por lo que se supone un diámetro de la placa de 1,0 metros.

$$d_1 \geq 90 \text{ cm} = 35,4"$$

$$F = \frac{M}{d_1} = \frac{28(86,6)}{35,4} = 68,5 \text{ klb}$$

Como se quiere utilizar ocho pernos de anclaje tenemos lo siguiente:

$$4F = \frac{M}{d_1} = \frac{28(86,6)}{35,4} = 68,5 \text{ klb}$$

$$F = 17,12 \text{ klb}$$

$$\sum F_1 = 0$$

Análisis 1:

$$F = Pn = f_h \pi d_p L_p$$

(Ec. 2.38)

$$f_h \leq F_h = f(f'_c)$$

$$f_h = 0,1(f'_c)$$

(Ec. 2.39)

$$f_h = 0,1(48 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2})$$

$$f_h = 4,8 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

Análisis 2:

$$f_t = \frac{F}{\frac{\pi d^2}{4}} \leq F_t$$

$$d = \sqrt{\frac{4F}{\pi f_t}} \leq F_t$$

(Ec. 2.40)

$$d = \sqrt{\frac{4(17,12)}{\pi(60)}}$$

$$d = 1,07 \text{ plg}$$

Se utiliza pernos de 1 1/8 pulgada,

$$L_p = \frac{Pn}{f_h \pi d_p}$$

(Ec. 2.41)

$$L_p = \frac{(7700)}{(4,8)\pi(2,86)} [cm]$$

$$L_p = 179 [cm] = 1,79 [m]$$

### 2.6.4.3 Diseño de la zapata de cimentación

De acuerdo a la capacidad soportante del suelo de  $10T/m^2$  se calcula las dimensiones de la zapata:

$$[Q_u] = \text{capacidad admisible} = \frac{Q_u}{F.S.} = \frac{Q_u}{4}$$

$$[Q_u] = 0,25 \frac{kg}{cm^2}$$

Se tiene que el área de la zapata es:

$$P_z = \frac{P}{A_z} \leq [Q_u]$$

(Ec. 2.42)

$$A_z \geq \frac{P}{[Q_u]}$$

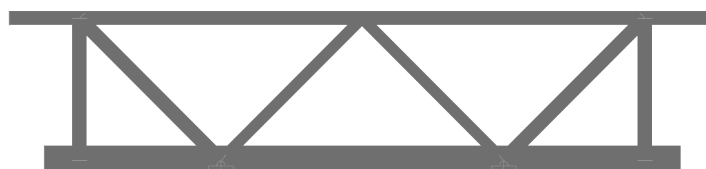
$$A_z \geq \frac{7700}{0,25} = \frac{\pi D^2}{4}$$

$$D = 198,02 [cm]$$

Se dimensiona las medidas de plinto de cimentación. El procedimiento es similar para el diseño de la cimentación de las torres restantes.

## 2.6.5 DISEÑO DEL TUBO SOPORTE DE LA TORRE

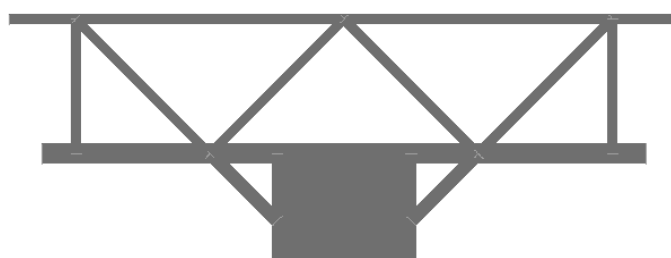
Debido a la importancia del brazo soporte del tren de poleas es necesario realizar un análisis del mismo comprobando que la forma y sección son los adecuados para el carga que tiene que soportar.



**Figura 2.27** Esquema general del brazo soporte del tren de poleas

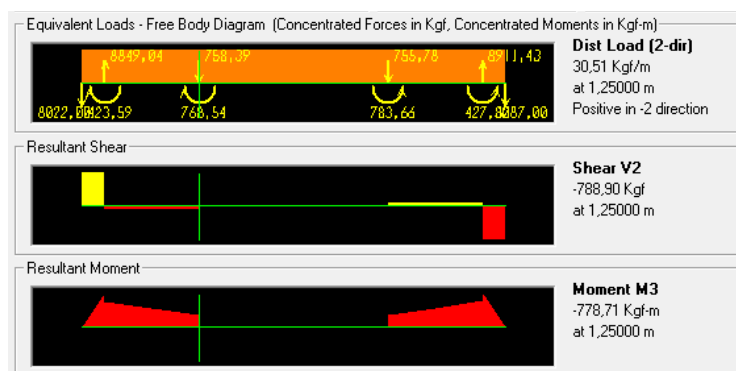
**Fuente:** Propia

El brazo estará apoyado sobre la torre, de acuerdo a la forma se realiza el análisis de las fuerzas y momentos.

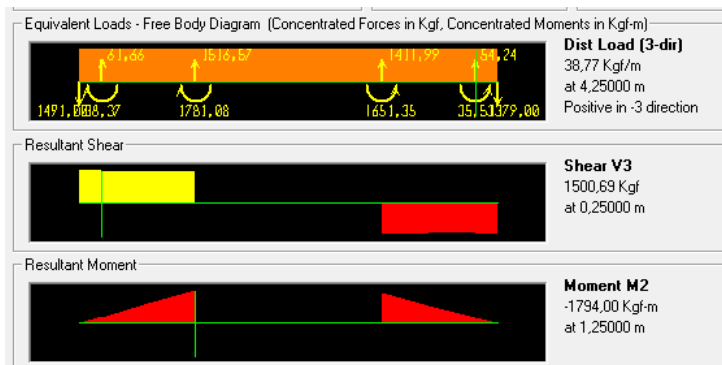


**Figura 2.28** Forma que de apoyo del brazo soporte

De donde se obtiene los siguientes resultados para el tubo crítico que permite verificar si la sección es la adecuada.



**Figura 2.29** Diagrama de fuerza cortante y momento flector plano XZ.



**Figura 2.30** Diagrama de fuerza cortante y momento flector plano x-y

Del programa SAP 2000 podemos obtener los esfuerzos y momentos máximos los cuales son:

$$M_y = 1794 \text{ [kg.m]}$$

$$M_z = 788,9 \text{ [kg.m]}$$

$$V_y = 1695,42 \text{ [kg]}$$

Para el perfil seleccionado se considera un esfuerzo admisible de:

$$F_b = 0.6 \times F_y = 0.6 \times 345 \text{ [MPa]} = 207 \text{ [MPa]}$$

$$S_{y \text{ perm}} = \frac{M_y}{F_b}$$

$$S_{y \text{ perm}} = \frac{17599,14 \text{ [N.m]}}{207 \text{ [Mpa]}}$$

$$S_{y \text{ perm}} = 8,5e^{-5} \text{ [m}^3\text{]}$$

$$S_{z \text{ perm}} = \frac{M_z}{F_b}$$

$$S_{z \text{ perm}} = 3,74e^{-5} \text{ [m}^3\text{]}$$

Para tubería de 6 pulgadas cédula 40 se comprueba que cumple con las características deseadas.

$$I = \frac{\pi}{64} (d_{Ext}^4 - d_{Int}^4)$$

$$I = \frac{\pi}{64} (0,1683^4 - 0,1483^4) [m^4]$$

$$I = 1,56e^{-5} [m^4]$$

$$S_y = \frac{1,56e^{-5} [m^4]}{\frac{0,1683}{2} [m]}$$

$$S_y = 1,85e^{-4} [m^4]$$

$$S_y = 1,85e^{-4} [m^3] > S_{yperm} = 8,5e^{-5} [m^3]$$

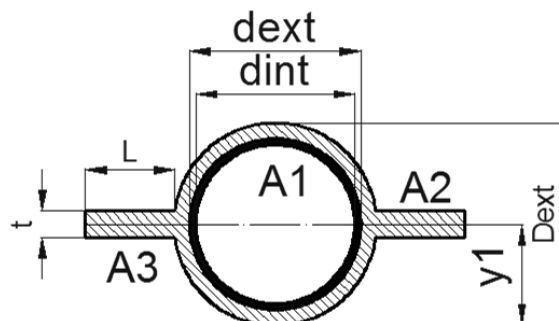
De igual manera se procede a realizar el análisis para el eje z:

$$S_z = \frac{I}{c} [m^3]$$

$$S_z = \frac{1,56e^{-5}}{0,08415} [m^3]$$

$$S_z = 1,85e^{-4} [m^3] > S_{zperm} = 3,74e^{-5} [m^3]$$

El perfil cumple con las condiciones de diseño pero debido a que se necesita un sistema de unión entre la torre y el brazo soporte del tren de poleas, se procede a realizar el análisis mediante la sección compuesta.



**Figura 2.31** Esquema de la sección compuesta

**Fuente:** Propia

Áreas	Dimensiones, m		Area, m <sup>2</sup>	y, m	A.y, m <sup>3</sup>	y, m
A1	dext	0,1683	0,005	0,094	0,000	0,0942
	dint	0,154				
A2	Dext	0,1883	0,006	0,094	0,001	
	Dint	0,1683				
A3	L	0,05	0,002	0,094	0,000	
	t	0,02				
<b>ΣA</b>		<b>0,013</b>	<b>ΣA.y</b>	<b>0,001</b>		

Tabla 2.32 Resumen del cálculo del centroide

I'	A	d <sup>2</sup>	I <sub>z</sub>
0,000016	0,004973	0	0,000016
0,000022	0,005601	0	0,000022
0,000000067	0,002000	0	0,000000067
		<b>I</b>	<b>0,000038</b>

Tabla 2.33 Resumen de cálculo de la inercia de la sección compuesta

Fuente: Propia

Se reemplaza los valores obtenidos de la inercia para verificar si se cumple con los requerimientos de la sección:

$$S_z = \frac{3,8e^{-5}}{0,0924} [m^3]$$

$$S_z = 4,04e^{-4} [m^3] > S_{z \text{ perm}} = 8,5e^{-5} [m^3]$$

Por lo tanto el perfil es el adecuado, finalmente se analiza la viga a corte tomando en cuenta el peso propio y las tensiones que existen sobre el brazo soporte:

Esfuerzo cortante promedio:

$$f_v = \frac{V_{max}}{A} = \frac{1695,42 [kg]}{1,3e^{-2} [m^2]} = 1,27 [MPa] < 0,4F_y = 138 MPa$$

Por último se realiza el análisis de los efectos combinados por flexión para verificar si la viga cumple con los requisitos establecidos por la norma AISC, y según el criterio para la construcción de teleféricos:

$$I_b \leq \frac{f_{by}}{F_{by}} + \frac{f_{bz}}{F_{bz}} \leq 0,417$$

$$f_{by} = \frac{M_y}{S_y} = \frac{17599,14 [N \cdot m]}{4,04e^{-4}[m^3]} = 43,56 MPa$$

$$f_{bz} = \frac{M_z}{S_z} = \frac{7739,11 [N \cdot m]}{4,04e^{-4}[m^3]} = 19,16 MPa$$

$$I_b \leq \frac{43,56 MPa}{207 MPa} + \frac{19,16 MPa}{207 MPa} \leq 0,417$$

$$I_b \leq 0,21 + 0,09 \leq 0,417$$

$$I_b \leq 0,30 \leq 0,417$$

Se verifica que todos los requerimientos de la norma AISC se cumplen para la sección crítica del brazo soporte del tren de poleas, con un factor de seguridad superior a cuatro<sup>17</sup>.

## 2.7 DISEÑO DE LA ESTACIÓN DE SALIDA

Para un adecuado diseño de la estación de salida se debe tomar en cuenta algunos aspectos importantes los cuales son:

- La estación debe tener una altura mínima de tres metros para permitir una adecuada circulación de las sillas alrededor de la misma.
- Esta estación debe contener la rueda de transmisión del movimiento, con su respectivo sistema de soporte, por lo que debe soportar el peso de la misma, del motor y del sistema de transmisión de movimiento.

---

<sup>17</sup> Code of practice on the design; Manufacture and installation of aerial ropeways; 2002 edition



- Es importante que la estación tenga la longitud suficiente para permitir el desplazamiento del sistema de la rueda motriz, cuando suben y bajan las personas debido al desplazamiento del contrapeso.
- La rueda estará soportando dos trenes de poleas direccionales que servirán de guía para el cable al momento de direccionar el sistema del teleférico.
- El diseño tiene que ser estéticamente vistoso y decorativo para que sirva como atractivo arquitectónico en el lugar.
- La estación de salida debe tener un costo adecuado debido a la magnitud que posee la misma, por lo se debe optimizar el diseño reduciendo los costos.
- Se diseña los elementos constitutivos del sistema estructural de la estación de salida con un factor de seguridad de 3,5.

### 2.7.1 SELECCIÓN DEL MODELO DE LA ESTACIÓN DE SALIDA

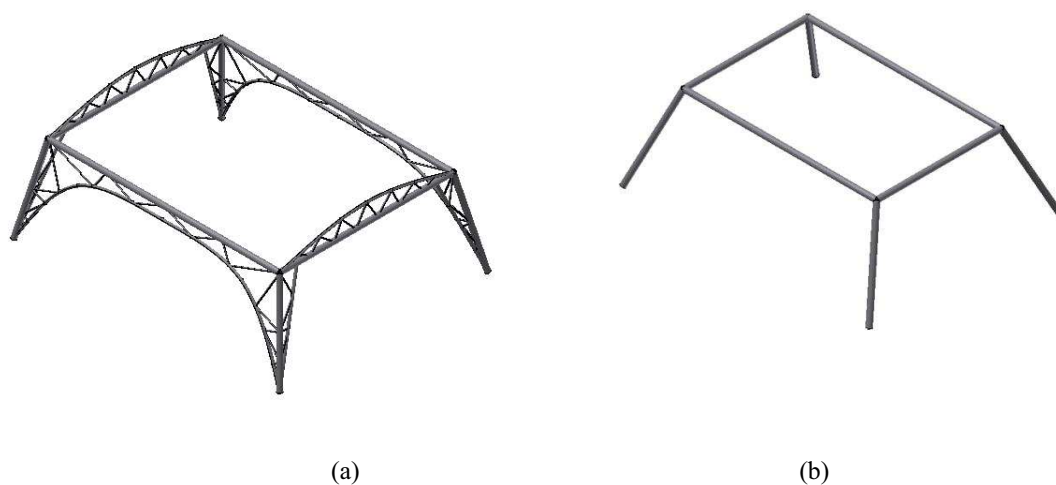
En base a lo mencionado anteriormente se procede a seleccionar las alternativas en base al método de evaluación de soluciones:

Criterio	Costo	FDC	Peso	Estética	Estabilidad	$\Sigma+1$	Ponderación
Costo		1	0,5	1	0,5	4	0,27
FDC	0		1	1	0,5	3,5	0,23
Peso	0,5	0		1	0,5	3	0,20
Estética	0	0	0		0	1	0,07
Estabilidad	0,5	0,5	0,5	1		3,5	0,23
					<b>Suma</b>	<b>15</b>	<b>1,00</b>

**Tabla 2.34** Evaluación del peso específico de cada criterio

**Fuente:** Propia.

Se tienen dos tipos de alternativas para la construcción de la estación de salida, estación en celosía tubular (E.C.) y estación tubular (E.T.):



**Figura 2.32** (a) Estación en celosía tubular y (b) Estación tubular

Fuente: Propia

Se selecciona la alternativa que satisface de mejor manera a los criterios antes establecidos:

Costo	E.C.	E.T.	$\Sigma+1$	Ponderación
E.C.		0,5	1,5	0,50
E.T.	0,5		1,5	0,50
	<b>Suma</b>		<b>3</b>	<b>1,00</b>

**Tabla 2.35** Evaluación del peso específico del criterio costo

Facilidad de construcción	E.C.	E.T.	$\Sigma+1$	Ponderación
E.C.		0	1	0,33
E.T.	1		2	0,67
	<b>Suma</b>		<b>3</b>	<b>1,00</b>

**Tabla 2.36** Evaluación del peso específico del criterio F.D.C

Estabilidad	E.C.	E.T.	$\Sigma+1$	Ponderación
E.C.		0,5	1,5	0,50
E.T.	0,5		1,5	0,50
	<b>Suma</b>		<b>3</b>	<b>1,00</b>

**Tabla 2.37** Evaluación del peso específico del criterio Estabilidad

Peso	E.C.	E.T.	$\Sigma+1$	Ponderación
E.C.		1	2	0,67
E.T.	0		1	0,33
	<b>Suma</b>		<b>3</b>	<b>1,00</b>

**Tabla 2.38** Evaluación del peso específico del criterio peso

Estética	E.C.	E.T.	$\Sigma+1$	Ponderación
E.C.		0,5	1,5	0,50
E.T.	0,5		1,5	0,50
		<b>Suma</b>	3	1,00

Tabla 2.39 Evaluación del peso específico del criterio estética

Conclusión	Costo	FDC	Estabilidad	Peso	Estética	$\Sigma$	Prioridad
E.C.	0,13	0,08	0,12	0,13	0,03	0,49	2
E.T.	0,13	0,16	0,12	0,07	0,03	0,51	1

Tabla 2.40 Tabla de Conclusiones

Se observa que ambas opciones de diseño de la torre satisfacen de forma los criterios de diseño se selecciona la estación tubular debido a que la misma tiene una facilidad de construcción mayor que la estructura con celosía tubular.

## 2.7.2 ESQUEMA DE FUERZAS ACTUANTES EN LA ESTACIÓN

Se analiza la estación de salida para ello se requiere tener un esquema básico de las fuerzas actuantes sobre ésta. Se toman en cuenta las fuerzas que se describen a continuación y se simulan mediante el programa SAP 2000:

Carga muerta: peso total de la estructura y peso total del sistema hidráulico.

Carga viva: peso del carro móvil soporte de la rueda motriz y rueda motriz.

Carga de Viento: para un viento de 55 m/s

Carga de Sismo: para un suelo tipo C, en la zona sísmica V

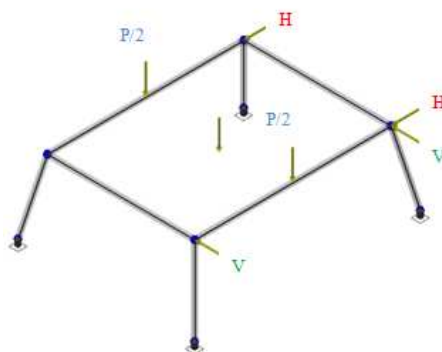


Figura 2.33 Esquema de fuerzas actuantes en la estación

Según este esquema diseñan los siguientes elementos para garantizar el correcto funcionamiento de la estación:

- Carga de sismo para la estación de salida
- Diseño de la viga principal
- Diseño de la columna sometida a flexo-compresión
- Diseño de la cimentación de la estación

### **2.7.3 CARGA DE SISMO PARA LA ESTACIÓN DE SALIDA**

El estudio de las cargas de sismo que resultan de la distorsión en la estructura causada por el movimiento del suelo y la resistencia lateral de esta. Sus magnitudes dependen de la velocidad y tipo de aceleraciones del suelo, así como de la masa y rigidez de la estructura.

Estas cargas se pueden determinar como fuerzas estáticas horizontales aplicadas a las masas de la estructura, aunque en ocasiones debido a la altura o esbeltez de las edificaciones se hace necesario un análisis dinámico para determinar las fuerzas máximas a las que estará sometida la estructura.

Considerando que las estructuras de análisis referente a cargas de sismo son las estructuras de soporte (Torres, estación de salida y llegada) se verificará las características de las mismas con el estado de cargas determinadas con el Código Ecuatoriano de la Construcción (NEC-2011-CAP.2-PELIGRO SÍSMICO Y DISEÑO SISMORESISTENTE), de igual manera es necesario recalcar que se considera fuerzas estáticas para la estación de salida y llegada debido a su poca altura.

#### **2.7.3.1 Carga sísmica reactiva (W)**

La carga sísmica  $W$  representa la carga reactiva por sismo y es igual a la carga muerta total de la estructura más un 25% de la carga viva.

Para el caso de la estación se tiene:

$Cm_T$ : Carga muerta (Peso propio de la estructura y carga lateral H) = 10 T

La Carga Lateral H, considera al Sistema de Transporte soportando la máxima cantidad de Personas transportadas, que es de 24.

$Cv_T$ : Carga viva (Peso de la rueda motriz y estructura de soporte) = 5 T

$$W = Cm_T + 0.25Cv_T$$

(Ec. 2.43)

$$W = 10 + 0.25(5) = 11.25 [T]$$

### 2.7.3.2 Cortante basal de diseño

El cortante basal total de diseño V, a nivel de cargas últimas, que será aplicado a una estructura en una dirección especificada, se determinara mediante las expresiones:

$$V = \frac{I S_a}{R \varphi_p \varphi_E} W$$

(Ec. 2.44)

Donde:

$I$ : factor de importancia

$W$ : carga reactiva

$S_a$ : aceleración espectral correspondiente al espectro de respuesta elástico para diseño

$R$ : Factor de reducción de respuesta estructural.

$\varphi_p, \varphi_E$  : Factores de configuración estructural en planta y en elevación.

#### 2.7.3.2.1 Factor de importancia

En base a la siguiente tabla se determina el factor I, en función de la categoría de la edificación.

Categoría	Tipo de uso, destino e importancia	Factor
Edificaciones esenciales y/o peligrosas	Hospitales, clínicas. Centros de salud o de emergencia sanitaria. Instalaciones militares, de policía, bomberos, defensa civil. Garajes o estacionamientos para vehículos y aviones que atienden emergencias. Estructuras que albergan equipos de generación y distribución eléctrica	1,5
Estructuras de ocupación especial	Museos, iglesias, escuelas y centros de educación o deportivos que albergan más de trescientas personas. Todas las estructuras que albergan más de cinco mil personas. Edificios públicos que requieren operar continuamente	1,3
Otras estructuras	Todas las estructuras de edificación y otras que no clasifican dentro de las categorías anteriores	1,0

**Tabla 2.41** Factor de importancia

**Fuente:** Código Ecuatoriano de la Construcción.

### 2.7.3.2.2 Aceleración espectral

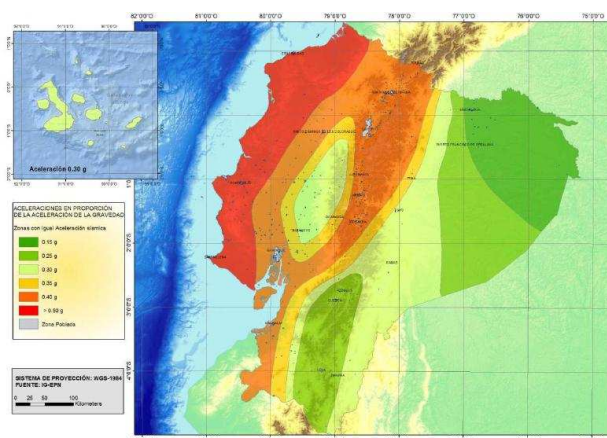
El espectro de respuesta elástico de aceleraciones expresado como fracción de la aceleración de la gravedad  $S_a$ , para el nivel del sismo de diseño, consistente en:

$$S_a = n Z F_a \quad \text{para } 0 \leq T \leq T_c$$

(Ec. 2.45)

$$S_a = n Z F_a \left( \frac{T_c}{T} \right)^r \quad \text{para } T \geq T_c$$

(Ec. 2.46)



**Figura 2.34** Mapa de zonas sísmicas del Ecuador.

### 2.7.3.2.3 Tipo de suelo

En general se trata de suelos profundos, ricos en materia orgánica, friables, porosos, en los cuales la saturación de base no supera el 40% y la textura es franca. El perfil "B" es de color café oscuro, franco arenoso y el "C" franco arcilloso, poroso, suave y masivo.

Conociendo el tipo de suelo, mediante el estudio de suelos y una vez obtenido este valor se determina el valor de  $T_c$

$$T_c = 0,55 \frac{F_s \cdot F_d}{F_a}$$

(Ec. 2.47)

Los valores de  $F_s$ ,  $F_d$  y  $F_a$  se obtienen de las tablas mostradas a continuación:

Tipo de perfil del subsuelo	Zona sísmica	I	II	III	IV	V	VI
	Valor Z (Aceleración esperada en roca, g)	0,15	0,25	0,30	0,35	0,40	≥0,5
A		0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
B		1	1	1	1	1	1
C		1,4	1,3	1,25	1,23	1,2	1,18
D		1,6	1,4	1,3	1,25	1,15	1,15
E		1,8	1,5	1,4	1,28	1,15	1,05

Figura 2.35 Tipo de suelo y factores de sitio  $F_a$

Fuente: Código Ecuatoriano de la Construcción.

Tipo de perfil del subsuelo	Zona sísmica	I	II	III	IV	V	VI
	Valor Z (Aceleración esperada en roca, g)	0,15	0,25	0,30	0,35	0,40	≥0,5
A		0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
B		1	1	1	1	1	1
C		1,6	1,5	1,4	1,35	1,3	1,25
D		1,9	1,7	1,6	1,5	1,4	1,3
E		2,1	1,75	1,7	1,65	1,6	1,5

Figura 2.36 Tipo de suelo y factores de sitio  $F_d$

Fuente: Código Ecuatoriano de la Construcción.

Tipo de perfil del subsuelo	Zona sísmica	I	II	III	IV	V	VI
	Valor Z (Aceleración esperada en roca, g)	0,15	0,25	0,30	0,35	0,40	≥0,5
A		0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75
B		0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75
C		1	1,1	1,2	1,25	1,3	1,45
D		1,2	1,25	1,3	1,4	1,5	1,65
E		1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2

Figura 2.37 Tipo de suelo y factores del comportamiento elástico del subsuelo  $F_s$

Fuente: Código Ecuatoriano de la Construcción.

$$T_c = 0,55 \frac{1,025 \times 1,15}{1,1} = 0,059$$

Puesto que  $T \geq T_c$  :

$$S_a = n Z F_a \left( \frac{T_c}{T} \right)^r$$

(Ec. 2.48)

Donde  $r = 1$ , para tipo de suelo A, B o C y  $r = 1,5$ , para tipo de suelo D o E. Asimismo, de los análisis de las ordenadas de los espectros de peligro uniforme en roca para el 10% de probabilidad de excedencia en 50 años (Periodo de retorno 475 años), que se obtienen a partir de los valores de aceleraciones espectrales proporcionados por las curvas de peligro sísmico y, normalizándolos para la aceleración máxima en el terreno, Z, se definieron los valores de la relación de amplificación espectral, h ( $S_a/Z$ , en roca), que varían dependiendo de la región del Ecuador, adoptando los siguientes valores:

$n = 1.8$  (Provincias de la Costa, excepto Esmeraldas),  $2.48$  (Provincias de la Sierra, Esmeraldas y Galápagos),  $2.6$  (Provincias del Oriente).

$$S_a = 2,48 \times 0,4 \times 1,1 \left( \frac{0,059}{0,174} \right)^1$$

$$S_a = 0,37$$



#### 2.7.3.2.4 Periodo de vibración $T$

El periodo de vibración de la estructura, para cada dirección principal, será estimado a partir del siguiente método, se considera

$$T = C_t \cdot h_n^\alpha$$

(Ec. 2.49)

- Para estructuras de acero sin arriostramientos,  $C_t = 0,072$  y  $\alpha = 0,80$
- De igual manera  $h_n = 3 \text{ m}$  (altura de la estructura)

$$T = 0,072 \times 3^{0,8} = 0,174$$

#### 2.7.3.2.5 Factor de reducción de respuesta estructural

Seleccionando una estructura de ductilidad limitada del tipo, Pórticos espaciales sismo-resistentes, de acero laminado en caliente o con elementos armados de placas obtenemos el valor de reducción de resistencia sísmica ( $R$ ) correspondiente:

Pórticos Espaciales sismo-resistentes, de hormigón armado con vigas descolgadas	6
Pórticos espaciales sismo-resistentes, de acero laminado en caliente	6
Pórticos con columnas de hormigón armado y vigas de acero laminado en caliente	6

**Tabla 2.42** Pórticos resistentes a momentos

**Fuente:** Código Ecuatoriano de la Construcción.

#### 2.7.3.2.6 Factores de configuración estructural

Teniendo todos los parámetros necesarios se obtiene el valor de la carga estática por sismo.

$$V = \frac{1,5 \times 0,37}{6 \times 1} (11,25 T) = 1,1 [T]$$

### 2.7.4 DISEÑO DE LA VIGA PRINCIPAL

Con esta configuración de fuerzas se tiene los siguientes diagramas de esfuerzo cortante y momento flector obtenidos del programa SAP 2000 mediante la combinación de esfuerzos crítica:

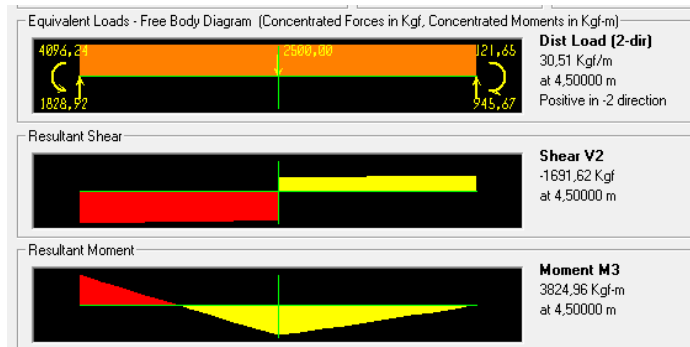


Figura 2.38 Diagrama de fuerza cortante y momento flector plano y-z

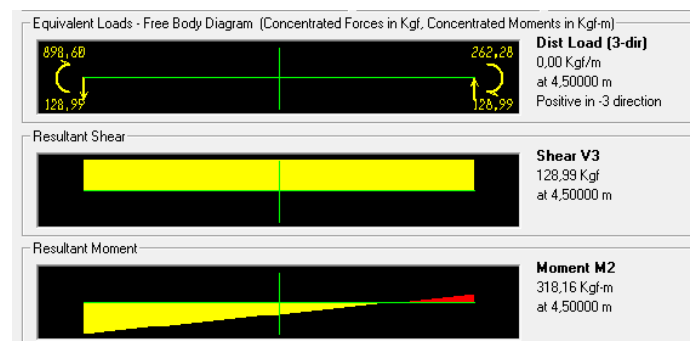


Figura 2.39 Diagrama de fuerza cortante y momento flector plano x-y

Fuente: Propia

$$M_y = 318,16 \text{ [kg.m]}$$

$$M_z = 3824,96 \text{ [kg.m]}$$

$$V_z = 1696,53 \text{ [kg]}$$

Longitud sin soporte lateral = 9 m

$$S_{y \text{ perm}} = \frac{M_y}{F_b}$$

$$S_{y \text{ perm}} = \frac{3121,15 \text{ [N.m]}}{0,6 \times 240 \text{ [MPa]}}$$

$$S_{y \text{ perm}} = 2,17e^{-5} \text{ [m}^3\text{]}$$

$$S_{z \text{ perm}} = \frac{M_z}{F_b}$$

$$S_{z\text{ perm}} = 2,61e^{-4} [m^3]$$

Se selecciona una tubería de 8 pulgadas cédula 40 comprobando que cumple con las características deseadas.

$$I = \frac{\pi}{64} (d_{Ext}^4 - d_{Int}^4)$$

$$I = \frac{\pi}{64} (0,2191^4 - 0,20186^4) [m^4]$$

$$I = 1,80856e^{-5} [m^4]$$

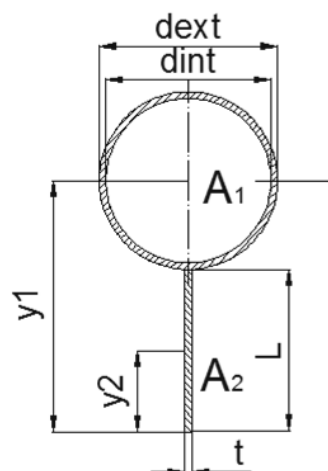
$$S_y = \frac{1,80856e^{-5} [m^4]}{\frac{0,2032}{2} [m]}$$

$$S_y = 1,78e^{-4} [m^4] > S_{y\text{ perm}} = 2,17e^{-5} [m^3]$$

De la misma manera se calcula para la sección  $S_z$ :

$$S_z = 1,78e^{-4} [m^4] < S_{z\text{ perm}} = 2,61e^{-4} [m^3]$$

Como no cumple con los requerimientos necesarios se procede a modificar la sección que soporta el momento crítico hasta obtener un factor de seguridad adecuado, mediante el teorema de los ejes paralelos:



**Figura 2.40** Esquema de la sección modificada.

Áreas	Dimensiones		Área, m <sup>2</sup>	y, m	A.y, m <sup>3</sup>	$\bar{y}$ , m
A1	dext	0,2191	0,0057	0,4096	0,0023	0,295
	dint	0,20186				
A2	L	0,3	0,0045	0,1500	0,0007	
	t	0,015				
<b>ΣA</b>			0,010	<b>ΣA.y</b>	0,003	

Tabla 2.43 Dimensiones de la sección compuesta

I'	A	d <sup>2</sup>	I <sub>z</sub>
3,16E-05	5,70E-03	1,31E-02	1,06E-04
3,38E-05	4,50E-03	2,10E-02	1,28E-04
<b>I</b>			<b>2,35E-04</b>

Tabla 2.44 Inercia de la sección compuesta

Fuente: Propia.

$$\bar{y}_i = \frac{\sum_i A_i \bar{y}_i}{\sum_i A_i}$$

(Ec. 2.50)

$$\bar{y} = \frac{(0,0057)(0,4096) + (0,0045)(0,15)}{(0,0057) + (0,0045)}$$

$$\bar{y} = 0,295 [m]$$

$$I = I_1 + I_2$$

(Ec. 2.51)

$$I_1 = I_1' + A_1 d_1^2$$

(Ec. 2.52)

$$I_1 = 3,16e^{-5} + 0,0057(0,1145)^2 [m^4]$$

$$I_1 = 1,06e^{-4} [m^4]$$

$$I_2 = 3,38e^{-5} + 0,0045(0,145)^2 [m^4]$$

$$I_2 = 1,28e^{-4} [m^4]$$

$$I = 2,35e^{-4} [m^4]$$

$$S_z = \frac{I}{c} [m^3]$$

$$S_z = \frac{2,35e^{-4}}{0,295} [m^3]$$

$$S_z = 7,96e^{-4} [m^3] > S_{z\text{ perm}} = 2,61e^{-4} [m^3]$$

De igual manera se procede a realizar el análisis para el eje y:

$$S_y = \frac{I}{c} [m^3]$$

$$S_y = \frac{3,16e^{-5}}{0,10955} [m^3]$$

$$S_y = 2,88e^{-4} [m^3] > S_{y\text{ perm}} = 2,17e^{-5} [m^3]$$

Se verifica las condiciones para el cálculo del esfuerzo permisible:

$$A_T = 6,33e^{-3} [m^2]$$

$$I_T = 4,32e^{-4} [m^4]$$

$$r_T = \sqrt{\frac{4,32e^{-4}}{6,33e^{-3}}} [m]$$

$$r_T = 0,2612 [m]$$

Como el momento  $M_1$  es cero se tiene:

$$C_b = 1,75 + 1,05 \frac{M_1}{M_2} + 0,3 \frac{M_1}{M_2} \leq 2,3$$

$$C_b = 1,75 + 1,05 \left( \frac{0}{40184,11} \right) + 0,3 \left( \frac{0}{40184,11} \right) \leq 2,3$$

$$C_b = 1,75$$

$$\sqrt{\frac{102e^3 C_b}{F_y}} \leq \frac{L}{r_T} \leq \sqrt{\frac{510e^3 C_b}{F_y}}$$

Para el acero ASTM A 588 Grado B se tiene y reemplazando  $C_b$  se tiene:

$$54\sqrt{C_b} \leq \frac{L}{r_T} \leq 121\sqrt{C_b}$$

$$71 \leq \frac{L}{r_T} \leq 160$$

$$\frac{L}{r_T} = \frac{9}{0,2612} = 34,46 < 71$$

$$F_b = 0,6 \cdot F_y$$

(Ec. 2.53)

$$F_b = 207 \text{ [MPa]}$$

Se calcula el momento máximo que puede soportar la estructura:

$$M_{y \max} = S_y \cdot F_b$$

$$M_{y \max} = 2,88e^{-4} [\text{m}^3] \cdot 207e^6 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$$

$$M_{y \max} = 59616 \text{ N.m}$$

$$M_{z \max} = S_z \cdot F_b$$

$$M_{z \max} = 7,96e^{-4} [\text{m}^3] \cdot 207e^6 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$$

$$M_{z \max} = 164772 \text{ N.m}$$

Como el perfil cumple con la resistencia requerida, ahora se revisará la deflexión, para lo cual se establece como deformación máxima permisible:

$$\Delta_{perm} = \frac{L}{300}$$

$$\Delta_{perm} = \frac{9}{300} [m] = 0,03 [m]$$

Para ello se procede a realizar una suma de las deflexiones producidas por las fuerzas actuantes sobre la estructura y del peso propio de la sección compuesta:

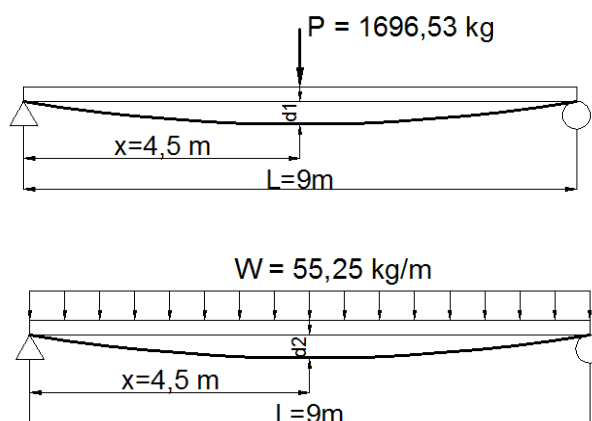


Figura 2.41 Deflexión en la estructura.

$$d_1 = -\frac{Px^4}{3EI} [m]$$

$$d_1 = -\frac{(1696,53)(4,5)^4}{3(2,1e^{10})(7,96e^{-4})(9)} [m] = -1,54e^{-3} [m]$$

$$d_2 = \frac{W}{12EI} \left( Lx^3 - \frac{x^4}{2} - \frac{L^3x}{2} \right) [m]$$

$$d_2 = \frac{58,25 \text{ kg/m}}{12(2,1e^{10})(7,96e^{-4})} \left[ (9)(4,5)^3 - \frac{(4,5)^4}{2} - \frac{(9)^3(4,5)}{2} \right] [m] = -2,97e^{-4} [m]$$

$$\Delta_{max} = d_1 + d_2 = 1,54e^{-3} + 2,97e^{-4} [m]$$

$$\Delta_{max} = 0,00184 [m] < \Delta_{perm} = \frac{9}{300} [m] = 0,003 [m]$$

Por lo tanto el perfil es el adecuado, por último se procede a realizar el análisis de la vida a corte tomando en cuenta el peso propio y las tensiones que existen sobre la viga:

Esfuerzo cortante promedio:

$$f_v = \frac{V_{max}}{A} = \frac{1696,53 \text{ kg}}{0,01 \text{ m}^2} = 1,66 \text{ MPa} < 0,4F_y = 96 \text{ MPa}$$

Se realiza el análisis de los efectos combinados por flexión para verificar si la viga cumple con los requisitos establecidos por la norma AISC:

$$I_b \leq \frac{f_{by}}{F_{by}} + \frac{f_{bz}}{F_{bz}} \leq 1$$

$$f_{by} = \frac{M_y}{S_y} = \frac{3121,15 \text{ [N.m]}}{2,88e^{-4} \text{ [m}^3\text{]}} = 10,83 \text{ [MPa]}$$

$$f_{bz} = \frac{M_z}{S_z} = \frac{37522,86 \text{ [N.m]}}{7,96e^{-4} \text{ [m}^3\text{]}} = 47,14 \text{ [MPa]}$$

$$I_b \leq \frac{10,83}{207} + \frac{47,14}{207} \leq 0,476$$

$$I_b \leq 0,052 + 0,227 \leq 0,476$$

$$I_b \leq 0,279 \leq 0,476$$

De donde se verifica que todos los requerimientos de la norma se cumplen para la sección crítica de la estación de salida.

## 2.7.5 DISEÑO DE LA COLUMNA A FLEXO-COMPRESIÓN

Como la columna se encuentra sometida a esfuerzos de compresión se procede al análisis de la misma bajo dichos efectos.

### 2.7.5.1 Análisis a compresión

Se procede al análisis de la columna sometido a esfuerzos a compresión, para verificar si se cumplen los requisitos necesarios para utilizar las formulas anteriormente detalladas. Para ello se selecciona una tubería de 8 pulgadas cédula 80 y se utiliza las fórmulas del apartado 2.6.3.



$$r = \sqrt{\frac{3,16e^{-5} [m^4]}{0,0057 [m^2]}}$$

$$r = 0,074 [m]$$

$$\lambda = \frac{2(4,264 m)}{(0,074 m)} = 115$$

Se sabe que  $C_c$  es 107 para el acero A 588.

$$\frac{KL}{r} > C_c$$

Por lo tanto se trabaja en la zona inelástica y se calcula los esfuerzos utilizando las ecuaciones pertinentes según la AISC, usando las ecuaciones anteriores se tiene:

$$FS = 1,92$$

$$F_a = \frac{\pi^2(29000)}{1,92(115)^2} [ksi]$$

$$F_a = 11,27 [ksi] = 77,7 [MPa]$$

Del programa SAP 2000 se obtiene los esfuerzos de compresión:

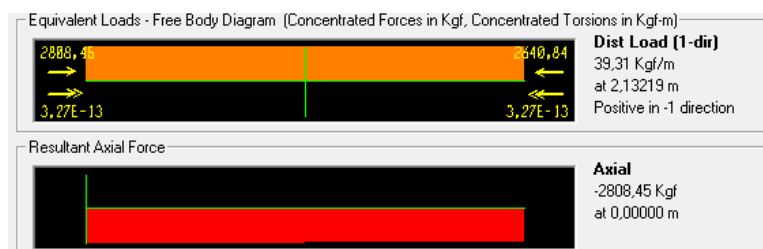


Figura 2.42 Fuerza axial de compresión

Reemplazando en la ecuación 2.20 se tiene:

$$f_a = \frac{2888,45 [kg]}{0,0057 [m^2]}$$

$$f_a = 4,97 [MPa]$$

Se calcula la siguiente relación y se verifica los requerimientos de la AISC:

$$\frac{f_a}{F_a} = \frac{4,97 \text{ MPa}}{77,7 \text{ MPa}} = 0,064 \leq 0,15$$

Se calcula los esfuerzos de compresión por flexión en los diferentes planos de trabajo.

### 2.7.5.2 Flexión en el plano YZ.

Utilizando el programa Autocad se determina el área del patín de compresión y la inercia del patín de compresión para la sección de análisis:

$$A_T = 2,5e^{-3} [m^2]$$

$$I_T = 1,07e^{-3} [m^4]$$

$$r_T = \sqrt{\frac{2,5e^{-3} [m^4]}{1,07e^{-3} [m^2]}} = 1,52 [m]$$

Reemplazando en la ecuación 2.22 obtenemos la esbeltez de la sección:

$$\gamma_F = \frac{L}{r_T} = \frac{4,26 [m]}{1,52 [m]} = 2,8$$

Para el material ASTM A588, se usan las siguientes constantes usando las ecuaciones usadas anteriormente se reemplazan en el diagrama de fuerzas y momento flector se tiene:

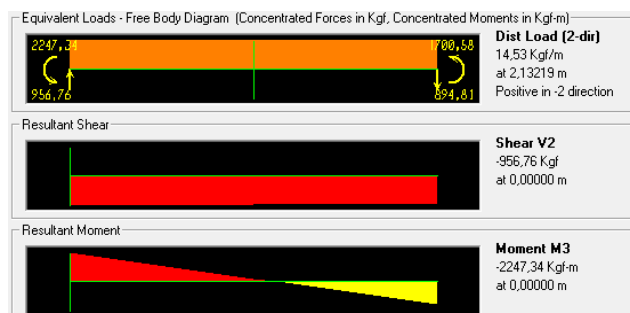


Figura 2.43 Diagrama de fuerza cortante y momento flector plano YZ.

$$M_1 = 1700,58 [kg.m]$$

$$M_2 = -2247,34 [kg.m]$$

$$C_b = 1.75 + 1.05 \left( \frac{1700,58}{-2247,34} \right) + 0,3 \left( \frac{1700,58}{-2247,34} \right)^2 = 1,127$$

Reemplazando los valores en la ecuación correspondiente se tiene los siguientes resultados:

$$45\sqrt{C_b} \leq \frac{L}{r_T} \leq 101\sqrt{C_b}$$

$$47,77 \leq \frac{L}{r_T} \leq 107,22$$

$$\frac{L}{r_T} = 2,8 \leq 47,77$$

Por lo tanto se trata de un elemento no esbelto por lo que se utiliza el siguiente criterio:

$$F_b = 0,6 \times 345 = 207 \text{ [MPa]}$$

Se reemplaza en la ecuación 2.29 para obtener el esfuerzo a flexión:

$$f_b = \frac{2247,34[\text{kg} \cdot \text{m}] \times 0,18991[\text{m}]}{1,16e^{-4} [\text{m}^4]} = 36,09 \text{ [MPa]}$$

### 2.7.5.3 Flexión en el plano XZ.

Se determina las condiciones de trabajo para la torre, reemplazando en las ecuaciones utilizadas con anterioridad de acuerdo al gráfico de fuerzas y momentos:

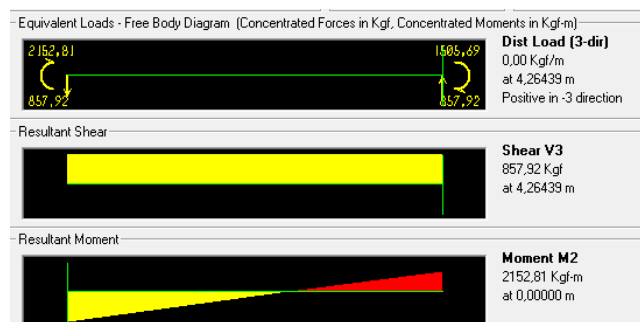


Figura 2.44 Diagrama de fuerza cortante y momento flector plano XZ.

$$M_1 = -1585,69 \text{ [kg.m]}$$

$$M_2 = 2152,81 \text{ [kg.m]}$$

$$C_b = 1,75 + 1,05 \left( \frac{-1585,69 \text{ kg.m}}{2152,81 \text{ kg.m}} \right) + 0,3 \left( \frac{-1585,69 \text{ kg.m}}{2152,81 \text{ kg.m}} \right)^2 = 1,139$$

$$48,02 \leq \frac{L}{r_T} \leq 107,8$$

Puesto que no es un elemento esbelto se utiliza la siguiente fórmula:

$$F_b = 0,6 S_y$$

$$F_b = 0,6 \times 345 = 207 \text{ [MPa]}$$

Se utiliza la formula 2.29 y se reemplazan los valores para la sección crítica:

$$f_b = \frac{2152,81 \text{ [kg.m]} \times 0,18991 \text{ [m]}}{1,16 \times 10^{-4} \text{ [m}^4\text{]}} = 34,57 \text{ [MPa]}$$

Reemplazando los valores obtenidos en la fórmula para comprobar los requerimientos de la AISC y de construcción de teleféricos:

$$\frac{4,97 \text{ [MPa]}}{77,7 \text{ [MPa]}} + \frac{36,09 \text{ [MPa]}}{207 \text{ [MPa]}} + \frac{34,57 \text{ [MPa]}}{207 \text{ [MPa]}} \leq 0,476$$

$$0,405 \leq 0,416$$

## 2.7.6 DISEÑO DE LA CIMENTACIÓN DE LA ESTACIÓN

### 2.7.6.1 Diseño de la placa base

Se procede de manera similar como se calculó la cimentación de la torre de 6 metros, utilizando una placa base de diámetro 0,3391 metros, y se procede a verificar si se acepta para el diseño

$$\rho = \frac{P}{A} \leq F'_c$$

Se utiliza un factor de seguridad de 5 para la placa.

$$F'_c = \frac{f'_c}{F.S.} = \frac{240}{5} = 48 \frac{kg}{cm^2}$$

$$A_p \geq \frac{P}{F'_c} = \frac{2888,45}{48} [cm^2]$$

$$A_p \geq 60,17 [cm^2]$$

$$B_{min} = \sqrt{\frac{354,17 [cm^2]}{\pi}}$$

$$B_{min} = 4,37 [cm]$$

Los lados de la placa son mayores a esta medida, debido a que  $d$  es igual 0,219 metros siendo el diámetro exterior de la columna y se suma 0,05 metros a cada lado para poder colocar ménsulas en la columna, por lo cual cumple con los requerimientos necesarios de diseño.

$$M_D = \frac{qn^2}{2}$$

$$t_p = \sqrt{\frac{3F'_c n^2}{0,6S_y}}$$

$$t_p = \sqrt{\frac{3(48)(7)^2}{0,6(3500)}}$$

$$t_p = 1,83 \text{ cm}$$

Por lo tanto se selecciona un espesor de 1,9 cm (3/4"), con un diámetro  $B = 35$  cm, que satisface con los condiciones de diseño.

### 2.7.6.2 Diseño de los pernos de anclaje

Se supone pernos de  $\varnothing = 7/8''$

$$\varnothing_{aguj} = 1'' = 2,54 \text{ cm}$$

$$d_c \geq 1,5\varnothing_{aguj}$$

$$d_c \geq 1,5(2,54 \text{ cm})$$

$$d_c \geq 3,81 \text{ cm}$$

Se sabe que el diámetro  $d$  es 0,2191 metros, por lo que se supone un diámetro de la placa de 0,35 metros.

$$d_1 \geq 25,4 \text{ cm} = 10''$$

$$F = \frac{M}{d_1} = \frac{3,16(86,6)}{10} = 27,37 \text{ klb}$$

Como se quiere utilizar ocho pernos de anclaje tenemos lo siguiente:

$$4F = \frac{M}{d_1} = \frac{3,16(86,6)}{10} = 27,37 \text{ klb}$$

$$F = 6,84 \text{ klb}$$

$$\sum F_1 = 0$$

$$d = \sqrt{\frac{4F}{\pi f_t}} \leq F_t$$

$$d = \sqrt{\frac{4(6,84)}{\pi(60)}}$$

$$d = 0,381 \text{ plg} \approx 0,5 \text{ plg}$$

Se puede utilizar pernos de 1/2 pulgada, para disminuir los esfuerzos:

$$L_p = \frac{Pn}{f_h \pi d_p}$$

$$L_p = \frac{(3109)}{(4,8)\pi(2,2225)} [cm]$$

$$L_p = 162 [cm] = 1,62[m]$$

### 2.7.6.3 Diseño de la zapata de cimentación

De acuerdo a la capacidad soportante del suelo se calcula las dimensiones de la zapata teniendo 20 T/m<sup>2</sup>:

$$[Q_u] = \text{capacidad admisible} = \frac{Q_u}{F.S.} = \frac{Q_u}{4}$$

$$[Q_u] = 0,5 \frac{kg}{cm^2}$$

Se tiene que el área de la zapata es:

$$P_z = \frac{P}{A_z} \leq [Q_u]$$

$$A_z \geq \frac{P}{[Q_u]}$$

$$A_z \geq \frac{2888,45}{0,5} = \frac{\pi D^2}{4}$$

$$D = 85,76[cm]$$

## 2.8 DISEÑO DE LA ESTACIÓN DE LLEGADA

Se deben tomar en cuenta los siguientes algunos aspectos que permita realizar un adecuado diseño de la estación de llegada:

- La estación debe tener una altura mínima de tres metros con un espacio para permitir una adecuada circulación de las sillas alrededor de la misma.

- La estación debe soportar el peso de la rueda móvil además de la tensión ejercida por el cable.
- Es importante que tenga un espacio suficiente para permitir el paso de las canastillas sin que exista interferencia en el camino.
- La rueda estará soportando dos trenes de poleas direccionales que servirán de guía para el cable al momento de direccionar el sistema del teleférico.
- El diseño tiene que ser estéticamente vistoso y decorativo para que sirva como atractivo arquitectónico en el lugar.
- La estación de llegada estará diseñada de manera que resulte de fácil construcción, bajando los costos de la misma.

### 2.8.1 SELECCIÓN DEL MODELO DE LA ESTACIÓN DE LLEGADA

Para realizar el diseño de la estación de llegada se seleccionan los principales criterios que permiten contemplar de una manera integral el diseño adecuado de la estación, los cuales se describen a continuación:

Criterio	Costo	Facilidad de construcción	Peso	Estética	Estabilidad	$\Sigma+1$	Ponderación
<b>Costo</b>		1	0,5	1	0,5	4	0,27
<b>Facilidad de construcción</b>	0		1	1	0,5	3,5	0,23
<b>Peso</b>	0,5	0		1	0,5	3	0,20
<b>Estética</b>	0	0	0		0	1	0,07
<b>Estabilidad</b>	0,5	0,5	0,5	1		3,5	0,23
<b>Suma</b>						<b>15</b>	<b>1,00</b>

Tabla 2.45 Evaluación del peso específico de cada criterio

Se tienen dos tipos de alternativas para la construcción de la estación de llegada, estación con tubería y estación sólida, como se muestra en el siguiente esquema:



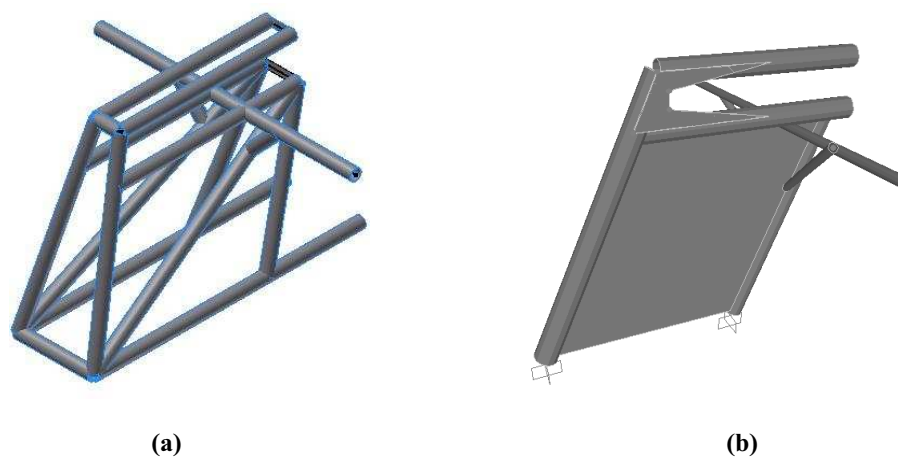


Figura 2.45 (a) Estación con Tubería, (b) Estación Sólida

Se selecciona la mejor alternativa realizando la evaluación en base a los criterios seleccionados:

Costo	E.T.	E.S.	$\Sigma+1$	Ponderación
E.T.		0,5	1,5	0,50
E.S.	0,5		1,5	0,50
		<b>Suma</b>	<b>3</b>	<b>1,00</b>

Tabla 2.46 Evaluación del peso específico del criterio: Costo.

FDC	E.T.	E.S.	$\Sigma+1$	Ponderación
E.T.		0	1	0,33
E.S.	1		2	0,67
		<b>Suma</b>	<b>3</b>	<b>1,00</b>

Tabla 2.47 Evaluación del peso específico del criterio: Facilidad de construcción.

Estabilidad	E.T.	E.S.	$\Sigma+1$	Ponderación
E.T.		1	2	0,67
E.S.	0		1	0,33
		<b>Suma</b>	<b>3</b>	<b>1,00</b>

Tabla 2.48 Evaluación del peso específico del criterio: Estabilidad

Peso	E.T.	E.S.	$\Sigma+1$	Ponderación
E.T.		0	1	0,33
E.S.	1		2	0,67
		<b>Suma</b>	<b>3</b>	<b>1,00</b>

Tabla 2.49 Evaluación del peso específico del criterio: Peso

Estética	E.T.	E.S.	$\Sigma+1$	Ponderación
E.T.		0	1	0,33
E.S.	1		2	0,67
		<b>Suma</b>	3	1,00

**Tabla 2.50** Evaluación del peso específico del criterio estética

Conclusión	Costo	FDC	Estabilidad	Peso	Estética	$\Sigma$	Prioridad
E.T.	0,13	0,08	0,16	0,07	0,02	0,46	2
E.S.	0,13	0,16	0,08	0,13	0,04	0,54	1

**Tabla 2.51** Tabla de Conclusiones.

**Fuente:** Propia

Se selecciona la estación solida como mejor opción procediendo a realizar los cálculos respectivos.

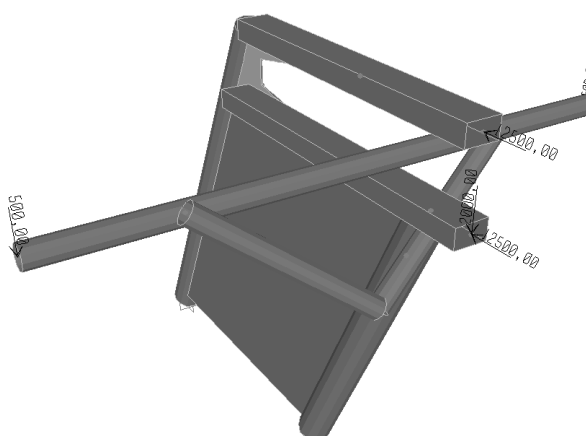
## 2.8.2 ESQUEMA DE FUERZAS ACTUANTES EN LA ESTACIÓN DE LLEGADA

Se procede al análisis de la estación de llegada introduciendo los datos en el programa SAP 2000 de acuerdo a las siguientes consideraciones:

Carga muerta: peso total de la estructura y peso de la rueda de reenvío

Carga viva: Tensión generada por el contrapeso

Carga de Sismo: para un suelo tipo C, en la zona sísmica V

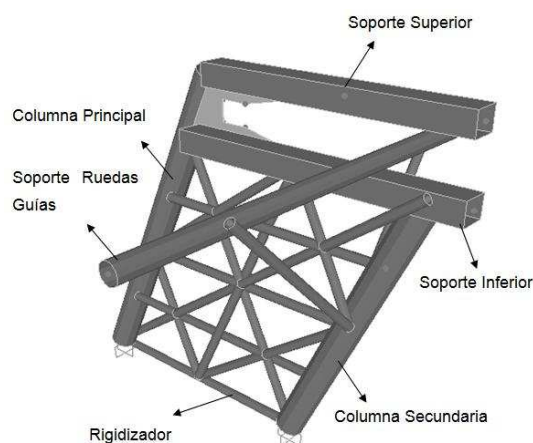


**Figura 2.46** Esquema de fuerzas actuantes en la estación de llegada

**Fuente:** Propia

A continuación se realiza el análisis de las distintas partes constituyentes de la estación de salida.

Para el diseño de la estación de llegada se toman en cuenta los elementos principales que conforman la misma, los cuales son:

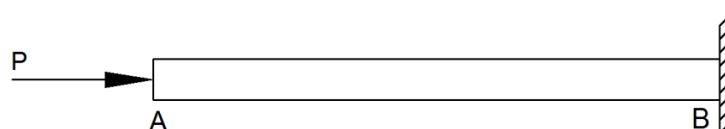


**Figura 2.47** Elementos principales de la estación

**Fuente:** Propia

### 2.8.3 DISEÑO DEL TUBO SOPORTE SUPERIOR

Del análisis mediante el programa SAP 2000 se obtiene que el soporte superior de la estación esté sometido principalmente a compresión, realizándose el análisis para esa condición como se puede observar en el siguiente esquema:



**Figura 2.48** Esquema del soporte actuando a compresión

**Fuente:** Propia

Se analiza la sección sometida principalmente a compresión, por la tensión del cable, y a flexión, debida al eso propio, obteniéndose los siguientes resultados:

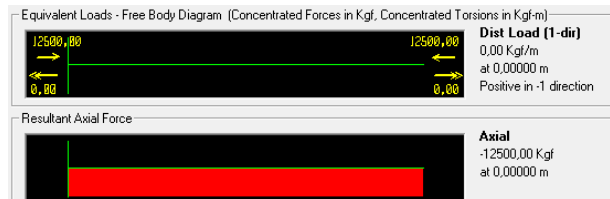


Figura 2.49 Diagrama de esfuerzos a compresión YZ.

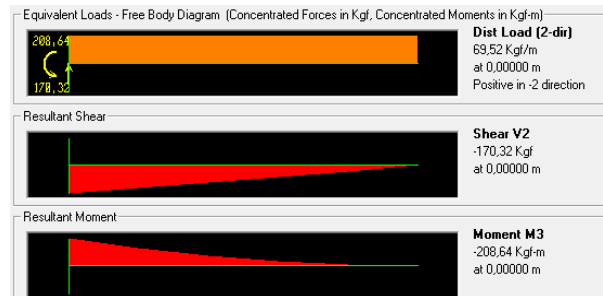


Figura 2.50 Diagrama de fuerza cortante y momento flector YZ.

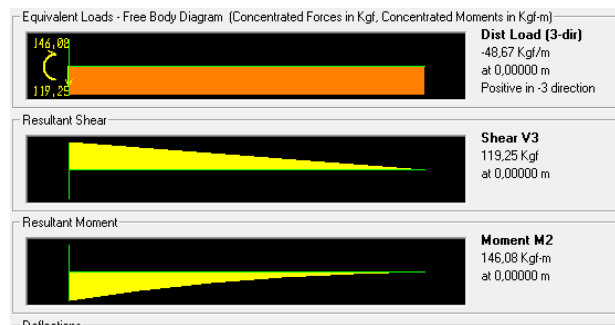


Figura 2.51 Diagrama de fuerza cortante y momento flector XY.

Fuente: Propia

Se tiene las siguientes fuerzas en el tubo superior:

$$M_y = 146,08 \text{ [kg.m]}$$

$$M_z = 170,32 \text{ [kg.m]}$$

$$F_v = 207,92 \text{ [kg]}$$

$$P = 12500 \text{ [kg]}$$

Se selecciona un perfil en base a las ecuaciones utilizadas en la sección 2.4.3, y comprueba cual brinda mejores características para el trabajo:

<b>TUBERÍA CIRCULAR</b>	<b>L</b> [m]	<b>Dext</b> [m]	<b>Dint</b> [m]	<b>t</b> [m]	<b>A</b> [m <sup>2</sup> ]	<b>Iz</b> [m <sup>4</sup> ]	<b>Ix</b> [m <sup>4</sup> ]	<b>r</b> [m]	<b>λ</b>
6 PULGADAS	2,45	0,1683	0,15506	0,00662	3,36E-03	1,10E-05	1,10E-05	0,05721	85,65
8 PULGADAS	2,45	0,2191	0,20186	0,00862	5,70E-03	3,16E-05	3,16E-05	0,07448	65,79
10 PULGADAS	2,45	0,273	0,2515	0,01075	8,86E-03	7,63E-05	7,63E-05	0,09280	52,80
<b>TUBERÍA RECTANGULAR</b>	<b>L</b> [m]	<b>Dext</b> [m]	<b>Dint</b> [m]	<b>t</b> [m]	<b>A</b> [m <sup>2</sup> ]	<b>Iz</b> [m <sup>4</sup> ]	<b>Ix</b> [m <sup>4</sup> ]	<b>r</b> [m]	<b>λ</b>
200X150X4	2,45	0,2	0,15	0,004	2,74E-03	1,04E-05	1,62E-05	0,06176	79,33
250X150X4	2,45	0,25	0,15	0,004	3,14E-03	1,26E-05	2,76E-05	0,06331	77,40
250X200X5	2,45	0,25	0,2	0,005	4,40E-03	2,95E-05	4,15E-05	0,08186	59,86

**Tabla 2.52** Secciones de prueba para el tubo soporte superior

Se realiza el análisis a compresión con un material ASTM A 53 Gr B y se obtienen los siguientes resultados:

<b>SECCIÓN</b>	<b>Cc</b>	<b>FS</b>	<b>Fa</b> [MPa]	<b>fa</b> [MPa]	<b>fa/Fa</b>
<b>TUBERÍA CIRCULAR</b>					
6 PULGADAS	128	1,880	99,86	37,93	0,3798
8 PULGADAS	128	1,842	113,95	22,37	0,1963
10 PULGADAS	128	1,813	122,10	14,40	0,1179
<b>TUBERÍA RECTANGULAR</b>					
200X150X4	128	1,869	104,55	46,61	0,4458
250X150X4	128	1,866	105,95	40,67	0,3838
250X200X5	128	1,867	105,59	32,70	0,3097

**Tabla 2.53** Análisis a compresión de las secciones

<b>SECCIÓN</b>	<b>M</b> [kg.m]	<b>Cb</b>	<b>Fb</b> [MPa]	<b>fb</b> [MPa]	<b>fb/Fb</b>
<b>TUBERÍA CIRCULAR</b>					
6 PULGADAS	146,08	1,75	145,14	10,95	0,0754
8 PULGADAS	146,08	1,75	145,14	4,96	0,0342
10 PULGADAS	146,08	1,75	145,14	2,56	0,0177
<b>TUBERÍA RECTANGULAR</b>					
200X150X4	146,08	1,75	145,14	10,29	0,0709
250X150X4	146,08	1,75	145,14	8,54	0,0589
250X150X5	146,08	1,75	145,14	4,86	0,0334

**Tabla 2.54** Análisis a flexión plano XY.

SECCIÓN	M [kg.m]	Cb	Fb [MPa]	Fb [MPa]	fb/Fb
<b>TUBERÍA CIRCULAR</b>					
6 PULGADAS	170,32	1,75	145,14	12,76	0,0879
8 PULGADAS	170,32	1,75	145,14	5,78	0,0398
10 PULGADAS	170,32	1,75	145,14	2,99	0,0206
<b>TUBERÍA RECTANGULAR</b>					
200X150X4	170,32	1,75	145,14	11,99	0,0826
250X150X4	170,32	1,75	145,14	9,96	0,0686
250X150X5	170,32	1,75	145,14	5,66	0,0390

**Tabla 2.55** Análisis a flexión plano y-z

SECCIÓN	$\frac{f_a}{F_a} + \frac{f_{by}}{F_{by}} + \frac{f_{bz}}{F_{bz}} \leq 0,56$
<b>TUBERÍA CIRCULAR</b>	
6 PULGADAS	0,54315
8 PULGADAS	0,27036
10 PULGADAS	0,15616
<b>TUBERÍA RECTANGULAR</b>	
200X100X3	1,28095
200X150X4	0,59933
250X150X4	0,51129
250X200X5	0,31853

**Tabla 2.56** Resumen del análisis a flexo-compresión

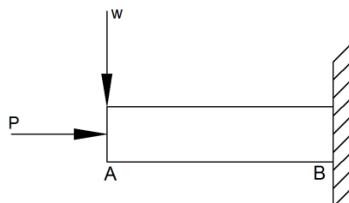
Fuente: Propia

De donde se selecciona el perfil 250x150x5 debido a que brinda las condiciones de seguridad necesarias para el diseño además que es una sección que se dispone en el mercado, sabiendo que se quiere tener un factor de seguridad mayor a tres en la estructura.

#### 2.8.4 ANÁLISIS DEL TUBO SOPORTE INFERIOR

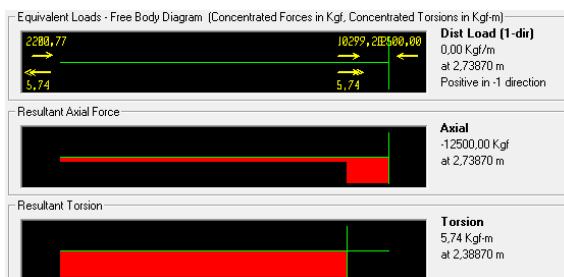
En este caso se tiene una menor longitud pero el tubo está sometido a una fuerza de similar de compresión y mayor de flexión debido al peso propio de la rueda guía, por

ello se procede al análisis de la rueda bajo estos efectos, considerando un empotramiento como se muestra en el siguiente análisis:

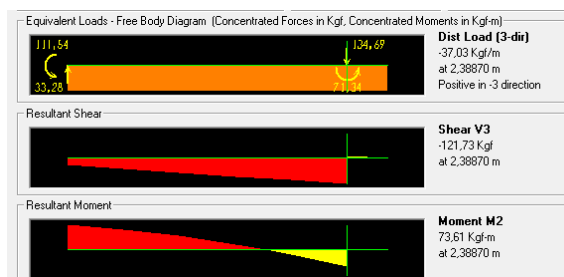


**Figura 2.52** Esquema de fuerzas en el soporte inferior

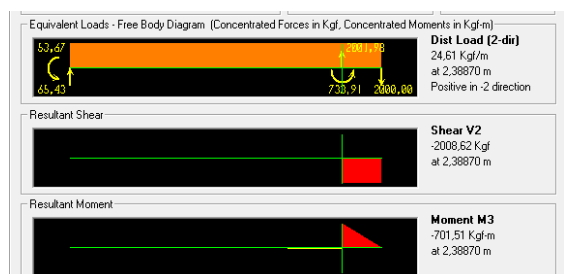
En base a esta configuración de fuerzas se analiza mediante el programa SAP 2000 para obtener los diagramas de fuerza cortante y momento flector en los distintos planos.



**Figura 2.53** Diagrama de esfuerzos a compresión XY.



**Figura 2.54** Diagrama de fuerza cortante y momento flector XY.



**Figura 2.55** Diagrama de fuerza cortante y momento flector YZ.

Fuente: Propia

Se procede de igual manera que en el soporte superior y se selecciona un perfil en base a las ecuaciones utilizadas en la sección 2.6.3:

<b>TUBERÍA CIRCULAR</b>	<b>L [m]</b>	<b>Dext [m]</b>	<b>Dint [m]</b>	<b>t [m]</b>	<b>A [m<sup>2</sup>]</b>	<b>Iz [m<sup>4</sup>]</b>	<b>Ix [m<sup>4</sup>]</b>	<b>r [m]</b>	<b>λ</b>
6 PULGADAS	0,35	0,1683	0,15506	0,00662	3,36E-03	1,10E-05	1,10E-05	0,05721	12,24
8 PULGADAS	0,35	0,2191	0,20186	0,00862	5,70E-03	3,16E-05	3,16E-05	0,07448	9,40
10 PULGADAS	0,35	0,273	0,2515	0,01075	8,86E-03	7,63E-05	7,63E-05	0,09280	7,54
<b>TUBERÍA RECTANGULAR</b>	<b>L [m]</b>	<b>Dext [m]</b>	<b>Dint [m]</b>	<b>t [m]</b>	<b>A [m<sup>2</sup>]</b>	<b>Iz [m<sup>4</sup>]</b>	<b>Ix [m<sup>4</sup>]</b>	<b>r [m]</b>	<b>λ</b>
200X150X4	0,35	0,2	0,15	0,004	2,74E-03	1,04E-05	1,62E-05	0,06176	11,33
250X150X4	0,35	0,25	0,15	0,004	3,14E-03	1,26E-05	2,76E-05	0,06331	11,06
250X200X5	0,35	0,25	0,2	0,005	4,40E-03	2,95E-05	4,15E-05	0,08186	8,55

**Tabla 2.57** Secciones de prueba para el tubo soporte inferior

Se realiza el análisis a compresión con un material ASTM A 53 Gr B y se obtienen los siguientes resultados:

<b>SECCIÓN</b>	<b>Cc</b>	<b>FS</b>	<b>Fa [MPa]</b>	<b>fa [MPa]</b>	<b>fa/Fa</b>
<b>TUBERÍA CIRCULAR</b>					
6 PULGADAS	128	1,702	141,45	37,93	0,2681
8 PULGADAS	128	1,694	142,40	22,37	0,1571
10 PULGADAS	128	1,689	143,00	14,40	0,1007
<b>TUBERÍA RECTANGULAR</b>					
200X150X4	128	1,700	141,76	46,61	0,3288
250X150X4	128	1,699	141,85	40,67	0,2867
250X200X5	128	1,692	142,68	28,98	0,2031

**Tabla 2.58** Análisis a compresión de las secciones

<b>SECCIÓN</b>	<b>M [kg.m]</b>	<b>Cb</b>	<b>Fb [MPa]</b>	<b>fb [MPa]</b>	<b>fb/Fb</b>
<b>TUBERÍA CIRCULAR</b>					
6 PULGADAS	73,61	1,75	145,14	5,52	0,0380
8 PULGADAS	73,61	1,75	145,14	2,50	0,0172
10 PULGADAS	73,61	1,75	145,14	1,29	0,0089
<b>TUBERÍA RECTANGULAR</b>					
200X150X4	73,61	1,75	145,14	5,18	0,0357
250X150X4	73,61	1,75	145,14	4,30	0,0297
250X200X5	73,61	1,75	145,14	2,45	0,0169

**Tabla 2.59** Análisis a flexión plano XY.



SECCIÓN	M [kg.m]	Cb	Fb [MPa]	fb [MPa]	fb/Fb
<b>TUBERÍA CIRCULAR</b>					
6 PULGADAS	701,51	1,75	145,14	52,57	0,3622
8 PULGADAS	701,51	1,75	145,14	23,82	0,1641
10 PULGADAS	701,51	1,75	145,14	12,30	0,0848
<b>TUBERÍA RECTANGULAR</b>					
200X150X4	701,51	1,75	145,14	49,40	0,3404
250X150X4	701,51	1,75	145,14	41,02	0,2826
250X200X5	701,51	1,75	145,14	8,11	0,0559

Tabla 2.60 Análisis a flexión plano YZ.

SECCIÓN	$\frac{f_a}{F_a} + \frac{f_{by}}{F_{by}} + \frac{f_{bz}}{F_{bz}} \leq 0,56$
<b>TUBERÍA CIRCULAR</b>	
6 PULGADAS	0,66830
8 PULGADAS	0,33845
10 PULGADAS	0,19436
<b>TUBERÍA RECTANGULAR</b>	
200X150X4	0,70488
250X150X4	0,59896
250X200X5	0,38063

Tabla 2.61 Resumen del análisis a flexo-compresión

Fuente: Propia

## 2.8.5 DISEÑO DE LA COLUMNA PRINCIPAL

Para el análisis de la estructura principal de soporte se determinan los esfuerzos a los que está sometida la estructura mediante el programa SAP 2000 los cuales se obtienen a continuación:

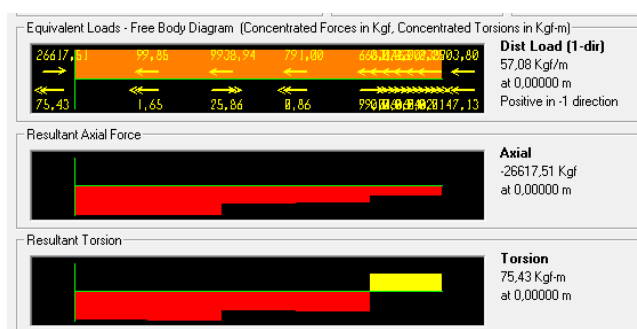


Figura 2.56 Diagrama de esfuerzos a compresión y-z

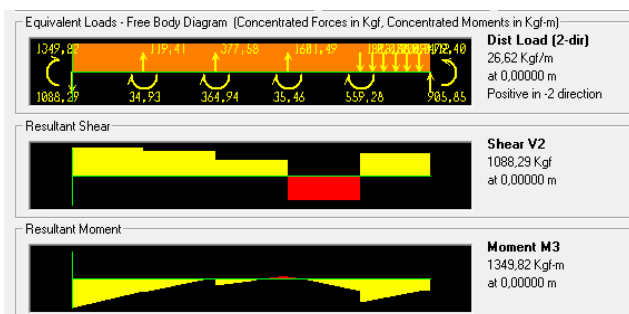


Figura 2.57 Diagrama de fuerza cortante y momento flector y-z

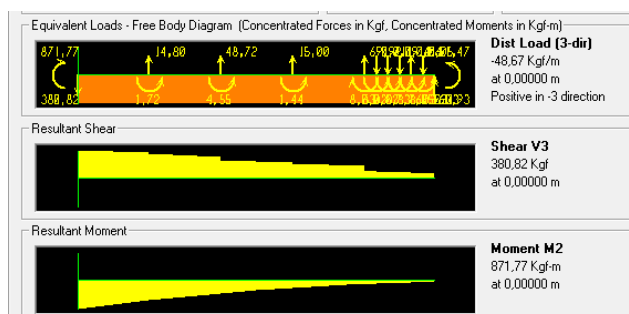


Figura 2.58 Diagrama de fuerza cortante y momento flector x-z

Las principales fuerzas que actúan sobre el soporte son:

$$M_y = 871,77 \text{ [kg.m]}$$

$$M_x = 1349,82 \text{ [kg.m]}$$

$$F_v = 1053 \text{ [kg]}$$

$$P = 26617,51 \text{ [kg]}$$

Primero se analiza las condiciones de la columna bajo cargas de compresión para determinar la ecuación para flexo compresión que se debe utilizar:

TUBERÍA CIRC.	L [m]	Peso [kg/m]	D <sub>ext</sub> [m]	D <sub>int</sub> [m]	t [m]	A [m <sup>2</sup> ]	I <sub>y</sub> [m <sup>4</sup> ]	I <sub>x</sub> [m <sup>4</sup> ]	r <sub>y-y</sub> [m]	λ
6 PULG.	3,5	28,26	0,1683	0,1551	0,0066	3,4E-03	1,1E-05	1,1E-05	5,7E-02	61
8 PULG.	3,5	42,53	0,2191	0,2019	0,0086	5,7E-03	3,2E-05	3,2E-05	7,5E-02	47
10 PULG.	3,5	60,29	0,273	0,2515	0,0108	8,9E-03	7,6E-05	7,6E-05	9,3E-02	38
TUBERÍA RECT.	L [m]	Peso [kg/m]	D <sub>ext</sub> [m]	D <sub>int</sub> [m]	t [m]	A [m <sup>2</sup> ]	I <sub>y</sub> [m <sup>4</sup> ]	I <sub>x</sub> [m <sup>4</sup> ]	r <sub>y-y</sub> [m]	λ
200X100X3	3,5	14,62	0,2	0,1	0,003	1,8E-03	3,2E-06	9,5E-06	7,3E-02	48
200X150X4	3,5	23,4	0,2	0,15	0,004	2,7E-03	1,0E-05	1,6E-05	7,7E-02	45
250X150X4	3,5	26,6	0,25	0,15	0,004	3,1E-03	1,3E-05	2,8E-05	9,4E-02	37
250X200X5	3,5	36,66	0,25	0,2	0,005	4,4E-03	3,0E-05	4,2E-05	9,7E-02	36

Tabla 2.62 Secciones de prueba para el tubo soporte inferior

Se tiene que  $C_c \geq \lambda$  por ello se analiza de manera similar como en el apartado 2.6.3.2

SECCIÓN	Cc	FS	P [kg]	Fa [MPa]	fa [MPa]	fa/Fa
<b>TUBERÍA CIRCULAR</b>						
6 PULGADAS	128	1,832	26617,51	116,95	77,66	0,6640
8 PULGADAS	128	1,798	26617,51	125,46	45,81	0,3651
10 PULGADAS	128	1,774	26617,51	130,44	29,48	0,2260
<b>TUBERÍA RECTANGULAR</b>						
200X100X3	128	1,873	26617,51	102,83	148,03	1,4395
200X150X4	128	1,822	26617,51	119,77	95,44	0,7968
250X150X4	128	1,819	26617,51	120,61	83,26	0,6903
250X200X5	128	1,787	26617,51	127,80	59,34	0,4644

**Tabla 2.63** Análisis a compresión de las secciones

Como en todos los casos se tiene que  $\frac{f_a}{F_a} \geq 0,15$  se debe hacer cumplir simultáneamente las ecuaciones 2.17 y 2.28, realizándose el proceso de cálculo descrito a continuación, basándose en una tubería de 10 pulgadas cédula 40:

$$F'_{ex} = \frac{12\pi^2(199950)}{23[37,72]^2} [MPa]$$

$$F'_{ex} = 723,78 [MPa]$$

Como la tubería tiene una sección circular se tiene que:

$$F'_{ex} = F'_{ey}$$

Como se trata de una columna sujeta a desplazamientos laterales se tiene que  $C_b = 0,85$  en ambos planos de análisis, a continuación se reemplaza los valores en las ecuaciones correspondientes:

$$f_{bx} = \frac{1349,82 \text{ kg.m}[kg.m] \times 0,1365[m]}{7,63e^{-5} [m^4]} = 23,68 \text{ MPa}$$

$$f_{by} = \frac{871,77 \text{ kg.m}[kg.m] \times 0,1365[m]}{7,63e^{-5} [m^4]} = 15,29 \text{ MPa}$$

Mediante se realiza el análisis respectivo y se determina que el elemento no es esbelto por lo cual:

$$F_{bx} = F_{by} = 0,6F_y = 145,14 \text{ [MPa]}$$

Finalmente se diseña la sección para un factor de seguridad de 3 debido a las condiciones de trabajo de la estación así como normativas internacionales para la construcción de teleféricos:

$$\frac{f_a}{F_a} + \frac{C_{mx}f_{bx}}{\left(1 - \frac{f_a}{F_{ex}}\right)F_{bx}} + \frac{C_{my}f_{by}}{\left(1 - \frac{f_a}{F_{ey}}\right)F_{by}} \leq 0,56$$

(Ec. 2.54)

$$\frac{29,48}{130,44} + \frac{(0,85)(23,68)}{\left[1 - \frac{(29,48)}{(723,78)}\right](145,14)} + \frac{(0,85)(15,29)}{\left[1 - \frac{(29,48)}{(723,78)}\right](145,14)} \leq 0,56$$

$$0,4639 \leq 0,476$$

De igual manera se reemplaza en la otra ecuación para comprobar si se cumplen ambos requisitos:

$$\frac{f_a}{0,6F_y} + \frac{f_{bx}}{F_{bx}} + \frac{f_{by}}{F_{by}} \leq 0,56$$

(Ec. 2.55)

$$\frac{29,48}{0,6(240)} + \frac{23,68}{145,14} + \frac{15,39}{145,14} \leq 0,56$$

$$0,4716 \leq 0,55$$

Puesto que cumple ambos requisitos de diseño se considera a la sección como satisfactoria, además se procede al análisis de la sección óptima para diseñar la estación:

SECCIÓN	M [kg.m]	c [m]	Fe [MPa]	Cm	Fb [MPa]	fb [MPa]	fb/Fb
<b>TUBERÍA CIRCULAR</b>							
6 PULGADAS	1349	0,08415	275,10	0,85	145,14	101,14	0,6969
8 PULGADAS	1349	0,10955	466,23	0,85	145,14	45,83	0,3158
10 PULGADAS	1349	0,1365	723,78	0,85	145,14	23,68	0,1631
<b>TUBERÍA RECTANGULAR</b>							
200X100X3	1349	0,05	451,34	0,85	145,14	204,21	1,4069
200X150X4	1349	0,075	499,05	0,85	145,14	95,05	0,6549
250X150X4	1349	0,075	739,85	0,85	145,14	78,93	0,5438
250X200X5	1349	0,1	793,45	0,85	145,14	44,86	0,3091

Tabla 2.64 Análisis a flexión plano y-z

SECCIÓN	M [kg.m]	c [m]	Fe [MPa]	Cm	Fb [MPa]	fb [MPa]	fb/Fb
<b>TUBERÍA CIRCULAR</b>							
6 PULGADAS	871,77	0,08415	275,10	0,85	145,14	65,32	0,4501
8 PULGADAS	871,77	0,10955	466,23	0,85	145,14	29,60	0,2039
10 PULGADAS	871,77	0,1365	723,78	0,85	145,14	15,29	0,1053
<b>TUBERÍA RECTANGULAR</b>							
200X100X3	871,77	0,1	154,33	0,85	145,14	90,19	0,6214
200X150X4	871,77	0,1	320,64	0,85	145,14	52,59	0,3623
250X150X4	871,77	0,125	336,88	0,85	145,14	38,69	0,2665
250X200X5	871,77	0,125	563,26	0,85	145,14	25,71	0,1771

Tabla 2.65 Análisis a flexión plano x-y

SECCIÓN	$\frac{f_a}{F_a} + \frac{C_{mx}f_{bx}}{(1 - \frac{f_a}{F_{ex}})F_{bx}} + \frac{C_{my}f_{by}}{(1 - \frac{f_a}{F_{ey}})F_{by}} \leq 0,56$	$\frac{f_a}{0,6F_y} + \frac{f_{bx}}{F_{bx}} + \frac{f_{by}}{F_{by}} \leq 0,56$
<b>TUBERÍA CIRCULAR</b>		
6 PULGADAS	2,0223	1,6819
8 PULGADAS	0,8550	0,8354
10 PULGADAS	0,4639	0,4716
<b>TUBERÍA RECTANGULAR</b>		
200X100X3	16,1593	3,0482
200X150X4	1,9236	1,6748
250X150X4	1,5121	1,3840
250X200X5	0,9166	0,8951

Tabla 2.66 Resumen del análisis a flexo-compresión

Fuente: Propia

De donde se selecciona la sección tubular circular de 10 pulgadas cédula 40 la cual cumple con los requerimientos para el diseño de esta parte importante de la estación de llegada.

## 2.8.6 DISEÑO DE LA COLUMNA SECUNDARIA

El diseño de la columna secundaria se realiza de manera similar al apartado anterior mediante el programa SAP 2000 se describen las fuerzas actuantes sobre el sistema:

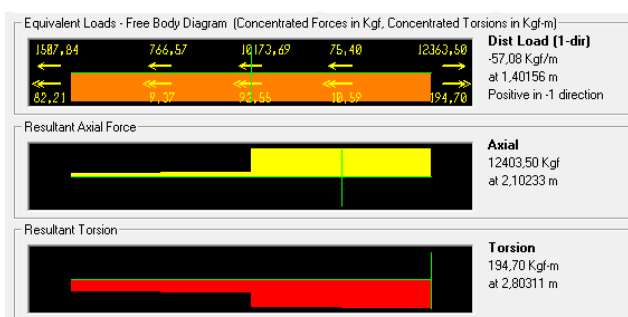


Figura 2.59 Diagrama de esfuerzos a compresión y-z

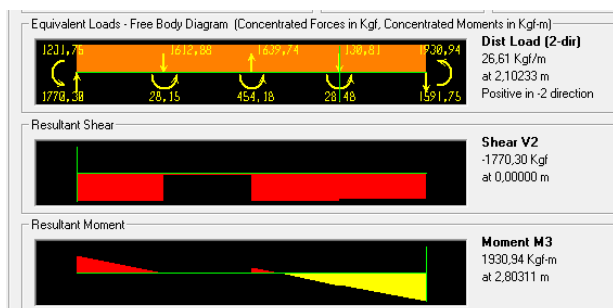


Figura 2.60 Diagrama de fuerza cortante y momento flector y-z



Figura 2.61 Diagrama de fuerza cortante y momento flector x-z

De donde se procede a analizar las fuerzas actuantes sobre la columna para determinar la sección que cumpla con los requisitos de diseño establecidos.

TUBERÍA CIRC.	L [m]	Peso [kg/m]	D <sub>ext</sub> [m]	D <sub>int</sub> [m]	t [m]	A [m <sup>2</sup> ]	I <sub>y</sub> [m <sup>4</sup> ]	I <sub>x</sub> [m <sup>4</sup> ]	r <sub>y-y</sub> [m]	λ
6 PULG.	1,4	28,26	0,1683	0,1551	0,0066	3,4E-03	1,1E-05	1,1E-05	5,7E-02	49
8 PULG.	1,4	42,53	0,2191	0,2019	0,0086	5,7E-03	3,2E-05	3,2E-05	7,5E-02	38
10 PULG.	1,4	60,29	0,273	0,2515	0,0108	8,9E-03	7,6E-05	7,6E-05	9,3E-02	30
TUBERÍA RECT.	L [m]	Peso [kg/m]	D <sub>ext</sub> [m]	D <sub>int</sub> [m]	t [m]	A [m <sup>2</sup> ]	I <sub>y</sub> [m <sup>4</sup> ]	I <sub>x</sub> [m <sup>4</sup> ]	r <sub>y-y</sub> [m]	λ
200X100X3	1,4	14,62	0,2	0,1	0,003	1,8E-03	3,2E-06	9,5E-06	7,3E-02	65
200X150X4	1,4	23,4	0,2	0,15	0,004	2,7E-03	1,0E-05	1,6E-05	7,7E-02	45
250X150X4	1,4	26,6	0,25	0,15	0,004	3,1E-03	1,3E-05	2,8E-05	9,4E-02	44
250X200X5	1,4	36,66	0,25	0,2	0,005	4,4E-03	3,0E-05	4,2E-05	9,7E-02	34

Tabla 2.67 Secciones de prueba para el tubo soporte inferior

Se tiene que  $C_c \geq \lambda$  por ello se analiza de manera similar a las anteriores:

SECCIÓN	C <sub>c</sub>	FS	P [kg]	Fa [MPa]	fa [MPa]	fa/Fa
<b>TUBERÍA CIRCULAR</b>						
6 PULGADAS	128	1,803	12403,5	124,36	36,19	0,2910
8 PULGADAS	128	1,774	12403,5	130,51	21,35	0,1636
10 PULGADAS	128	1,753	12403,5	134,13	13,74	0,1024
<b>TUBERÍA RECTANGULAR</b>						
200X100X3	128	1,841	12403,5	114,25	68,98	0,6038
200X150X4	128	1,794	12403,5	126,39	44,47	0,3519
250X150X4	128	1,791	12403,5	127,00	38,80	0,3055
250X200X5	128	1,764	12403,5	132,20	27,65	0,2092

Tabla 2.68 Análisis a compresión de las secciones

Solo en la sección de 10 pulgadas se puede aplicar la (Ec. 2.19), entonces se analiza las secciones respectivas usando las ecuaciones pertinentes para cada caso, además  $C_m$  se calcula considerando una viga empotrada en ambos extremos:

SECCIÓN	M [kg.m]	c [m]	Fe [MPa]	C <sub>m</sub>	Fb [MPa]	fb [MPa]	fb/Fb
<b>TUBERÍA CIRCULAR</b>							
6 PULGADAS	1930,24	0,08415	429,84	0,97	145,14	144,64	0,9965
8 PULGADAS	1930,24	0,10955	728,48	0,99	145,14	65,54	0,4516
10 PULGADAS	1930,24	0,1365	-----	-----	145,14	33,86	0,2333

TUBERÍA RECTANGULAR							
200X100X3	1930,24	0,05	705,22	0,96	145,14	292,02	2,0119
200X150X4	1930,24	0,075	779,76	0,98	145,14	135,93	0,9365
250X150X4	1930,24	0,075	1156,02	0,99	145,14	112,87	0,7776
250X200X5	1930,24	0,1	1239,76	0,99	145,14	64,15	0,4420

Tabla 2.69 Análisis a flexión plano y-z

SECCIÓN	M [kg.m]	c [m]	Fe [MPa]	Cm	Fb [MPa]	fb [MPa]	fb/Fb
<b>TUBERÍA CIRCULAR</b>							
6 PULGADAS	1112,03	0,08415	429,84	0,97	145,14	83,33	0,574
8 PULGADAS	1112,03	0,10955	728,48	0,99	145,14	37,76	0,260
10 PULGADAS	1112,03	0,1365	-----	-----	145,14	19,50	0,134
<b>TUBERÍA RECTANGULAR</b>							
200X100X3	1112,03	0,1	241,13	0,89	145,14	115,05	0,793
200X150X4	1112,03	0,1	501,00	0,96	145,14	67,08	0,462
250X150X4	1112,03	0,125	526,38	0,97	145,14	49,35	0,340
250X200X5	1112,03	0,125	880,10	0,99	145,14	32,80	0,226

Tabla 2.70 Análisis a flexión plano x-y

SECCIÓN	(Ec. 2.17) $\leq 0,56$	(Ec. 2.18) $\leq 0,56$	(Ec. 2.19) $\leq 0,56$
<b>TUBERÍA CIRCULAR</b>			
6 PULGADAS	1,9482	1,8199	-----
8 PULGADAS	0,8882	0,8588	-----
10 PULGADAS	-----	-----	0,47006
<b>TUBERÍA RECTANGULAR</b>			
200X100X3	3,7298	3,2798	-----
200X150X4	1,8116	1,7051	-----
250X150X4	1,4556	1,3850	-----
250X200X5	0,8876	0,8585	-----

Tabla 2.71 Resumen del análisis a flexo-compresión

De donde se selecciona el perfil de 10 pulgadas cédula 40 debido a que brinda las mejores condiciones de trabajo.



### 2.8.7 DISEÑO DEL TUBO SOPORTE DEL TREN DE POLEA GUIA

Se analizan las fuerzas actuantes sobre la estructura mediante el programa SAP 2000, observándose que la estructura está sometida principalmente a fuerzas de flexión en el plano x-z como se observa a continuación:

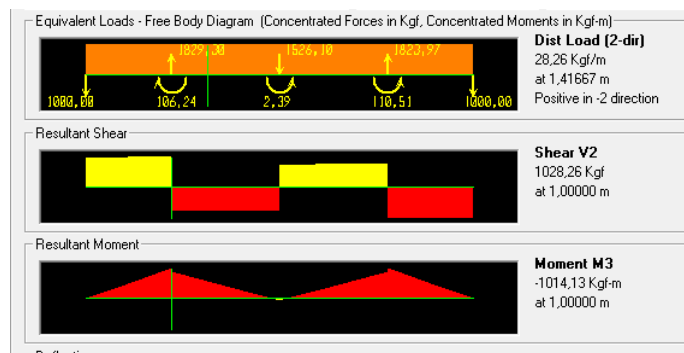


Figura 2.62 Diagrama de fuerza cortante y momento flector x-z

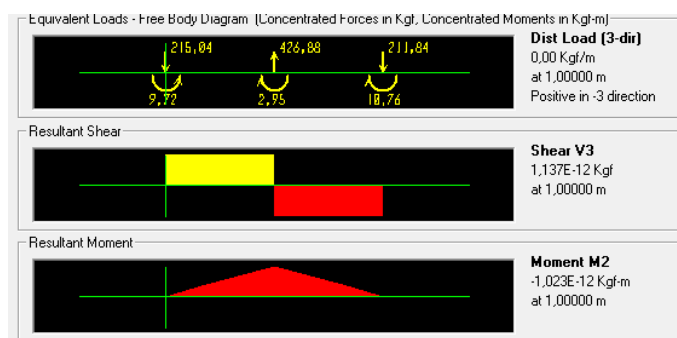


Figura 2.63 Diagrama de fuerza cortante y momento flector x-y

De donde se tiene las siguientes fuerzas actuantes sobre la estructura:

$$M_y = 0$$

$$M_z = 1014,13 \text{ [kg.m]}$$

$$F_v = 1028,26 \text{ [kg]}$$

De donde se procede al análisis en flexión de la estructura, con una sección de 6 pulgadas cédula 40:

$$f_{bz} = \frac{1014,13 \text{ kg.m}[\text{kg.m}] \times 0,08415[\text{m}]}{1,1e^{-5} [\text{m}^4]} = 76,1 [\text{MPa}]$$

Mediante se realiza el análisis respectivo y se determina que el elemento no es esbelto por lo cual:

$$F_{bx} = F_{by} = 0,6F_y = 145,14 [\text{MPa}]$$

$$\frac{f_{bz}}{F_{by}} \leq 0,56$$

$$\frac{76,1}{145,14} \leq 0,56$$

$$0,524 \leq 0,56$$

Con lo cual la sección satisface los requerimientos de diseño y se selecciona la misma para el tubo soporte del tren de polea guía.

Por último se procede a seleccionar las secciones adecuadas para la construcción de la estación de salida, de manera que tengan un diseño con nivel de seguridad satisfactorio y estéticamente agradable como se describe a continuación:

PARTE DE LA ESTACIÓN	TIPO	SECCIÓN SELECCIONADA
SOPORTE SUPERIOR	RECTANGULAR	250x150x4
SOPORTE INFERIOR	RECTANGULAR	250x200x5
COUMNA PRINCIPAL	CIRCULAR	10 PULGADAS CÉDULA 40
COLUMNA SECUNDARIA	CIRCULAR	10 PULGADAS CÉDULA 40
SOPORTE TREN DE POLEAS	CIRCULAR	6 PULGADAS CÉDULA 40

**Tabla 2.72** Resumen de secciones seleccionadas ara la estación de llegada

Para los rigidizadores se selecciona una tubería circular de 3 pulgadas cédula 40.

## CAPÍTULO 3

### 3 SISTEMA DE TRANSMISIÓN DE MOVIMIENTO.

#### 3.1 DEFINICIÓN.

El sistema de transmisión de movimiento del teleférico es el encargado de sostener y permitir el movimiento del cable así como de los vehículos de transporte a través de los diferentes tramos.

El sistema está constituido por los siguientes elementos:

- Tren de poleas.- Son los elementos ubicados en la parte superior de las torres de soporte, permiten absorber las deformaciones producidas en el cable debido al cambio de dirección, cuenta con poleas para mover el cable y así evitar su desgaste.
- Rueda motriz y de reenvío.- Son los elementos que se ubican en las estaciones para permitir la circulación permanente de los vehículos de transporte a través de la trayectoria.
- Eje motriz.- Es el elemento encargado de sostener la rueda, tanto motriz como de reenvío; además de permitir su rotación.
- Carro móvil.- Este elemento se ubica en la estación de salida, se encarga de sostener y permitir el desplazamiento de la rueda en función de la carga que se produzca en el cable por personas, equipaje etc.

#### 3.2 SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS.

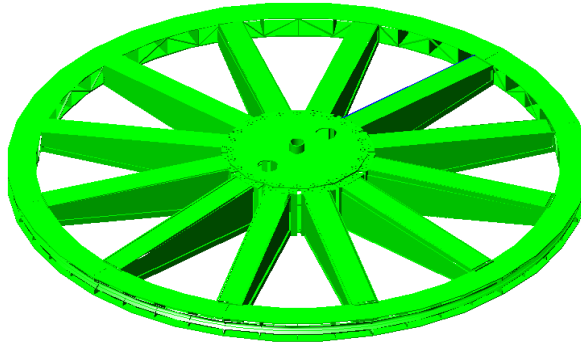
Utilizando el proceso descrito en el capítulo 2 se realiza la selección de la rueda motriz.

##### 3.2.1 SELECCIÓN DE LA RUEDA MOTRIZ.

###### 3.2.1.1 Alternativa 1: Rueda motriz 1

Esta alternativa de solución permite el desacople de los brazos de la rueda del elemento central que contiene el eje motriz, presenta 12 brazos de sección variable

similar a un tronco de pirámide los cuales son construidos mediante soldadura para su posterior ensamble mediante pernos.



**Figure 3.1** Esquema de la rueda motriz 1.<sup>18</sup>

### 3.2.1.2 Alternativa 2: Rueda motriz 2

Esta solución consiste en un solo conjunto que se acopla mediante un eje a la estructura de soporte, presenta 8 brazos de geometría rectangular, la construcción del conjunto en su totalidad es mediante soldadura.



**Figure 3.2** Esquema de la rueda motriz 2.

**Fuente:** Propia.

### 3.2.2 EVALUACIÓN DE ALTERNATIVAS.

Evaluated las características de las alternativas se realiza la selección utilizando el método ordinal corregido de criterios ponderados. Para el análisis se consideran los siguientes criterios de valoración:

<sup>18</sup> FLORES M., LARA O.; "Diseño y construcción de un teleférico turístico en la ciudad de Montecristi"; Tesis FIM-EPN; 2008.

Criterio	Costo	Facilidad de Construcción	Peso	Estética	Movilidad	Confiabilidad	$\Sigma+1$	Pond.
Costo		1	0.5	1	1	0.5	5	0.24
Facilidad de construcción	0		1	1	1	0.5	4.5	0.21
Peso	0.5	0		1	0.5	0.5	3.5	0.17
Estética	0	0	0		0	0.5	1.5	0.07
Movilidad	0	0	0.5	1		0	2.5	0.12
Confiabilidad	0.5	0.5	0.5	0.5	1		4	0.19
<b>Suma</b>							<b>21</b>	<b>1.00</b>

**Tabla 3.1** Evaluación de peso específico de cada criterio.

Fuente: Propia.

De la Tabla 3.1 se concluye que el peso específico de cada criterio esta en el siguiente orden.

Costo > Facilidad de construcción > Confiabilidad > Peso > Movilidad > Estética

Se procede a evaluar los pesos específicos para cada criterio:

- Evaluación del peso específico del criterio: **Costo**

Costo	Rueda Motriz 1	Rueda Motriz 2	$\Sigma+1$	Ponderación
Rueda Motriz 1		0	1	0.33
Rueda Motriz 2	1		2	0.67
<b>Suma</b>			<b>3</b>	<b>1.00</b>

**Tabla 3.2** Evaluación del peso específico del criterio costo.

- Evaluación del peso específico del criterio: **Facilidad de construcción**

Construcción	Rueda Motriz 1	Rueda Motriz 2	$\Sigma+1$	Ponderación
Rueda Motriz 1		0	1	0.33
Rueda Motriz 2	1		2	0.67
<b>Suma</b>			<b>3</b>	<b>1.00</b>

**Tabla 3.3** Evaluación del peso específico del criterio facilidad de construcción.

- Evaluación del peso específico del criterio: **Confiabilidad**

Confiabilidad	Rueda Motriz 1	Rueda Motriz 2	$\Sigma+1$	Ponderación
Rueda Motriz 1		0	1	0.33
Rueda Motriz 2	1		2	0.67
		<b>Suma</b>	3	1.00

Tabla 3.4 Evaluación del peso específico del criterio confiabilidad.

- Evaluación del peso específico del criterio: **Peso**

Peso	Rueda Motriz 1	Rueda Motriz 2	$\Sigma+1$	Ponderación
Rueda Motriz 1		0.5	1.5	0.50
Rueda Motriz 2	0.5		1.5	0.50
		<b>Suma</b>	3	1.00

Tabla 3.5 Evaluación del peso específico del criterio peso.

- Evaluación del peso específico del criterio: **Movilidad**

Movilidad	Rueda Motriz 1	Rueda Motriz 2	$\Sigma+1$	Ponderación
Rueda Motriz 1		0.5	1.5	0.50
Rueda Motriz 2	0.5		1.5	0.50
		<b>Suma</b>	3	1.00

Tabla 3.6 Evaluación del peso específico del criterio movilidad.

- Evaluación del peso específico del criterio: **Estética**

Estética	Rueda Motriz 1	Rueda Motriz 2	$\Sigma+1$	Ponderación
Rueda Motriz 1		0	1	0.33
Rueda Motriz 2	1		2	0.67
		<b>Suma</b>	3	1.00

Tabla 3.7 Evaluación del peso específico del criterio estética.

Considerando los valores obtenidos de la evaluación del peso específico para cada criterio se muestra la siguiente tabla de conclusiones.

Conclusión	Costo	Facilidad de construcción	Confiabilidad	Peso	Movilidad	Estética	$\Sigma$
Rueda Motriz 1	0.079	0.071	0.063	0.083	0.060	0.024	0.381
Rueda Motriz 2	0.159	0.143	0.127	0.083	0.060	0.048	0.619

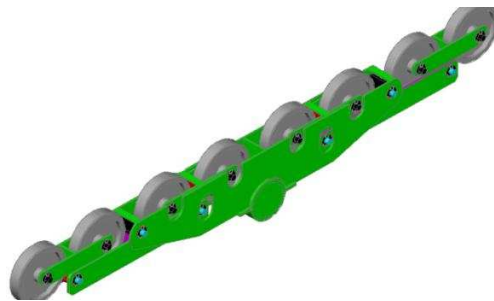
Tabla 3.8 Tabla de conclusiones para la selección de alternativas.

Del análisis se puede apreciar que la alternativa correspondiente a la rueda motriz 2 cumple en mayor porcentaje los criterios de valoración.

### 3.2.3 SELECCIÓN DEL TREN DE POLEAS.

#### 3.2.3.1 Alternativa 1: tren de poleas 1 (doble placa).

Esta solución es construida con elementos que corresponden a placas acopladas entre sí con procedimientos de soldadura. El acople de las ruedas con las estructura principal se realiza mediante un eje y la sujeción por medio de pines.



**Figura 3.1** Esquema del tren de poleas 1.<sup>19</sup>

#### 3.2.3.2 Alternativa 2: tren de poleas 2 (placa simple).

Esta solución se constituye únicamente de placas laterales sobre las cuales se apoyan los ejes en cantiléver formando un solo conjunto que soportan las poleas, las cuales se sujetan por medio de una placa falsa con arandelas de presión y pernos.



**Figura 3.2** Esquema del tren de poleas 2.

**Fuente:** Propia.

<sup>19</sup> FLORES M., LARA O.; "Diseño y construcción de un teleférico turístico en la ciudad de Montecristi"; Tesis FIM-EPN; 2008.

### 3.2.4 EVALUACIÓN DE ALTERNATIVAS.

En base a los anteriores criterios de evaluación se determina el peso específico de cada criterio.

Criterio	Costo	Facilidad de Construcción	Peso	Estética	Confiabilidad	$\Sigma+1$	Pond.
<b>Costo</b>		1	0.5	1	0.5	4.0	0.27
<b>Facilidad de construcción</b>	0		1	1	0.5	3.5	0.23
<b>Peso</b>	0.5	0		1	0.5	3.0	0.20
<b>Estética</b>	0	0	0		0.5	1.5	0.10
<b>Confiabilidad</b>	0.5	0.5	0.5	0.5		3.0	0.20
					<b>Suma</b>	<b>15</b>	<b>1.00</b>

Tabla 3.9 Evaluación del peso específico de cada criterio.

Fuente: Propia.

De la Tabla 3.9 se concluye que el peso específico de cada criterio esta en el siguiente orden.

Costo > Facilidad de construcción > Confiabilidad = Peso > Estética

Se procede a evaluar los pesos específicos para cada criterio:

- Evaluación del peso específico del criterio: **Costo**

Costo	Tren de poleas 1	Tren de poleas 2	$\Sigma+1$	Ponderación
<b>Tren de poleas 1</b>		0	1	0.33
<b>Tren de poleas 2</b>	1		2	0.67
		<b>Suma</b>	<b>3</b>	<b>1.00</b>

Tabla 3.10 Evaluación del peso específico del criterio costo.

- Evaluación del peso específico del criterio: **Facilidad de construcción**

Construcción	Tren de poleas 1	Tren de poleas 2	$\Sigma+1$	Ponderación
<b>Tren de poleas 1</b>		0	1	0.33
<b>Tren de poleas 2</b>	1		2	0.67
		<b>Suma</b>	<b>3</b>	<b>1.00</b>

Tabla 3.11 Evaluación del peso específico del criterio facilidad de construcción.



- Evaluación del peso específico del criterio: **Confiabilidad**

Confiabilidad	Tren de poleas 1	Tren de poleas 2	$\Sigma+1$	Ponderación
Tren de poleas 1		0.5	1.5	0.50
Tren de poleas 2	0.5		1.5	0.50
		<b>Suma</b>	3	1.00

Tabla 3.12 Evaluación del peso específico del criterio confiabilidad.

- Evaluación del peso específico del criterio: **Peso**

Peso	Tren de poleas 1	Tren de poleas 2	$\Sigma+1$	Ponderación
Tren de poleas 1		0.5	1.5	0.50
Tren de poleas 2	0.5		1.5	0.50
		<b>Suma</b>	3	1.00

Tabla 3.13 Evaluación del peso específico del criterio peso.

- Evaluación del peso específico del criterio: **Estética**

Estética	Tren de poleas 1	Tren de poleas 2	$\Sigma+1$	Ponderación
Tren de poleas 1		0	1	0.33
Tren de poleas 2	1		2	0.67
		<b>Suma</b>	3	1.00

Tabla 3.14 Evaluación de peso específico del criterio estética.

Considerando los valores obtenidos de la evaluación del peso específico para cada criterio se muestra la siguiente tabla de conclusiones.

Conclusión	Costo	Facilidad de construcción	Confiabilidad	Peso	Estética	$\Sigma$
Tren de poleas 1	0.09	0.08	0.1	0.03	0.03	0.4
Tren de poleas 2	0.18	0.16	0.1	0.07	0.07	0.6

Tabla 3.15 Tabla de conclusiones para la selección de alternativas.

Fuente: Propia

Del análisis se puede apreciar que la alternativa correspondiente al tren de poleas 2 cumple en mayor porcentaje los criterios de valoración.

**NOTA:** El análisis de selección de alternativas del presente capítulo solamente se realiza para la rueda motriz y el tren de poleas puesto que los demás elementos del

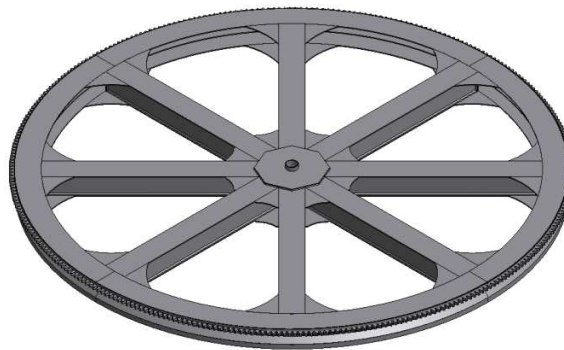
sistema no presentan opciones que difieran de manera significativa en su geometría, funcionalidad, aspectos constructivos entre otros.

### **3.3 DISEÑO DEL SISTEMA DE TRANSMISIÓN DE MOVIMIENTO.**

#### **3.3.1 DISEÑO DE LAS RUEDAS MOTRIZ Y DE REENVÍO.**

Estos elementos son los encargados de transmitir el movimiento al cable desde el sistema de potencia. Las ruedas, tanto de la estación de llegada como de salida, presentan una geometría análoga que constan básicamente de las siguientes partes:

- Canal exterior.
- Brazos o extremidades.
- Soporte interior de acople.



**Figura 3.3** Elementos principales de la rueda motriz.

**Fuente:** Propia.

##### **3.3.1.1 Consideraciones de diseño.**

- La estructura de la polea soporta una presión distribuida en la semicircunferencia producida por la tensión de 14 toneladas presente en el cable correspondiente a las cargas de peso propio del cable, peso de personas, peso de sillas dobles y carga de viento.
- El diámetro de la polea óptimo permite evitar la fatiga por efecto de doblado del cable alrededor de la polea.
- El dimensionamiento del canal exterior evita que exista un posible descarrilamiento del cable al envolverse en la rueda por efectos de vientos,

además que garantiza el factor de seguridad a la flexión producida por la presión distribuida.

- El dimensionamiento de los brazos o extremidades de la rueda garantiza el factor de seguridad a los efectos de compresión y flexión producidos por la tensión del cable.
- El soporte de acople permite un ensamble fácil de la rueda a la estructura soporte, además garantiza la seguridad a los efectos de compresión y torsión que se producen sobre este elemento.
- El dimensionamiento del eje verifica la seguridad a efectos tanto estáticos como dinámicos que se presenten sobre este elemento.

### 3.3.1.2 Determinación del diámetro óptimo de la polea motriz.<sup>20</sup>

Realizado una selección tentativa de un cable con base a la resistencia estática, es necesario asegurarse de que la duración útil del cable y de la polea cumple ciertos requisitos. Cuando un cable cargado se flexiona o dobla sobre una polea, el elemento se estira como un resorte lo que provoca que friccionen contra la garganta de la polea originándose así desgaste del cable y de la ranura de la polea, esta presión se denomina presión de apoyo. Una buena estimación de esta presión esta dada por:

$$P = \frac{2 \cdot F}{D \cdot d}$$

(Ec. 3.1)

Donde:

$P$ : Presión de apoyo, [ $klb/in^2$ ]

$d$  Diámetro del cable, [ $in$ ]

$D$ : Diámetro de la polea, [ $in$ ]

$F$ : Carga de tensión máxima aplicada en el cable, [ $klb$ ]

---

<sup>20</sup> SHIGLEY J.; "Diseño en Ingeniería Mecánica"; Editorial McGraw-Hill; Octava edición; México; 2006; Págs. 899-902.

Se puede obtener para un cable metálico un diagrama de fatiga no muy distinto de un diagrama S-N. En la figura 3.16 se muestra la gráfica que permite determinar la relación  $(P/S_u)$  para distintos tipos de cables en función del número de flexiones que se presentan en la vida total del cable.

La curva implica que un cable metálico tiene un límite de fatiga. Un cable metálico que se emplea sobre poleas con el tiempo fallará ya sea por fatiga o por desgaste. Sin embargo, la gráfica no muestra que el cable tendrá una larga vida si la relación  $(P/S_u)$  es menor que 0.001, por lo tanto se tiene:

$$S_u = \frac{2000 \cdot F}{D \cdot d}$$

(Ec. 3.2)

Donde:

$S_u$ : Resistencia última del alambre, [klb]

De la ecuación 3.2 dividiendo entre la resistencia última de los alambres y despejando  $F$  se tiene:

$$F_f = \frac{(P/S_u) \cdot S_u \cdot d \cdot D}{2}$$

(Ec. 3.3)

Donde:

$F_f$ : Tensión permisible a la fatiga cuando el alambre se flexiona un cierto número de veces, [klb]

Por lo tanto el factor de seguridad a fatiga se define como:

$$n_f = \frac{F_f - F_b}{F_t}$$

(Ec. 3.4)

Donde:

$F_t$ : Carga de tensión máxima aplicada en el cable, [klb]

$F_b$ : Carga equivalente de flexión del cable, [klb]

$$F_b = \frac{E_r \cdot d_w \cdot A_m}{D}$$

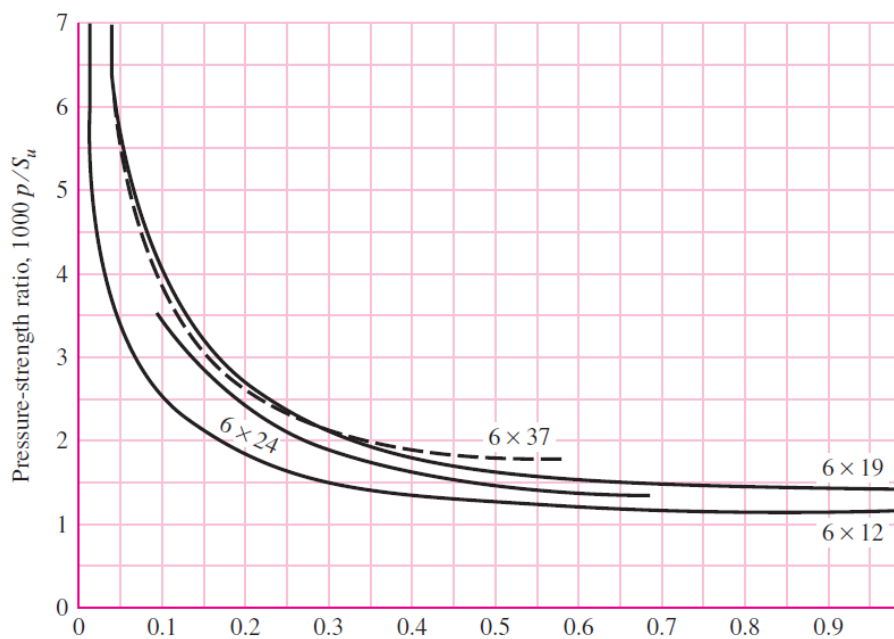
(Ec. 3.5)

Donde:

$E_r$ : Módulo de elasticidad del cable, [ksi]

$A_m$ : Sección transversal de metal en cada cable, [ $in^2$ ]

$d_w$ : Diámetro del alambre, [ $in^2$ ]



**Figura 3.4** Gráfico para determinar relación  $P/S_u$  vs. Número de ciclos para vida finita e infinita para 4 diferentes tipos de cables.

Cuando un cable metálico pasa alrededor de una polea se produce cierto acomodo de sus elementos. Cuando cada uno de los alambres y torones debe deslizarse uno sobre otro y, presumiblemente ocurre alguna flexión.

Es probable que en esta acción compleja se produzca cierta concentración de esfuerzos. En la tabla 3.16 se muestra propiedades utilizadas en cálculos para distintos cables determinados de forma experimental.

Cable metálico	Diámetro mínimo de polea $D_{min}$ , [in]	Diámetro deseable de polea $D_s$ , [in]	Área de metal del cable $A_m$ , [in <sup>2</sup> ]	Módulo de Young del cable $E_r$ , [psi]
<b>6X7</b>	42d	72d	0.38d <sup>2</sup>	13x10 <sup>6</sup>
<b>6x19</b>	30d	45d	0.40d <sup>2</sup>	12x10 <sup>6</sup>
<b>6x37</b>	18d	27d	0.40d <sup>2</sup>	12x10 <sup>6</sup>

**Tabla 3.16** Propiedades de distintos tipos de cables.

### 3.3.1.2.1 Consideraciones de cálculo.

- Se verifica el factor de seguridad a fatiga para el cable de diámetro de 1 1/8" que se determinó bajo verificación estática.
- El factor de diseño a fatiga se determina considerando que el cable en función de un adecuado mantenimiento y lubricación tiene un tiempo de vida máximo de 8 años, es decir transcurrido este tiempo el cable debe ser sustituido por otro de similares características.
- Se considera que el cable tiene dos flexiones durante un viaje, es decir existen 4 flexiones en cada hora, además el tiempo de trabajo corresponde a 250 días al año y 8 horas diarias.
- Se toman los datos correspondientes a un cable 6x19 de la tabla 3.16 para determinar las propiedades del cable necesarias para el cálculo.

### 3.3.1.2.2 Cálculo.

Para el cálculo de este parámetro es importante determinar el número de flexiones hasta la rotura, es importante considerar que un ciclo corresponde a una flexión y enderezamiento alrededor de la rueda. Entonces:

$$N = 4.2 \left[ \frac{\text{flexiones}}{h} \right] \times 8 \left[ \frac{h}{\text{dia}} \right] \times 250 \left[ \frac{\text{dia}}{\text{año}} \right] \times 8[\text{año}]$$

$$N = 67200 [\text{flexiones}]$$

Para el diseño se toma:

$$N = 70000 [\text{flexiones}]$$

De las especificaciones del cable se conoce que:

ITEM	VALOR	UNIDAD
Tipo.	6x19 (S)+IWRC	
Diámetro del cable.	1 1/8	pulgada
Fuerza última de rotura del cable.	130000	lb.
Diámetro del alambre.	0.0907	pulgada
Esfuerzo último de tensión del cable.	253000	psi

Tabla 3.17 Especificaciones del cable.

Fuente: DSR Wire Corp.

De la tabla 3.17 se determina lo siguiente:

$$D_{min} = 30 \times 1.125 = 33.75 [in]$$

$$D_{min} = 45 \times 1.125 = 50.63 [in]$$

$$A_m = 0.40 \times (1.125^2) = 0.51 [in^2]$$

De la figura 3.16 en función del número de flexiones hasta la rotura y el tipo de cable se determina la relación  $P/S_u$  aproximadamente igual a 0.0045. Por lo tanto utilizando la ecuación 3.3 se tiene:

$$F_f = \frac{0.0045 \times 253[ksi] \times 1.125[in] \times 39.4[in]}{2} = 25.2 [klb]$$

$$F_b = \frac{12000[ksi] \times 0.0907[in] \times 0.51 [in^2]}{39.4[in]} = 14 [klb]$$

Utilizando la ecuación 3.4 se determina el factor de seguridad a fatiga en función del diámetro.

$$F_t = 26.4 [klb]$$

$$n_f = \frac{25.2 [klb] - 14 [klb]}{26.4 [klb]} = 0.4$$

Por lo tanto para el diámetro dado el cable falla dinámicamente.

En la Tabla 3.18 se verifica el factor de seguridad para diferentes diámetros de la rueda.

$d[in]$	$d_w[in]$	$D[in]$	$A_m[in^2]$	$E_r[ksi]$	$Fb[klb]$	$Su[ksi]$	$P/Su$	$Ff[klb]$	$Ft[klb]$	$n_f$
1.125	0.0907	39.4	0.5063	12000	14.0	253.0	0.0055	30.8	26.4	0.6
1.125	0.0907	59.1	0.5063	12000	9.3	253.0	0.0055	46.2	26.4	1.4
1.125	0.0907	78.7	0.5063	12000	7.0	253.0	0.0055	61.6	26.4	2.1
1.125	0.0907	98.4	0.5063	12000	5.6	253.0	0.0055	77.0	26.4	2.7
1.125	0.0907	118.1	0.5063	12000	4.7	253.0	0.0055	92.4	26.4	3.3
1.125	0.0907	137.8	0.5063	12000	4.0	253.0	0.0055	107.9	26.4	3.9
1.125	0.0907	157.5	0.5063	12000	3.5	253.0	0.0055	123.3	26.4	4.5
1.125	0.0907	177.2	0.5063	12000	3.1	253.0	0.0055	138.7	26.4	5.1
1.125	0.0907	196.9	0.5063	12000	2.8	253.0	0.0055	154.1	26.4	5.7

**Tabla 3.18** Factor de seguridad a fatiga para distintos diámetros de la rueda.

**Fuente:** Propia.

Se observa que para un valor de 177.2 in, (4.5 m) se tiene un factor de seguridad de 5.1 que se considera como aceptable puesto que los parámetros de cálculo están sobredimensionados. Con este diámetro se evita el efecto de fatigamiento del cable durante su periodo de vida.

De manera similar considerando que en este país no se dispone de un normativo para la construcción sistemas de transporte por cable se toma un criterio de las normativas de uso y manejo de cables española (NTP 155)<sup>21</sup> la cual manifiesta que: El diámetro de la rueda polea debe ser mayor o igual a 30 veces el diámetro del cable, y 300 veces mayor o igual al diámetro del alambre. Por lo tanto el valor de 4.5 m de diámetro para la rueda motriz y la de retorno cumple con los requerimientos anteriores con un factor de seguridad de 5.25 y 6.5 respectivamente. Se realiza esta verificación debido a la importancia de garantizar la seguridad del cable de trabajo, además ya en la práctica es necesario insistir la revisión periódica, la lubricación y los procedimientos adecuados de mantenimiento durante el tiempo de servicio.

<sup>21</sup> <http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/FichasTecnicas/NTP/Ficheros/101a200/>



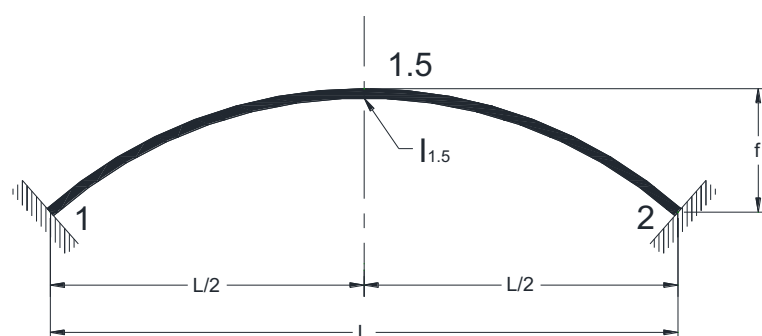
### 3.3.1.3 Diseño del canal exterior.

#### 3.3.1.3.1 Análisis de estructuras con miembros curvos.<sup>22</sup>

El estudio de miembros estructurales curvos se basa principalmente en elementos con ejes parabólicos, por ejemplo en un segmento de un miembro donde relación de la flecha al claro es pequeña, esto es en un miembro de curvatura rebajada con su eje definido por un arco de círculo puede considerarse que la curvatura del arco se aproxima a la de una parábola y por lo tanto una solución derivada para miembros de arco rebajado con eje parabólico son aplicables a miembros en arco rebajado con eje circular.

Los métodos de análisis para arcos han sido derivados mediante la aplicación de la teoría del trabajo virtual, considerándose únicamente el efecto de la deformación por flexión. Los efectos de la deformación por esfuerzo cortante y de la deformación axial no son considerados, dado que su contribución a la energía total de deformación es insignificante. Cuando el arco tiene una mayor relación entre la flecha y la cuerda, superior a 0.2 la deformación axial y su efecto puede despreciarse en este caso se utiliza un método determinado. Cuando la relación es inferior a 0.2, se justifica la mayor precisión en los cálculos y se recomienda el uso de un método alternativo.

#### 3.3.1.3.2 Notación, coordenadas y constantes de arcos parabólicos simétricos sin articulaciones.



**Figura 3.5** Notación para arcos parabólicos sin articulación.

<sup>22</sup> LEONTOVICH VALERIAN; "Pórticos y arcos"; Editorial Continental S.A.; Sexta edición; México; 1974; Págs.151-153,177-178,186-187,510.

En la figura 3.5 se muestra la notación para un arco parabólico simétrico donde el eje del arco es una parábola simétrica.

Donde:

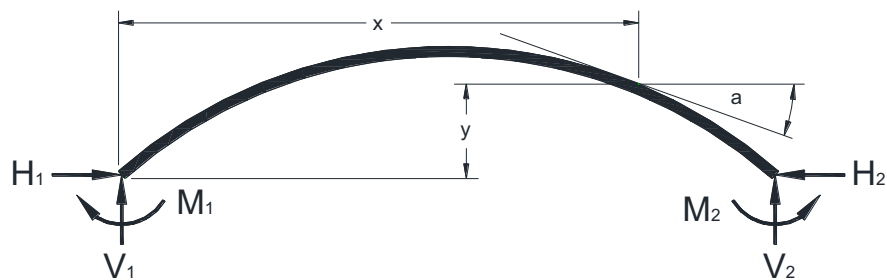
L: Luz o claro del miembro curvo.

f: Flecha del miembro curvo.

I: Momento de inercia de la sección transversal.

Puntos 1,2: Empotramientos.

Punto 1.5: Corona del arco.



**Figura 3.6** Coordenadas para arcos parabólicos simétricos sin articulación.

En la figura 3.8 se muestra las direcciones positivas de las componentes horizontal y vertical de las reacciones del arco. Se define también el ángulo de inclinación y las coordenadas en cualquier sección de un arco.

Los ángulos de inclinación y las coordenadas solo se consideran en sentido positivo.

Donde:

$H_1, H_2$ : Reacción horizontal en el empotramiento 1 y 2 respectivamente.

$V_1, V_2$ : Reacción vertical en el empotramiento 1 y 2 respectivamente.

a: Angulo de inclinación.

Como se manifestó con anterioridad para análisis en el que necesita una mayor precisión es necesario considerar la siguiente variable:

Constante de arco:

$$G = \frac{d_{1.5}^2 \cdot \tau}{f^2}$$

(Ec. 3.6)

Donde:

$d_{1.5}$ : Espesor del arco en la corona.

$\tau$ : Constante numérica.

Para determinar el valor de la constante numérica ( $\tau$ ) se considera la relación de arco  $f/L$  en los valores correspondientes a arcos de sección constante, como se muestra a continuación:

Relación de arco $f/L$	0.00	0.05	0.10	0.15	0.20	0.25	0.30
Constante $\tau$	0.937	0.926	0.893	0.845	0.791	0.737	0.684

**Tabla 3.19** Valores de constantes de arcos de sección constante.

### 3.3.1.3.3 Cargas de diseño.

Debido a la tensión en el cable en el canal exterior se produce una presión distribuida en su semicircunferencia dada por:

$$P_{resion} = \frac{2 \cdot F_t}{D_r \cdot D_s}$$

(Ec. 3.7)

Considerando que el diseño se va a determinar para un cuarto de circunferencia, el área proyectada corresponde a:

$$A = \frac{D_r \cdot D_s}{4}$$

(Ec. 3.8)

Entonces la carga equivalente que se aplica al elemento corresponde a:

$$P = \frac{F_t}{2}$$

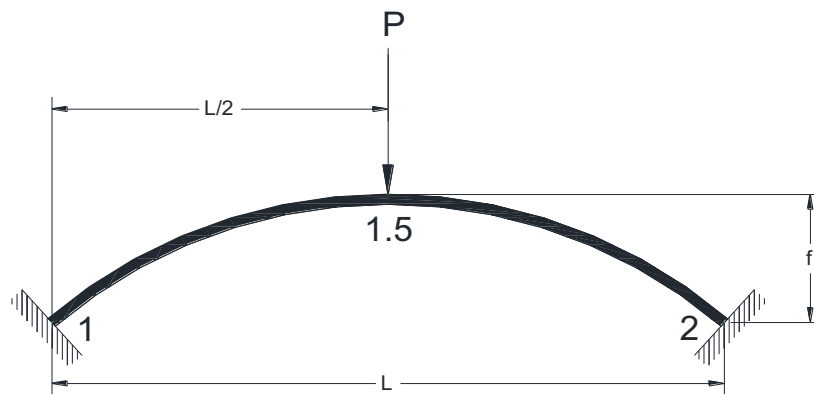
(Ec. 3.9)

Obteniendo los valores geométricos correspondientes a la fecha y luz del arco se determina:

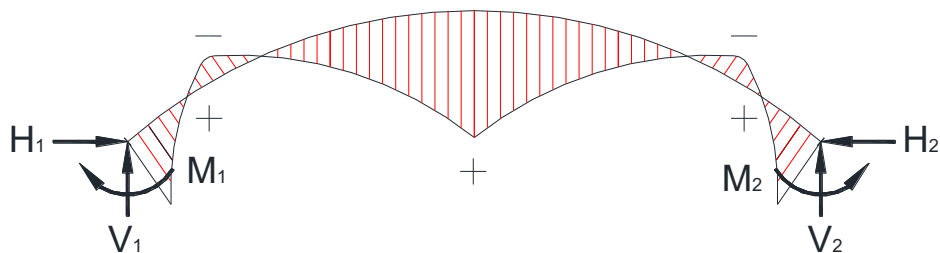
$$\frac{f}{L} = \frac{25.94 [in]}{125.28 [in]} = 0.21$$

De los párrafos anteriores, esta relación es ligeramente mayor a 0.2 donde las deformaciones axiales y por cortante se pueden considerar despreciables.

Para el cálculo se va a considerar un arco con carga vertical concentrada en la corona como se muestra en la figura 3.9:



**Figura 3.7** Arco con carga vertical concentrada en la corona.



**Figura 3.8** Diagrama de momento flector resultantes sobre el arco.

Los momentos y las fuerzas axiales en las secciones correspondientes a la mitad derecho del arco, son idénticos a los de la mitad izquierda. Las fuerzas cortantes en las secciones correspondientes de la mitad derecha tienen los mismos valores numéricos que las de la mitad izquierda pero tienen signos contrarios.

Estos valores se determinan mediante las siguientes expresiones:

$$M_1 = M_2 = \frac{PL}{32}$$

(Ec. 3.10)

$$M_{1.5} = \frac{3PL}{64}$$

(Ec. 3.11)

$$H_1 = H_2 = \frac{15 PL}{64 f}$$

(Ec. 3.12)

$$V_1 = V_2 = \frac{P}{2}$$

(Ec. 3.13)

El esfuerzo real de flexión esta dado por la siguiente expresión:

$$f_b = \frac{M \cdot c}{I}$$

(Ec. 3.14)

Donde:

$f_b$ : Esfuerzos normales por flexión.

M: Momento flector máximo en la estructura.

c: Distancia del eje neutro a la fibra más alejada del elemento

I: Inercia de la sección transversal.

Al tratarse de un elemento curvo será importante recordar que el momento de flexión se calcula con respecto al eje centroidal y no con relación al eje neutro, en este caso el análisis se lo realiza con respecto al eje neutro es decir como una viga recta debido a que el radio de curvatura del arco es lo suficientemente grande en comparación con la altura de la sección.

A pesar de esto es necesario garantizar un adecuado factor de seguridad con el fin de corregir las inexactitudes que esta aproximación conlleva en el cálculo.<sup>23</sup>

---

<sup>23</sup> SHIGLEY JOSEPH; "Manual de Diseño Mecánico"; Editorial Mc Graw-Hill; Cuarta edición; México; 1989; Pág. 89.

El factor de seguridad corresponde a:

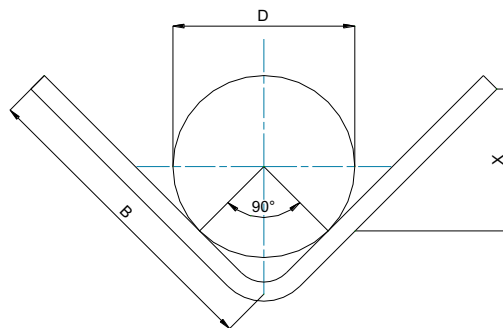
$$n = \frac{S_y}{f_b}$$

(Ec. 3.15)

#### 3.3.1.3.4 Consideraciones de diseño.

Es necesario garantizar el correcto posicionamiento del cable dentro de la canaleta para evitar el descarrilamiento por efectos de viento. Según normativas para la fabricación e instalación de teleféricos se establece la colocación de un revestimiento para producir un adecuado ángulo de contacto entre el cable y la canaleta.

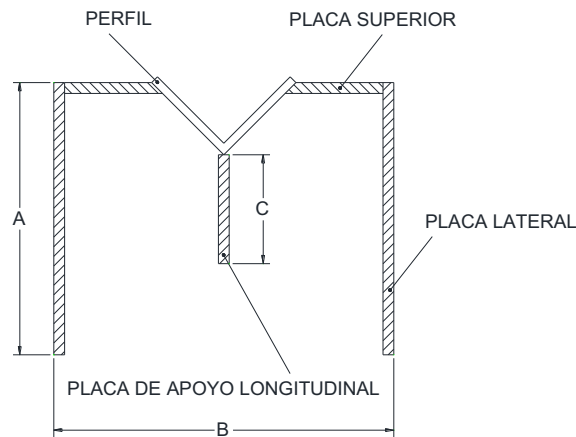
En el proceso constructivo se utiliza un perfil L con un revestimiento de caucho para evitar el desgaste de cable. Para garantizar el apoyo lateral suficiente, se recomienda que la canaleta debe cubrir al menos el 75% del diámetro del cable, es decir de acuerdo a la figura 3.11 la relación  $x/D$  es 0.75, donde  $x$  se refiere a la profundidad de la ranura,  $D$  al diámetro del cable y  $B$  es la longitud del ala del perfil.<sup>24</sup>



**Figura 3.9** Dimensionamiento del perfil de apoyo.

El área transversal resistiva del arco corresponde a una sección armada por varios elementos mediante soldadura, por lo que en este caso el momento de inercia corresponde al dado por esta sección. El momento de inercia del perfil de apoyo corresponde a la inercia mínima que se presenta cuando los ejes han sido rotados un ángulo de 45°.

<sup>24</sup> [http://www.emsd.gov.hk/emsd/e\\_download/pps/ar/ar\\_cop\(2002\\_edition\)\(first\\_revision\)E.pdf](http://www.emsd.gov.hk/emsd/e_download/pps/ar/ar_cop(2002_edition)(first_revision)E.pdf)



**Figura 3.10** Sección transversal del canal exterior.

**Fuente:** Propia.

Para el dimensionamiento de la sección transversal se realiza un proceso iterativo para determinar los valores mostrados en la figura 3.12 hasta obtener un factor de seguridad adecuado.

#### 3.3.1.3.5 Cálculo.

A partir de las expresiones obtenidas en las cargas y las consideraciones de diseño se obtiene el factor de seguridad

$$M_1 = M_2 = \frac{15.4 \text{ [klb]} \times 125.28 \text{ [in]}}{32} = 60.3 \text{ [klb.in]}$$

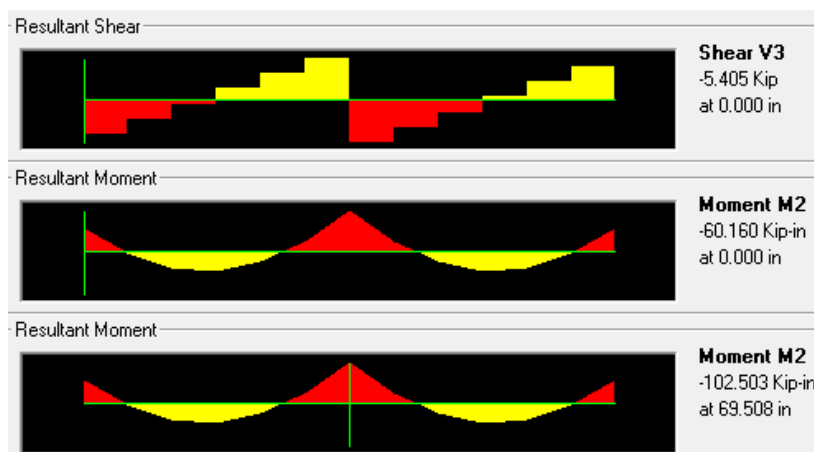
$$M_{1.5} = \frac{3 \times 15.4 \text{ [klb]} \times 125.28 \text{ [in]}}{64} = 90.4 \text{ [klb.in]}$$

$$H_1 = H_2 = \frac{15}{64} \times \frac{15.4 \text{ [klb]} \times 125.28 \text{ [in]}}{25.94 \text{ [in]}} = 17.43 \text{ [klb]}$$

$$V_1 = V_2 = \frac{15.4 \text{ [klb]}}{2} = 7.7 \text{ [klb]}$$

Como se manifestó anteriormente estos valores se determinan considerando un arco de un cuarto de circunferencia, se realiza una validación de los resultados mediante

el uso del análisis de elementos curvos realizado mediante el programa SAP2000 los cuales se muestran a continuación:



**Figura 3.11** Diagramas de cortante y momento flector en el arco exterior.

Fuente: SAP2000.

	Joint Text	OutputCase Text	CaseType Text	F1 Kip	F2 Kip	F3 Kip	M1 Kip-in	M2 Kip-in	M3 Kip-in
▶	5	Cable	LinStatic	16.959	7.716	0	0	0	-60.16
	6	Cable	LinStatic	-16.959	7.716	0	0	0	60.16

**Figura 3.12** Reaccione en los empotramientos del arco exterior.

Fuente: SAP2000.

Realizando una tabla comparativa de los resultados obtenidos se tiene:

ITEM	UNIDAD	RESULTADO		% ERROR
		MANUAL	SAP2000	
Momento en el empotramiento ( $M_1, M_2$ )	klb.in	60.3	60.16	0.23
Momento en la corona ( $M_{1,5}$ )	klb.in	90.4	102.5	11.8
Fuerzas axiales ( $H_1, H_2$ )	klb	17.43	16.96	2.7
Fuerzas cortantes ( $V_1, V_2$ )	klb	7.70	7.71	0.13

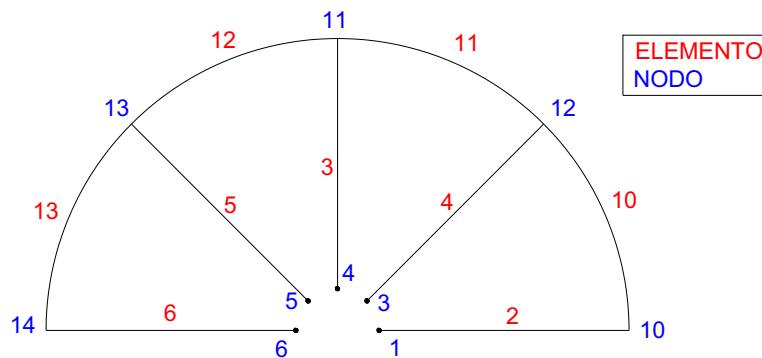
**Tabla 3.20** Tabla comparativa de resultados.

Fuente: Propia.

En conclusión de los valores obtenidos en la tabla 3.20 se puede validar los resultados. Para el diseño se tomarán los datos procedentes de la simulación de la



rueda. De acuerdo a la nomenclatura del programa SAP2000 se tiene la siguiente figura:

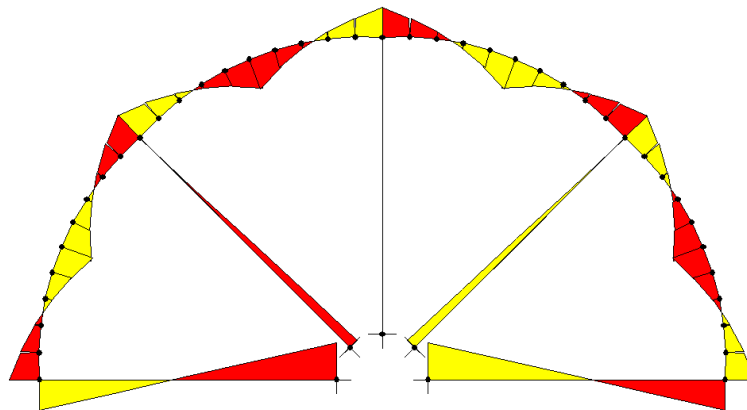


**Figura 3.13** Nomenclatura de análisis.

**Fuente:** SAP2000

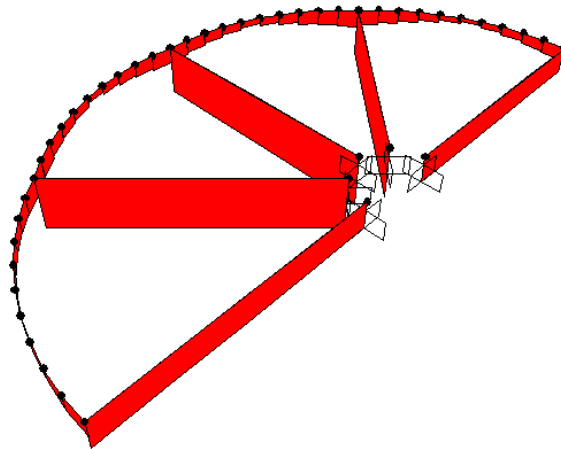
Para el análisis se toma como carga de diseño un valor de 5000 [kg], la cual corresponde al 0.36% de la tensión máxima producida en el cable, y es aplicada en el punto medio del arco entre dos brazos.

En base a estos parámetros se obtienen los siguientes resultados:



**Figura 3.14** Diagrama de momento flector presente en los elementos de la rueda.

**Fuente:** SAP2000



**Figura 3.15** Diagrama de carga axial presente en los elementos de la rueda.

Fuente: SAP2000.

De las figuras 3.16 y 3.17 se puede apreciar que la flexión máxima en los brazos se tiene para un ángulo de  $0^\circ$  mientras que la máxima compresión se tiene para  $45^\circ$ .

Elemento	Posición [m]	P [kgf]	V3 [kgf]	M2 [kgf-m]
2	0.00	-2192.91	1130.62	1208.98
	1.95			-995.74
3	0.00	-4207.67	1.18E-09	1.962E-09
	1.95			-3.401E-10
4	0.00	-4293.62	186.32	341.82
	1.95			-21.5
5	0.00	-4293.62	-186.32	-341.82
	1.95			21.5
6	0.00	-2192.91	-1130.62	-1208.98
	1.95			995.74

**Tabla 3.21** Tabla de resultados de fuerzas y momentos en los brazos de la rueda.

Fuente: SAP2000.

Se observa que la mayor carga axial se presenta en los brazos 4 y 5 que con respecto al brazo central son simétricos, mientras que el mayor momento flector se tiene en los brazos 2 y 6 que de igual manera presentan simetría con respecto al brazo central.

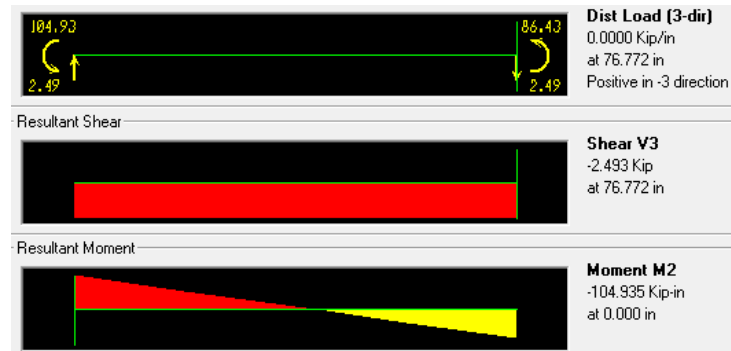


Figura 3.16 Carga máxima de flexión en el brazo 2 de la rueda.

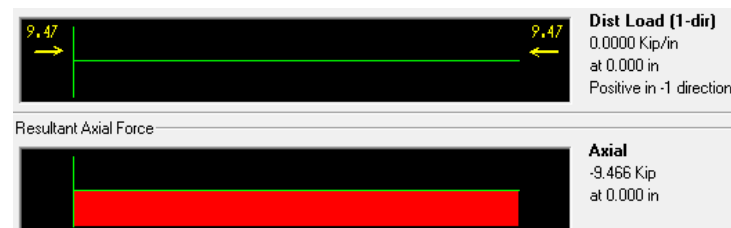


Figura 3.17 Carga axial máxima en el brazo 4 de la rueda.

Fuente: SAP2000.

De forma similar se presenta los resultados para los elementos que forman parte del canal exterior de la rueda.

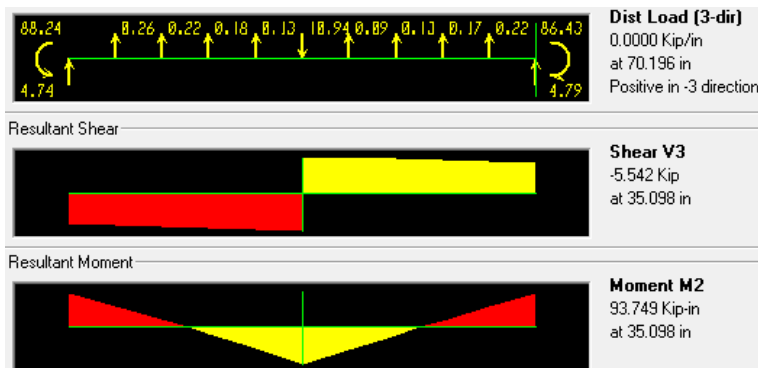


Figura 3.18 Carga máxima de flexión en el elemento curvo 10.

Fuente: SAP2000.

Posición	Momento flector [kg-m]			
	Elemento 10	Elemento 11	Elemento 12	Elemento 13
0	1016.62	-1038.13	1038.13	-1016.62
0.1783	633.16	-666.05	666.05	-633.16
0.3566	228.3	-269.51	269.51	-228.3
0.5349	-194.58	148.18	-148.18	194.58
0.71319	-631.93	583.52	-583.52	631.93
0.89149	-1080.11	1032.87	-1032.87	1080.11
1.06979	-643.87	600.99	-600.99	643.87
1.24809	-214.62	179.25	-179.25	214.62
1.42639	204.05	-228.82	228.82	-204.05
1.60469	608.62	-619.81	619.81	-608.62
1.78299	995.74	-990.46	990.46	-995.74

**Tabla 3.22** Tabla de resultados de momentos presentes en el canal exterior.

Fuente: SAP2000.

De los resultados obtenidos se concluye que la flexión máxima se presenta en el centro del elemento curvo 10 el cual es simétrico con el elemento 13.

Determinadas las cargas de diseño máxima presentes en los elementos de la estructura se procede a dimensionar la sección del canal exterior que garantice la seguridad del diseño se selecciona el perfil que cumpla con los requerimientos mínimos de diseño, es decir  $x/D = 0.75$ .

$$x = 0.75 \times 1.125 [in] = 0.843 [in]$$

$$B = \frac{D}{2} + \frac{x}{\text{sen}(45^\circ)} = \frac{1.125[in]}{2} + \frac{0.843[in]}{\text{sen}(45^\circ)} = 1.75 [in]$$

Por lo tanto del análisis mostrado se determina que un perfil L50x50x5 cumple con las especificaciones mínimas, por lo que el uso de uno de mayor longitud de ala permite mayor grado de confiabilidad es así que se selecciona un perfil en L75x75x6 además de placas de 8 mm de espesor cuyo material corresponde a un acero ASTM A-36 con las siguientes especificaciones:

NORMA	COMPOSICIÓN QUÍMICA						PROPIEDADES MECÁNICAS	
	%C	%MN	%P	%S	%Si	%Cu	Fluencia (Mpa)	Esfuerzo máximo (Mpa)
ASTM A36	0.25	0.8	0.04	0.05	0.4	0.2	250	400 Min.
	0.29	1.2	Máx.	Máx.	Máx.	Máx.	Min.	550 Máx.

**Tabla 3.23** Propiedades mecánicas del material.

Fuente: Catalogo DIPAC. (Anexo 3.3)

En la tabla 3.24 se muestran los factores de seguridad correspondientes a diferentes dimensiones de la sección transversal.

<i>A</i> [mm]	<i>B</i> [mm]	<i>C</i> [mm]	<i>I</i> [in <sup>4</sup> ]	<i>A</i> [in <sup>2</sup> ]	<i>c</i> [in]	<i>f<sub>a</sub></i> [ksi]	<i>S<sub>y</sub></i>	<i>n</i>
180	200	80	35.15	7.86	4.43	11.857	36.00	3.0
200	200	80	46.04	8.36	4.93	10.074	36.00	3.6
220	200	80	59.36	8.85	5.42	8.588	36.00	4.2
180	200	100	37.29	8.11	4.34	10.946	36.00	3.3
200	200	100	47.80	8.60	4.86	9.551	36.00	3.8
220	200	100	60.75	9.10	5.36	8.290	36.00	4.3
180	200	120	40.55	8.36	4.23	9.813	36.00	3.7
200	200	120	50.60	8.85	4.76	8.846	36.00	4.1
220	200	120	63.11	9.35	5.28	7.858	36.00	4.6

**Tabla 3.24** Factor de seguridad para la sección transversal.

Fuente: Propia.

Para el cálculo se toma el momento determinado en la tabla 3.22 equivalente a 94 [kip-in] y considerando que las fuerzas de dicho análisis se sobredimensionaron un 30% de la carga total se toman los resultados mostrados en la tabla 3.24 correspondientes a un factor de seguridad de 4.6 para el dimensionamiento del canal exterior.

### 3.3.1.4 Diseño de los brazos.

Los brazos de la rueda motriz son los elementos que sostiene el canal exterior y transmiten la carga al soporte central donde se aloja el eje.

### 3.3.1.4.1 Cargas de diseño.

Las cargas de diseño corresponden a los valores máximos tanto para flexión y compresión determinadas en el análisis anterior.



**Figura 3.19** Estado de carga crítica del brazo de la rueda.

**Fuente:** Propia

### 3.3.1.4.2 Consideraciones de diseño.

- El brazo se aproxima a una viga en cantiliver con dos planos de flexión, en el plano XZ se produce flexión por la carga H y el momento  $M_z$  y en el plano XY se tiene el efecto flexionante por la carga del peso propio W.
- La sección transversal es rectangular de dimensiones 220x200x8 mm por lo que se verificara que esta sección se adapta al criterio de seguridad.
- El material a utilizarse corresponde a un acero ASTM A-36.

### 3.3.1.4.3 Cálculo.

Utilizando el programa AUTOCAD se determinan las propiedades de la sección transversal como se muestra a continuación:

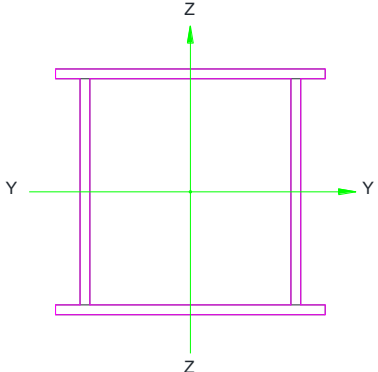
220x200x8 [mm]		Eje Z-Z		Eje Y-Y	
	<b>A [in<sup>2</sup>]</b>	10.02	<b>A [in<sup>2</sup>]</b>	10.02	
	<b>I<sub>Z</sub> [in<sup>4</sup>]</b>	86.46	<b>I<sub>Y</sub> [in<sup>4</sup>]</b>	97.94	
	<b>S<sub>Z</sub> [in<sup>3</sup>]</b>	21.94	<b>S<sub>Y</sub> [in<sup>3</sup>]</b>	22.62	
	<b>C<sub>Z</sub> [in]</b>	3.94	<b>C<sub>Y</sub> [in]</b>	4.33	
	<b>r<sub>Z</sub> [in]</b>	2.94	<b>r<sub>Y</sub> [in]</b>	3.13	
	<b>Longitud [in]</b>	76.8			

Figura 3.20 Sección transversal del brazo de la rueda.

Fuente: Propia

Para el cálculo se utiliza las expresiones detalladas en el capítulo 2 correspondientes a miembros sometidos a flexo-compresión.

$$C_c = \sqrt{\frac{2\pi^2 \times 200 \times 10^9 [Pa]}{250 \times 10^6 [Pa]}} = 126.1$$

$$\frac{KL}{r_{min}} = \frac{2 \times 76.8 [in]}{2.94 [in]} = 52.25$$

Se considera una columna con traslación y rotación, impedida en la base y libre en su otro extremo puesto que se constituye la condición más crítica. De lo que se cumple que:

$$\frac{KL}{r_{min}} < C_c$$

Por lo tanto se determina el esfuerzo admisible a carga axial o su equivalente del anexo 3.4.

$$F_a = 18.17 [ksi]$$

Se determina el esfuerzo real a compresión del elemento que corresponde a:

$$f_a = \frac{P}{A} = \frac{10 [klb]}{10.02 [in^2]} = 1 [ksi]$$

Entonces:

$$\frac{f_a}{F_a} = \frac{1 \text{ [ksi]}}{18.17 \text{ [ksi]}} = 0.05$$

De este resultado se tiene  $f_a/F_b \leq 0.15$ , entonces el diseño se enfoca al cumplir la siguiente expresión:

$$\frac{f_a}{F_a} + \frac{f_{bx}}{F_{bx}} + \frac{f_{by}}{F_{by}} \leq 1$$

Para determinar los esfuerzos admisibles es necesario calcular la relación  $l/r_T$  del patín de compresión para lo cual se utiliza la siguiente expresión:

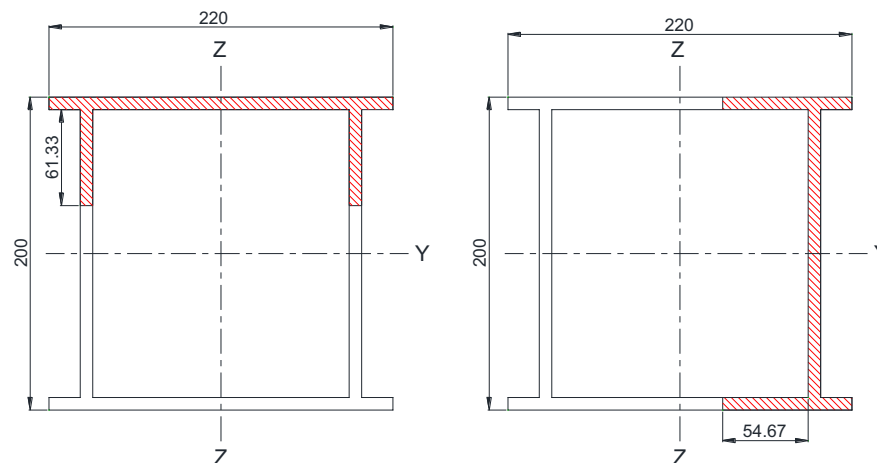
$$r_T = \sqrt{\frac{I_{SC}}{A_{SC}}}$$

(Ec. 3.16)

Donde:

$I_{SC}$ : Inercia de la sección comprimida.

$A_{SC}$ : Área de la sección comprimida.



**Figura 3.21** Sección de compresión en los planos de flexión.

**Fuente:** Propia.

Como se manifestó la sección comprimida comprende el patín de compresión más un tercio del alma de compresión, la cual tiene las siguientes propiedades:



	EJE Y-Y	EJE Z-Z
$A[in^2]$	4.23	4.33
$I[in^4]$	2.58	2.33
$r_T[in]$	0.78	0.73
$l/r_T$	98.46	105.2

**Tabla 3.25** Propiedades de la sección de compresión en los planos de flexión.

**Fuente:** Propia

Para el acero A-36 se tiene la siguiente expresión:

$$53\sqrt{C_b} < l/r_T < 119\sqrt{C_b}$$

Los valores de  $C_{bz}$  y  $C_{by}$  se toman como la unidad debido a la consideración de viga en voladizo.

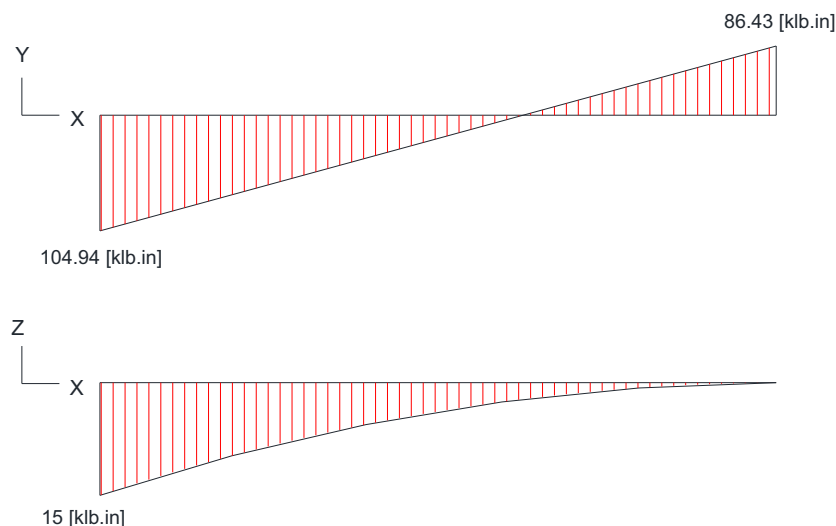
$$53 < l/r_T < 119$$

Entonces los esfuerzos admisibles utilizando la ecuación 3.26 serán:

$$F_{bz} = \left[ \frac{2}{3} - \frac{36(105.2)^2}{1530 \times 10^3} \right] \times 36 = 14.63 \text{ [ksi]}$$

$$F_{by} = \left[ \frac{2}{3} - \frac{36(98.46)^2}{1530 \times 10^3} \right] \times 36 = 15.78 \text{ [ksi]}$$

De acuerdo a las cargas actuantes sobre el elemento se determina los diagramas de momento flector en los planos de flexión.



**Figura 3.22** Diagramas de momento flector del brazo.

**Fuente:** Propia

Los esfuerzos reales por flexión se determinan mediante la siguiente expresión:

$$f_{bz} = \frac{104.94 \text{ [klb. in]}}{21.94 \text{ [in}^3\text{]}} = 4.78 \text{ [ksi]}$$

$$f_{by} = \frac{15 \text{ [klb. in]}}{22.62 \text{ [in}^3\text{]}} = 0.66 \text{ [ksi]}$$

Por lo tanto evaluando la ecuación de interacción se tiene:

$$\frac{f_a}{F_a} + \frac{f_{bx}}{F_{bx}} + \frac{f_{by}}{F_{by}} \leq 1$$

$$0.05 + \frac{4.78}{14.63} + \frac{0.66}{15.78} \leq 1.0$$

$$0.42 < 1.0$$

Se observa que el elemento analizado para el estado de carga de flexo-compresión presenta una resistencia del 0.42 de su capacidad total aceptándose el diseño.

### 3.3.1.5 Diseño del soporte interior.

El soporte interior de la rueda constituye el elemento capaz de sostener todo el conjunto formado por el canal exterior y los brazos de la rueda motriz, además que permite el acople con el sistema de eje y chumaceras.

#### 3.3.1.5.1 Criterio de Von Misses.<sup>25</sup>

También conocido como el de la máxima energía de distorsión se usa comúnmente para estimar el punto de fluencia de los materiales dúctiles.

Este criterio especifica que el material fluye si la energía de distorsión alcanza un valor máximo, el cual es igual a la energía de distorsión máxima encontrada en pruebas de tensión.

Se puede demostrar que para materiales inicialmente elásticos, la energía de deformación o distorsión es proporcional al esfuerzo de von Mises que se expresa como:

<sup>25</sup> <http://www.geociencias.unam.mx/~ramon/mecsol/Tema5.pdf>

$$\sigma_0 = \sqrt{\frac{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2}{2}}$$

(Ec. 3.17)

Donde:

$\sigma_0$ : Esfuerzo de Von Misses.

$\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$ : Esfuerzos principales

El criterio de Von Misses alude a que el cuerpo se comporta plásticamente cuando se alcanza el límite de fluencia del material. La cedencia del material se inicia cuando el esfuerzo de Von Mises alcanza la resistencia a la cedencia en tensión uniaxial y, para ciertos materiales continúa (hardening) mientras el esfuerzo de Von Misses tiende a aumentar.

#### 3.3.1.5.2 Consideraciones de diseño.

De acuerdo a las reacciones obtenidas mediante el programa SAP2000 se determina que el soporte interior soporta los efectos correspondientes a:

- Compresión.- Las reacciones verticales (V) comprimen la placa en cada punto de unión con el brazo.
- Torsión.- Este efecto es combinado por el momento flector (Mz) y el resultante de la fuerza horizontal (H) por el radio de la placa.
- Flexión.- Se produce por la carga correspondiente al peso propio de cada uno de los brazos de la rueda.

En el análisis de este elemento se utiliza una geometría determinada por lo que se comprueba su dimensionamiento mediante la simulación en el programa INVENTOR.

#### 3.3.1.5.3 Cargas de diseño.

Las cargas para este elemento corresponden a las reacciones en los apoyos de los brazos por efecto de la presión de apoyo, las cuales se muestran a continuación:

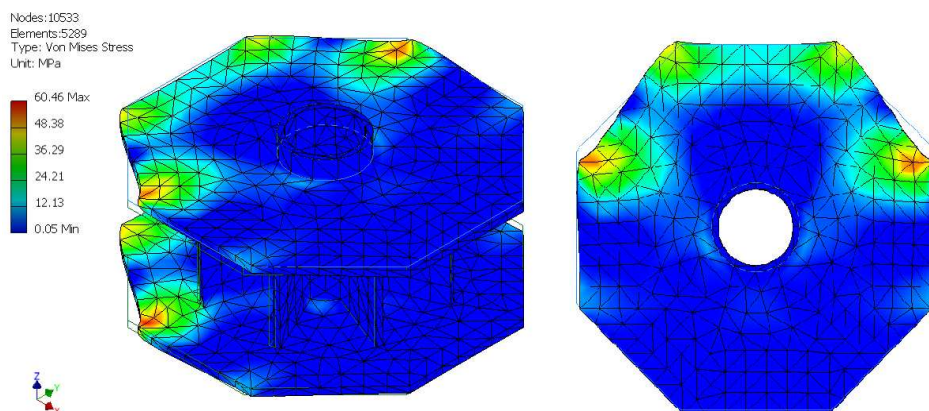
Junta	V [Kgf]	H [Kgf]	Mz[Kgf-m]
1	2192.91	1130.62	1208.98
3	4293.62	186.32	341.82
4	4207.67	1.181E-09	1.962E-09
5	4293.62	-186.32	-341.82
6	2192.91	-1130.62	-1208.98

**Tabla 3.26** Reacciones en las juntas del brazo con el soporte interior.

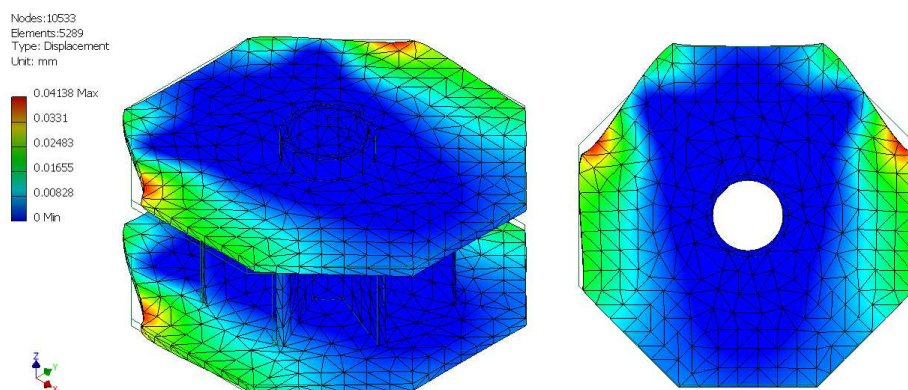
Fuente: SAP2000.

#### 3.3.1.5.4 Simulación.

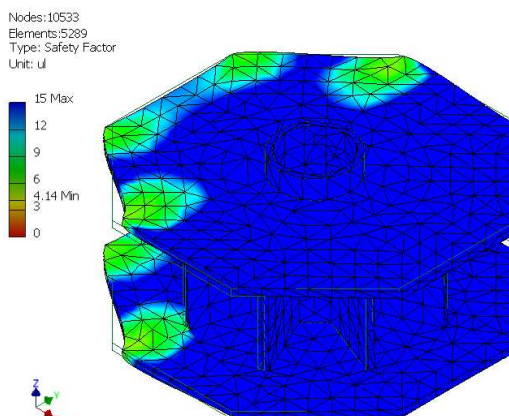
De los resultados obtenidos de la simulación se analizan los parámetros correspondientes a los esfuerzos máximos, desplazamientos máximos y el factor de seguridad.



**Figura 3.23** Esfuerzos de Von Misses. (Tensión del cable)



**Figura 3.24** Desplazamientos máximos. (Tensión del cable)



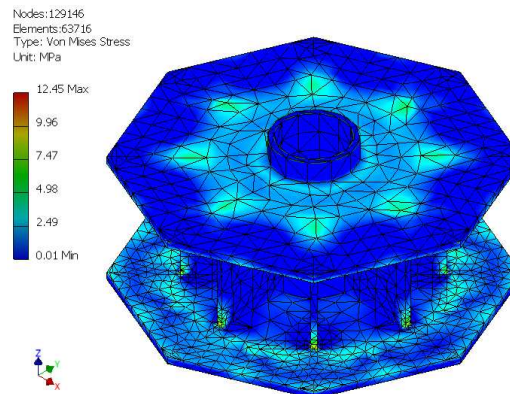
**Figura 3.25** Factor de seguridad. (Tensión del cable)

ÍTEM	MÍNIMO	MÁXIMO
Volumen	9845160 mm <sup>3</sup>	
Masa	79.5489 kg	
Esfuerzo de Von Misses	0.05 MPa	60.46 MPa
1st Esfuerzo Principal	-2.66 MPa	59.40 MPa
3rd Esfuerzo Principal	-66.59 MPa	2.02 MPa
Desplazamiento	0 mm	0.04 mm
Factor de Seguridad	4.14 ul	15.0 ul
X Desplazamiento	-0.0113078 mm	0.0359093 mm
Y Desplazamiento	-0.0220447 mm	0.0219735 mm
Z Desplazamiento	-0.0165496 mm	0.0164324 mm
Deformación XX	-0.0002351 ul	0.0002116 ul
Deformación XY	-0.0001876 ul	0.0001888 ul
Deformación XZ	-0.0000320 ul	0.0000321 ul
Deformación YY	-0.0002241 ul	0.0002422 ul
Deformación YZ	-0.0000548 ul	0.0000543 ul
Deformación ZZ	-0.0001548 ul	0.0001544 ul

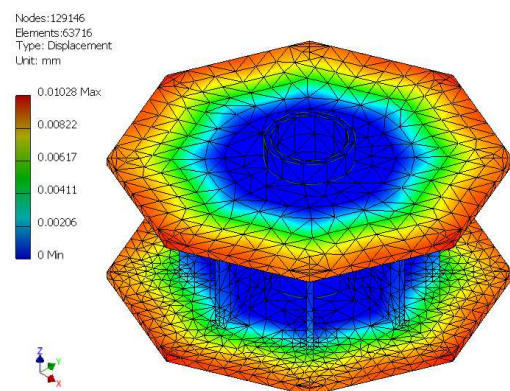
**Tabla 3.27** Tabla de resultados por tensión del cable.

De los resultados obtenidos de la simulación se verifica que el elemento presenta un factor de seguridad mínimo de 4.14 en la sección crítica. Se verifica que las deformaciones y desplazamientos son bajos, validándose el diseño por resistencia y por deformación.

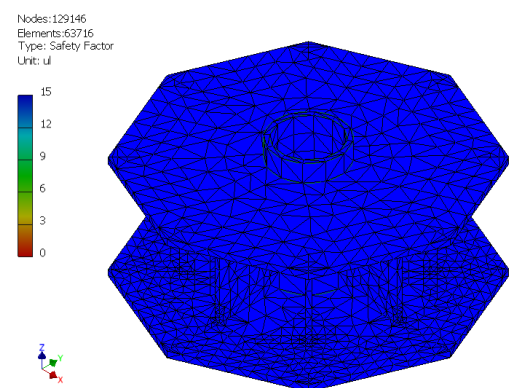
El análisis anterior no considera el efecto de flexión producido por el peso propio de los brazos y el canal exterior, en base a un análisis global se aprecia que éste es despreciable como se observa a continuación:



**Figura 3.26** Esfuerzos de Von Misses. (Peso de la estructura)



**Figura 3.27** Desplazamiento máximo. (Peso de la estructura)



**Figura 3.28** Factor de seguridad. (Peso de la estructura)

ÍTEM	MÍNIMO	MÁXIMO
Esfuerzo de Von Mises	0.01 MPa	12.45 MPa
1st Esfuerzo principal	-1.60 MPa	12.80 MPa
3rd Esfuerzo principal	-13.76 MPa	1.25 MPa
Desplazamiento	0 mm	0.0103 mm
Factor de Seguridad	15 ul	15 ul
Deformación equivalente	0.000000024 ul	0.0000714 ul
1st Deformación Principal	-0.00000245 ul	0.0000770 ul
3rd Deformación Principal	-0.00006718 ul	0.0000028 ul
Deformación XX	-0.00004793 ul	0.0000661 ul
Deformación YY	-0.00003678 ul	0.0000561 ul
Deformación ZZ	-0.00006418 ul	0.00005955 ul

**Tabla 3.28** Tabla de resultados por peso de la estructura.

En conclusión todos los elementos que forman parte de la rueda motriz y de reenvío se diseñaron con factores de seguridad altos debido a la importancia de estos elementos en sistemas teleférico, a continuación se muestra una tabla resumen de las características principales de la rueda motriz y de reenvío.

ÍTEM	F.S
Canal exterior	4.6
Brazos	5.0
Soporte interior.	4.1
Diámetro	4.5 [m]
Peso aproximado	1600 [kg]

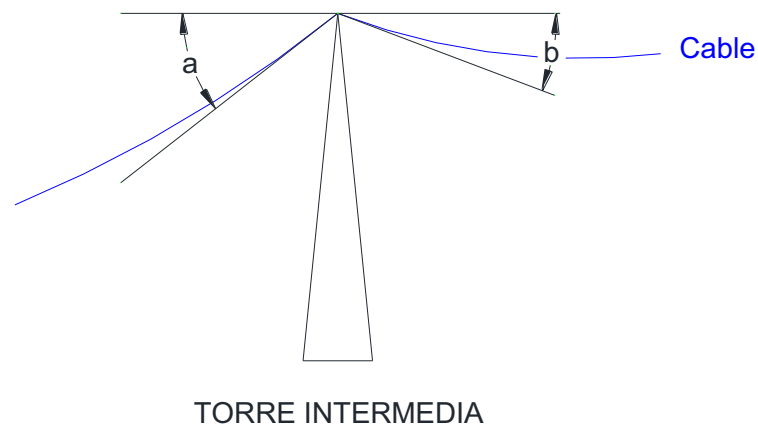
**Tabla 3.29** Características de la rueda motriz y de reenvío.

**Fuente:** Propia

Es importante resaltar que los resultados obtenidos se determinaron en base a una verificación estática, puesto que la tensión en el cable es constante. El efecto de un aumento de carga debido al arranque del sistema se considero en el sobredimensionamiento (40% de la tensión del cable) de las cargas obtenidas para la simulación.

### 3.3.2 DISEÑO DEL TREN DE POLEAS.

El tren de poleas en un sistema de elementos que sostienen y guían al cable por la trayectoria determinada, además que permite absorber las deformaciones originadas en el cable por cambios de pendiente debido a la colocación de una torre intermedia entre los puntos de salida y llegada del teleférico.



**Tabla 3.30** Cambio de dirección del cable.

**Fuente:** Propia

#### 3.3.2.1 Características del tren de poleas.

La principal característica de un tren de poleas es su capacidad de autoalineación, es decir modificar su dirección en función de las fluctuaciones de carga que se producen en el cable principalmente cuando los vehículos de transporte atraviesan el tren de poleas.

Otra función es permitir que el cambio de dirección en la pendiente del cable se realice de una forma suave para evitar el fatigamiento del cable por flexión alrededor del conjunto de poleas. Idealmente el tren de poleas constituye un arco de circunferencia de una rueda imaginaria sobre la cual se apoya el cable.

Además todos los elementos que forman parte del tren, cuentan con puntos de pivote los cuales se alinean en función de la carga presente sobre el tren de poleas para darle su característica de autoalineación.



### 3.3.2.2 Determinación del número de poleas.

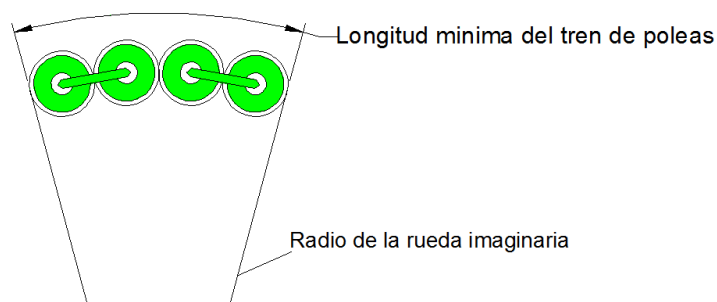
Para determinar el número de poleas que formaran parte del sistema se utiliza un análisis similar para determinar el diámetro óptimo de la polea motriz considerando que el tren de poleas tiene la misma función.

De la figura 3.32 se tiene que en cada tramo de cable definido por dos torres se establece un ángulo de llegada(a) y uno de salida (b). Por lo tanto el ángulo de corrección es:

$$\alpha = a + b \text{ [rad]}$$

(Ec. 3.18)

Para el cálculo en primera instancia es necesario determinar la longitud mínima que debe tener el tren de poleas el cual esta en función del ángulo de corrección como se muestra:



**Figura 3.29** Longitud mínima del tren de poleas.

**Fuente:** Propia.

Utilizando la siguiente expresión:

$$L_t = R_r \cdot \alpha$$

(Ec. 3.19)

Donde:

$L_t$  : Longitud mínima del tren de poleas.

$R_r$ : Radio de la rueda imaginaria.

$\alpha$ : Ángulo de corrección, [rad]

Cada polea que forma parte del conjunto tiene como objetivo corregir una fracción del ángulo total, para determinar este parámetro se realiza el siguiente análisis.

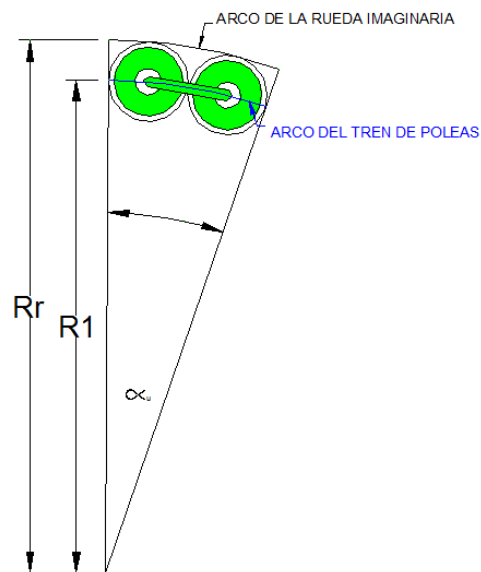


Figura 3.30 Ángulo de corrección por polea.

Fuente: Propia.

$\alpha_u$ : Ángulo de corregido por dos poleas, en rad/polea.

$L_u$ : Longitud del arco ocupado por dos poleas.

$R_p$ : Radio de la polea.

De la figura se conoce que:

$$L_u = \alpha_u \times R_1$$

(Ec. 3.20)

$$R_1 = R_r - R_p$$

(Ec. 3.21)

Reemplazando se tiene:

$$\alpha_u = \frac{L_u}{R_r - R_p} [rad]$$

(Ec. 3.22)

De la figura 3.35 se determina qué:

$$L_u \cong 4R_p$$

(Ec. 3.23)

Por lo tanto se tiene que el ángulo de corrección para las dos poleas es:

$$\alpha_u = \frac{4R_p}{R_r - R_p} [rad]$$

(Ec. 3.24)

De lo anterior se concluye que el ángulo de corrección por cada polea que forma parte del tren es:

$$\alpha_u = \frac{2R_p}{R_r - R_p} [rad]$$

(Ec. 3.25)

En base a los resultados anteriores se determina el número de poleas en base a la siguiente expresión:

$$N_p = \frac{\alpha_{Diseño}}{\alpha_u}$$

(Ec. 3.26)

Donde:

$\alpha_{Diseño}$ : Ángulos presentes en cada torre.

### 3.3.2.2.1 Cálculo.

De acuerdo a lo establecido por la normativa española para el manejo de cables se determina el diámetro de la rueda de apoyo imaginaria para evitar el fatigamiento del cable por flexión, por lo tanto se toma un valor de 6 m de diámetro que cumple con los requerimientos anteriores con un factor de seguridad 7. De acuerdo a los resultados obtenidos en el capítulo 2 se definen los ángulos a corregir en cada torre.

	a[°]	b[°]	$\alpha$ [°]	$\alpha_{Diseño}$ [°]
<b>TORRE 1-2</b>	8.78	30.28	39.06	40
<b>TORRE 3</b>	10.87	9.49	20.36	22
<b>TORRE 4</b>	8.81	7.34	16.15	18

**Tabla 3.31** Ángulos de corrección para cada torre.

**Fuente:** Propia.

Utilizando la ecuación 3.32 se determina los valores correspondientes a la longitud mínima del tren de poleas, entonces se tiene:

<b>TORRE</b>	$L_t$ [m]
1-2	2.1
3	1.2
4	0.9

**Tabla 3.32** Longitud mínima del tren de poleas.

**Fuente:** Propia.

Utilizando la expresión 3.38 se determina los siguientes valores:

<b>Dpolea [cm]</b>	<b>Rpolea [cm]</b>	$\alpha_u$ [rad]	$\alpha_u$ [°]
10	5.0	0.034	1.94
15	7.5	0.051	2.94
20	10.0	0.069	3.95
25	12.5	0.087	4.98
30	15.0	0.105	6.03

**Tabla 3.33** Ángulo de corrección por rueda

**Fuente:** Propia.

Por lo tanto se determina el número de poleas mínimo en función del diámetro de las mismas. Como se muestra a continuación:

TORRE	$\alpha_{\text{Diseño}} [^\circ]$	Diámetro de polea [cm]				
		10	15	20	25	30
1-2	40	20	13	10	8	6
3	22	11	7	5	4	3
4	18	9	6	4	3	2

**Tabla 3.34** Número de poleas para cada torre para diferentes diámetros.

**Fuente:** Propia.

De acuerdo a las especificaciones de diseño del capítulo 1 se establece que el ángulo de corrección por polea no deberá ser mayor a  $5.7^\circ$  de lo que se toma un diámetro de polea de 20 cm con un ángulo de corrección de  $3.95^\circ$  por polea. Por lo tanto los valores de diseño son:

ELEMENTO	$N_p$	$\alpha_r [^\circ]$	$\alpha [^\circ]$	FS
Tren de poleas director de salida	4	--	--	--
Torre 1-2	8	31.6	20	1.6
Torre 3	8	31.6	22	1.4
Torre 4 directora de llegada	4	31.6	18	1.8

**Tabla 3.35** Número de poleas para cada torre.

**Fuente:** Propia.

#### NOTA:

- El análisis presentado para la determinación del número de poleas establece los parámetros mínimos necesarios para un adecuado funcionamiento, pero considerando que el tren de poleas constituye un elemento importante en la funcionalidad y seguridad del sistema teleférico se introduce un factor de seguridad al ángulo de corrección para así disminuir posibles accidentes como el descarrilamiento del cable.
- Del análisis mostrado en la tabla 3.34 se determina que para una polea de 20 cm. de diámetro en la torre 1 se necesita de un tren de 10 ruedas lo que implica una longitud de aproximadamente 2 metros, considerando aspectos de

resistencia del elemento y estética se instalan dos torres por lo que se reducen los trenes de poleas a un número de 8 ruedas como se indica en la tabla 3.35.

### 3.3.2.3 Cargas de diseño.

Las cargas que soporta el tren de poleas corresponde a la reacción en el eje Y producidas por la tensión presente en el cable determinadas en el capítulo 2 .Por lo tanto las cargas de diseño son:

TORRE	$P$ [klb]	$N_p$	$P_p$ [klb]
1	20	8	2.5
2	20	8	2.5
3	14	8	1.8
4	8	4	2.0

**Tabla 3.36** Cargas de diseño para el tren de poleas.

Fuente: Propia.

La carga unitaria determinada en la tabla 3.36 corresponde a la hipótesis de que cada polea soporta una carga igual, dada por:

$$P_p = \frac{P_{m\acute{a}x}}{N_p}$$

(Ec. 3.27)

Donde:

$P_p$ : Carga por polea.

$P_{m\acute{a}x}$ : Carga máxima presente en el tren de poleas.

$N_p$ : Número de poleas.

### 3.3.2.4 Selección de rodamientos.

Las exigencias más importantes del diseño de rodamientos son: larga duración de servicio, alta fiabilidad y rentabilidad. Para alcanzar estas metas, los ingenieros de

diseño recopilan en especificaciones las condiciones que influyen en el rodamiento y las exigencias que deben alcanzarse. Rodamientos solicitados estáticamente.<sup>26</sup>

En el método de selección rodamientos se distingue entre sollicitación dinámica y sollicitación estática. Una sollicitación estática tiene lugar si el movimiento relativo entre los aros de los rodamientos es nulo o muy lento ( $n < 10 \text{ rpm}$ ).

La selección debe garantizar la seguridad contra deformaciones plásticas demasiado elevadas en los caminos de rodadura y en los cuerpos rodantes.

Bajo una sollicitación a carga estática, se calcula el factor de esfuerzos estáticos  $f_s$ , para demostrar que se ha elegido un rodamiento con suficiente capacidad de carga.

$$f_s = \frac{C_o}{P_o}$$

(Ec. 3.28)

Donde:

$f_s$ : Factor de esfuerzos estáticos.

$C_o$ : Capacidad de carga estática, [kN]

$P_o$ : Carga estática equivalente, [kN]

Para rodamientos que deban girar con gran suavidad y facilidad, habrá que elegir un factor de esfuerzos estáticos mayor. Si las exigencias de suavidad de giro son más reducidas, bastan valores más pequeños. En general se pretende conseguir los siguientes valores:

$f_s = 1.5 - 2.5$  Para exigencias elevadas.

$f_s = 1.0 - 1.5$  Para exigencias normales.

$f_s = 0.7 - 1.0$  Para exigencias reducidas.

La capacidad de carga estática  $C_o$  se determina de las especificaciones de catálogos de rodamientos. En rodamientos radiales corresponde a una carga radial y en rodamientos axiales una carga axial centrada en el área de contacto más cargada entre los cuerpos rodantes y el camino de rodadura produciría una presión superficial teórica  $P_o$  de:

<sup>26</sup> RODAMIENTOS FAG; Catálogo WL 41 520/3 SB; Edición 2000; España; Págs.30-39.

4600  $[N/mm^2]$  Para rodamientos oscilantes de bolas.

4200  $[N/mm^2]$  Para todos los demás rodamiento de bolas.

4000  $[N/mm^2]$  Para todos los rodamientos de rodillos.

Para el cálculo de la carga estática equivalente se utiliza la siguiente fórmula:

$$P_o = X_o \cdot F_r + Y_o \cdot F_a$$

(Ec. 3.29)

Donde:

$P_o$ : Carga estática equivalente,  $[kN]$

$F_r$ : Carga radial,  $[kN]$

$F_a$ : Carga axial,  $[kN]$

$X_o$ : Factor radial.

$Y_o$ : Factor axial.

#### 3.3.2.4.1 Rodamientos solicitados dinámicamente.

La fórmula de vida es:

$$L_{10} = L = \left(\frac{C}{P}\right)^p [10^6 \text{ revoluciones}]$$

(Ec. 3.30)

Donde:

$L_{10} = L$ : Vida nominal,  $[10^6 \text{ revoluciones}]$

$C$ : Capacidad de carga dinámica,  $[kN]$

$P$ : Carga dinámica equivalente,  $[kN]$

$p$ : Exponente de vida

$L_{10}$ , Es la vida nominal en millones de revoluciones alcanzada o rebasada por lo menos de un 90% de un gran lote de rodamientos iguales.

La capacidad de carga dinámica ( $C$ ) se indica en tablas para rodamientos, con esta carga se alcanza una vida de  $L_{10}$  de  $10^6 \text{ revoluciones}$ .



La carga dinámicamente produce la misma vida que la combinación de cargas siguiente:

$$P = X \cdot F_r + Y \cdot F_a$$

(Ec. 3.31)

Donde:

$P$ : Carga dinámica equivalente, [ $kN$ ]

$F_r$ : Carga radial, [ $kN$ ]

$F_a$ : Carga axial, [ $kN$ ]

$X$  Factor radial

$Y$ : Factor axial

Los valores  $X$  e  $Y$  el cálculo correspondiente a la carga dinámica equivalente para los distintos tipos de rodamientos se indican en las tablas de selección de rodamientos.

El exponente de vida  $p$  es diferente para rodamientos de bolas y de rodillos.

$$p = 3 \text{ Para rodamientos de bolas}$$

$$p = 10/3 \text{ Para rodamientos de rodillos}$$

Si la velocidad del rodamiento es constante, la duración puede expresarse como:

$$L_{h10} = L_h = \frac{L \cdot 10^6}{n \cdot 60}$$

(Ec. 3.32)

Donde:

$L_h$ : Vida nominal del rodamiento, [ $h$ ]

$n$ : Velocidad angular, [ $rpm$ ]

Utilizando la expresión reducida para la vida de un rodamiento se tiene:

$$f_L = \frac{C}{P} \cdot f_n \cdot f_h$$

(Ec. 3.33)

Donde:

$f_L$ : Factor de esfuerzos dinámicos.

$C$ : Capacidad de carga dinámica, [kN]

$P$ : Carga dinámica equivalente, [kN]

$f_n$ : Factor de velocidad.

$f_h$ : Factor de dureza.

#### 3.3.2.4.2 Cálculo.

A continuación se presenta un ejemplo cálculo para la selección de rodamientos entre la polea y el soporte menor.

Para la selección de rodamientos se verifica los siguientes aspectos.

- Velocidad angular. La velocidad angular de la rueda corresponde a:

$$\omega = \frac{V}{r_p} = \frac{1 \text{ [m/s]}}{0.1 \text{ [m]}} = 10 \left[ \frac{\text{rad}}{\text{s}} \right] \cong 95.5 \text{ rpm}$$

Por lo tanto se realiza verificación estática y dinámica.

- Cargas. Para determinar la carga se considera un factor de seguridad de 4 por lo que la carga de diseño se expresa como:

$$F_r = 2.5 \text{ [klb]} = 11.2 \text{ [kN]}$$

$$F_a = 0 \text{ [klb]}$$

- Verificación estática. Considerando una exigencia elevada se toma un valor de  $f_s = 2$ , por lo tanto:

$$\frac{F_a}{F_r} = \frac{0 \text{ [kN]}}{45 \text{ [kN]}} = 0 < 0.8$$

Por lo tanto  $P_o = F_r$ , y se usa la ecuación 3.28 y se reemplaza en la misma:

$$C_o = 2 \cdot F_r$$

$$C_o = 2 \times 11.2 \text{ [kN]} = 22.4 \text{ [kN]}$$

- Verificación dinámica. Para este análisis es necesario verificar la siguiente relación:

$$\frac{f_0 \cdot F_a}{C_o} = 0$$

Entonces,

$$e = 0.2, X = 1 \text{ y } Y = 0$$

$$\frac{F_a}{F_r} < 0.8$$

Por lo tanto:

$$P = 45 \text{ [kN]}$$

$f_l = 2.71$  (Se estima un tiempo de uso de 5 años aproximadamente 10000 horas de uso.)

$$f_n = 0.874$$

$$C = \frac{2.71}{0.875} \times 11.2 \text{ [kN]} = 34.7 \text{ [kN]}$$

En la polea se utilizan dos rodamientos de bolas de similares características por lo tanto las características preliminares para la selección son:

$$C_o = 11.2 \text{ [kN]}$$

$$C = 17.4 \text{ [kN]}$$

$$V = 50 \text{ [rpm]}$$

$$d = 30 \text{ [mm]}$$

Se selecciona el rodamiento **FAG 6206** con las siguientes características:

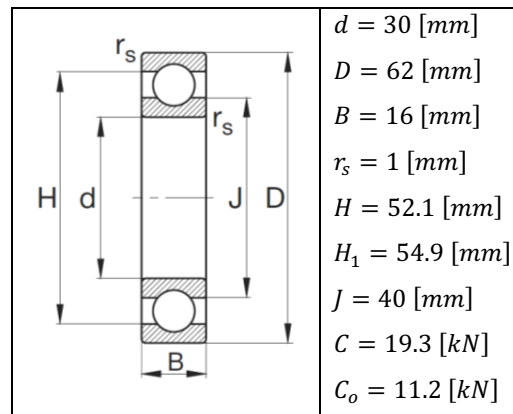


Figura 3.31 Rodamiento de la polea.

### 3.3.2.5 Diseño de la polea.

La polea se constituye como el elemento de soportar la carga que se produce por la tensión del cable, además de permitir su movilidad.

Para su dimensionamiento es necesario considerar los parámetros definidos de la selección de rodamientos es decir, que el diámetro interior de la polea corresponde al diámetro exterior del rodamiento mientras que el espesor de la rueda mínimo corresponde a 32 mm.

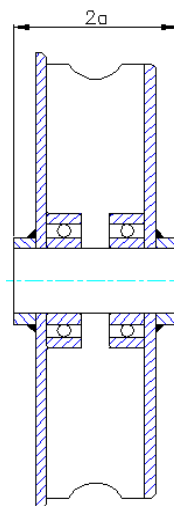


Figura 3.32 Esquema de la polea.

Fuente: Propia.

### 3.3.2.5.1 Cilindros de pared gruesa.<sup>27</sup>

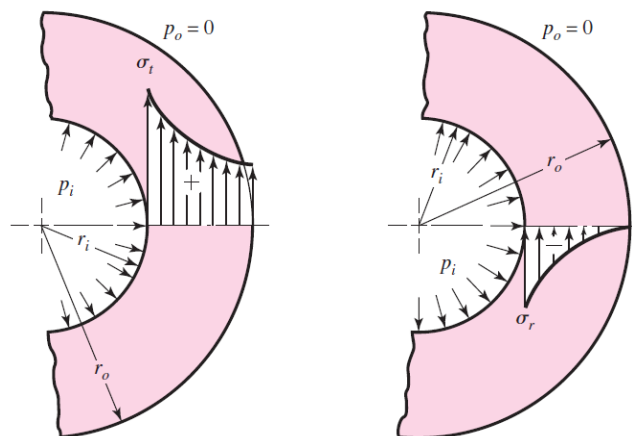
En elementos en el que el espesor de la envolvente o pared es relativamente grande, la variación del esfuerzo desde la superficie interna a la externa es relativamente grande.

Para la solución de este tipo de problemas se plantean las siguientes hipótesis:

- El cilindro grueso está compuesto de cilindros concéntricos de paredes delgadas a cada uno de los cuales puede aplicarse el método usado para determinar los esfuerzos en un cilindro de pared delgada.
- Las deformaciones de todas las fibras longitudinales del cilindro son iguales es decir que una sección transversal plana se conserva plana y paralela a sí misma.

En la práctica se presentan casos particulares que corresponden a:

- Presión interna solamente. Si la presión interna es  $p_i$  y la externa es cero  $p_o = 0$  las ecuaciones se reducen a:



**Figura 3.33** Distribución de esfuerzos radiales y tangenciales.

**Fuente:** SHIGLEY J.; “Mechanical engineering design”

$$\sigma_t = p_i \frac{r_i^2}{r_o^2 - r_i^2} \left( \frac{r_o^2}{r^2} + 1 \right)$$

<sup>27</sup> SHIGLEY J.; “Mechanical engineering design”; Editorial McGraw-Hill; Octava edición; México; 2006; Págs. 107-108.

(Ec. 3.34)

$$\sigma_r = p_i \frac{r_i^2}{r_o^2 - r_i^2} \left( \frac{r_o^2}{r^2} - 1 \right)$$

(Ec. 3.35)

De estas ecuaciones se puede apreciar que los valores máximos de  $\sigma_t$  y  $\sigma_r$  se producen en la superficie interna, es decir, cuando  $r$  tiene su valor mínimo  $r_i$ , además que siempre  $\sigma_t$  es mayor que  $\sigma_r$  entonces:

$$\sigma_{t \text{ máx}} = p_i \left( \frac{r_o^2 + r_i^2}{r_o^2 - r_i^2} \right)$$

(Ec. 3.36)

$$\sigma_{r \text{ máx}} = p_i$$

(Ec. 3.37)

El esfuerzo cortante máximo se tendrá a  $r = r_i$  y  $p_o = 0$  es decir:

$$\tau_{\text{máx}} = p_i \left( \frac{r_o^2}{r_o^2 - r_i^2} \right)$$

(Ec. 3.38)

Aplicando la teoría de la máxima energía de distorsión se determina el factor de seguridad para el diseño del elemento sometido a esfuerzo plano.

$$\sigma' = \sqrt{\sigma_t^2 - \sigma_t \cdot \sigma_r + \sigma_r^2 + 3\tau^2}$$

(Ec. 3.39)

$$n = \frac{S_y}{\sigma'}$$

(Ec. 3.40)

Donde:

$S_y$ : Límite de fluencia del material, [Mpa]

$\sigma'$ : Esfuerzo de Von Misses para esfuerzo plano, [Mpa] <sup>28</sup>

### 3.3.2.5.2 Consideraciones de cálculo.

Debido a que cada rueda soporta una carga  $P_p$ , se produce un área de contacto entre el eje y el diámetro interior de la rueda, y como consecuencia una presión definida por:

$$p_i = \frac{P_p}{A}$$

(Ec. 3.41)

Donde:

$p_i$ : Presión interior presente en la polea.

$A$ : Área proyectada.

Considerando que la presión interior se distribuye en la semicircunferencia de la polea, el área proyectada corresponde a:

$$A = t \times r_i$$

(Ec. 3.42)

Donde:

$t$ : Espesor de la polea.

$r_i$ : Radio interior de la polea.

Por lo tanto se tiene:

$$p_i = \frac{P_p}{t \times r_i}$$

(Ec. 3.43)

---

<sup>28</sup> SHIGLEY J.; "Mechanical Engineering Design"; Editorial McGraw-Hill; Octava edición; México; 2006; Págs. 214-216.

### 3.3.2.5.3 Cálculo.

Considerando los parámetros mínimos dados por el rodamiento se realiza un proceso iterativo para determinar las dimensiones de la polea:

$$p_i = \frac{11120.6 [N]}{3.2 [cm] \times 3.1 [cm]} = 1121.03 \left[ \frac{N}{cm^2} \right]$$

Tomando las fórmulas correspondientes para un cilindro de pared gruesa con presión interna solamente se tiene:

$$\sigma_{t \text{ máx}} = 1121.3 \left[ \frac{N}{cm^2} \right] \times \left( \frac{10^2 + 3.1^2}{10^2 - 3.1^2} \right) = 1359.73 \left[ \frac{N}{cm^2} \right]$$

$$\sigma_{r \text{ máx}} = 1121.03 [N/cm^2]$$

$$\tau_{\text{máx}} = 1121.03 \left[ \frac{N}{cm^2} \right] \times \left( \frac{10^2}{10^2 - 3.1^2} \right) = 1240.21 \left[ \frac{N}{cm^2} \right]$$

$$\sigma' = \sqrt{1359.73^2 - 1359.73 \times 1121.03 + 1121.03^2 + 3(1240.21)^2} = 2489.1 [N/cm^2]$$

El material a utilizarse por sus características: buena resistencia mecánica y buena resistencia al desgaste y a la fatiga es duralón, que es un tecnopolímero de nylon de alto peso molecular, el cual presenta un límite de fluencia de 70 Mpa.<sup>29</sup>

$$n = \frac{7000 [N/cm^2]}{2489.1 [N/cm^2]} = 2.8$$

$r_o$ [cm]	$r_i$ [cm]	$P_p$ [N]	$t$ [cm]	$A$ [cm <sup>2</sup> ]	$p_i$ [N/cm <sup>2</sup> ]	$\sigma_t$ [N/cm <sup>2</sup> ]	$\sigma_r$ [N/cm <sup>2</sup> ]	$\tau$ [N/cm <sup>2</sup> ]	$\sigma'$ [N/cm <sup>2</sup> ]	$S_y$ [N/cm <sup>2</sup> ]	$n$
10	3.1	11120.6	3.2	9.9	1121.03	1359.7	1121.03	1240.2	2489.1	7000	2.8
10	3.1	11120.6	4.0	12.4	897.2	1088.6	897.2	992.2	1991.2	7000	3.5
10	3.1	11120.6	4.5	13.9	797.4	967.1	797.4	882.1	1770.1	7000	4.0
10	3.1	11120.6	5.0	15.5	717.7	870.2	717.7	794.4	1593.5	7000	4.4
10	3.1	11120.6	5.5	17.0	652.4	791.5	652.4	722.3	1448.1	7000	4.8
10	3.1	11120.6	6.0	18.6	598.2	725.7	598.2	661.2	1327.2	7000	5.3

**Tabla 3.37** Factores de seguridad para la polea.

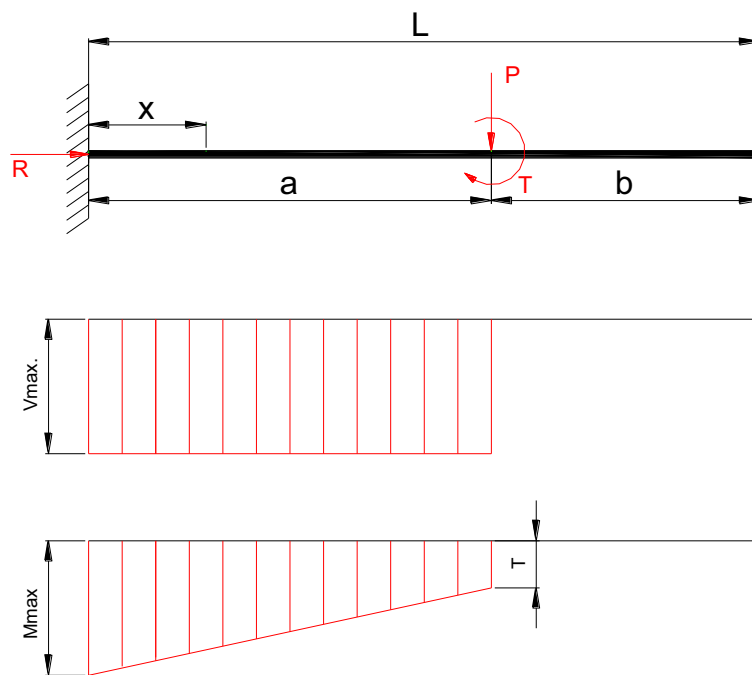
<sup>29</sup> SARAUZ J., TIRIRA A.; "Diseño y construcción de una máquina para la elaboración de tortillas de harina de trigo para la empresa taquito's"; Tesis FIM-EPN; 2011; Pág. 50.



Del análisis anterior se selecciona las dimensiones correspondientes a un factor de 4 para el diseño de los elementos asociados a la polea.

### 3.3.2.6 Diseño de ejes de soporte.

Para el diseño de los ejes se considera que estos se encuentran únicamente sometidos a cargas de flexión, como se muestra a continuación.



**Figura 3.34** Viga en cantiléver con carga y momento concentrada en cualquier punto de su longitud.

**Fuente:** Propia.

Para el estado de carga estático mostrado en Figura 3.34 se determina que el momento máximo a lo largo del eje será:

$$M_{m\acute{a}x} = P \cdot a + T$$

(Ec. 3.44)

Donde:

$M_{m\acute{a}x}$ : Momento flector máximo en el empotramiento, [N.cm]

$P$ : Carga actuante sobre el eje, [N]

$a$ : Distancia de aplicación de la carga con respecto al empotramiento, [cm]

$T$ : Momento torsor aplicado en la estructura de soporte, [N.cm]

Por lo tanto el esfuerzo de flexión para la sección circular se expresa como:

$$\sigma = \frac{32 \cdot M_{m\acute{a}x}}{\pi \cdot d^3}$$

(Ec. 3.45)

Donde:

$d$ : Diámetro del eje, [in]

El factor de seguridad estático en función del diámetro a los esfuerzos flexionantes se define como:

$$n_s = \frac{\pi \cdot d^3 \cdot S_y}{32 \cdot M_{m\acute{a}x}}$$

(Ec. 3.46)

Verificando la máxima deflexión presente en el extremo libre del eje se tiene:

$$\Delta_{m\acute{a}x} = \frac{1}{EI} \left( \frac{PL^3}{6} - \frac{PaL^2}{2} + \frac{ML^2}{2} - \frac{P}{6}(L-a)^3 + \frac{M}{2}(L-a)^2 \right)$$

(Ec. 3.47)

#### 3.3.2.6.1 Cálculo.

Utilizando las expresiones anteriores se determina el factor de seguridad para diferentes diámetros del eje del soporte menor al igual que el valor de su deflexión máxima.

Se verifica estáticamente puesto que el único estado de carga variable se presenta cuando el vehículo de transporte ingresa al tren, pero esta carga es insignificante con relación a las cargas que soporta el sistema por el peso propio del cable, carga de viento y peso del contrapeso, los efectos de la carga variable se verifica con el factor de seguridad estático elevado.

El material utilizado para el eje corresponde a un acero AISI 4340 recocido con las siguientes propiedades mecánicas.

Resistencia a la tracción	90-110 kg/mm <sup>2</sup>
Esfuerzo de cedencia	70 kg/mm <sup>2</sup>
Resistencia al impacto	Aprox. 20 J
Dureza	270-330 HB

**Tabla 3.38** Propiedades mecánicas Acero AISI 4340

**Fuente:** Iván Bohman

La distancia ( $a$ ) corresponde a la mitad del espesor de la polea definido en la sección anterior, de igual manera en el eje de soporte menor el momento flector a esta distancia es nulo.

A continuación se muestra los resultados con los factores de seguridad para diferentes diámetros de ejes, donde se verifica el eje de 3 [cm] definido en la selección de rodamientos.

$P$ [N]	$d$ [cm]	$a$ [cm]	$L$ [cm]	$I$ [cm <sup>4</sup> ]	$M_{máx}$ [N.cm]	$\sigma_{máx}$ [N/cm <sup>2</sup> ]	$S_y$ [N/cm <sup>2</sup> ]	$\Delta_{máx}$ [cm]	$n_s$
11120.6	1.00	3.75	11.7	0.04909	41702.25	424775.63	68600	0.8323	0.16
11120.6	1.50	3.75	11.7	0.24850	41702.25	125859.45	68600	0.1644	0.55
11120.6	2.00	3.75	11.7	0.78540	41702.25	53096.95	68600	0.0520	1.29
11120.6	2.50	3.75	11.7	1.91748	41702.25	27185.64	68600	0.0213	2.52
11120.6	3.00	3.75	11.7	3.97608	41702.25	15732.43	68600	0.0103	4.36
11120.6	3.50	3.75	11.7	7.36618	41702.25	9907.30	68600	0.0055	6.92
11120.6	4.00	3.75	11.7	12.56637	41702.25	6637.12	68600	0.0033	10.34

**Tabla 3.39** Factores de seguridad para el eje de soporte de la polea.

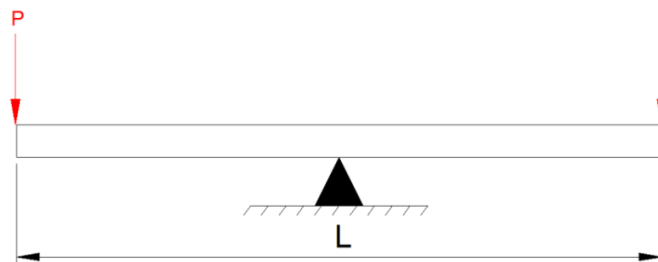
**Fuente:** Propia.

Del análisis se determina que el diámetro que garantiza la seguridad el eje corresponde a 3.0 cm el cual presenta un factor de seguridad de 4.36 y una deflexión máxima de 0.01 cm.

### 3.3.2.7 Diseño de la estructura de soporte.

La estructura de soporte permite el acople de las poleas, además que soporta la carga producida por la tensión máxima del cable. Para el análisis de las estructuras de soporte se definen los efectos producidos por la carga actuante sobre el eje.

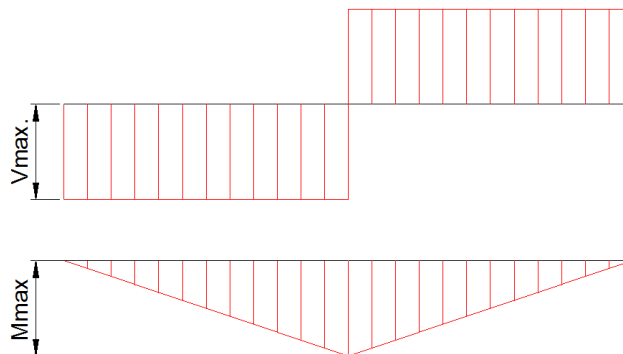
- Flexión. Este efecto se produce al trasladar la fuerza actuante en el eje al elemento de soporte.



**Figura 3.35** Carga de flexión sobre la estructura de soporte.

**Fuente:** Propia.

Se obtienen los diagramas de esfuerzo cortante y momento flector, determinando el momento flector máximo de diseño.



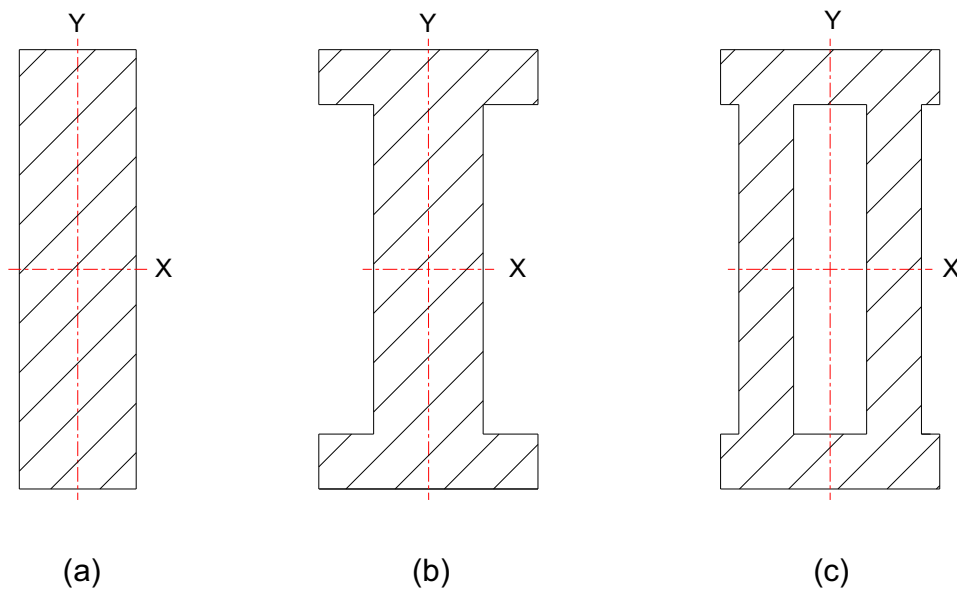
**Figura 3.36** Diagrama de esfuerzo cortante y momento flector actuantes sobre la estructura de soporte.

**Fuente:** Propia.

$$M_{m\acute{a}x} = \frac{P \cdot L}{2}$$

(Ec. 3.48)

En el análisis de las estructuras de soporte se consideran tres secciones transversales las cuales se muestran a continuación:



**Figura 3.37** Sección transversal de la estructura de soporte (a) menor, (b) media, (c) mayor.

**Fuente:** Propia.

Por lo tanto considerando el plano de flexión (X-X), la expresión para el esfuerzo máximo corresponde a:

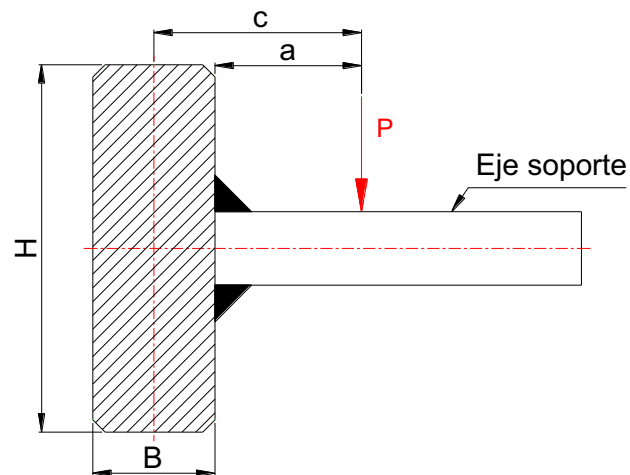
$$\sigma_{m\acute{a}x} = \frac{M_{m\acute{a}x} \cdot H_i}{2 \cdot I_x}$$

(Ec. 3.49)

Donde:

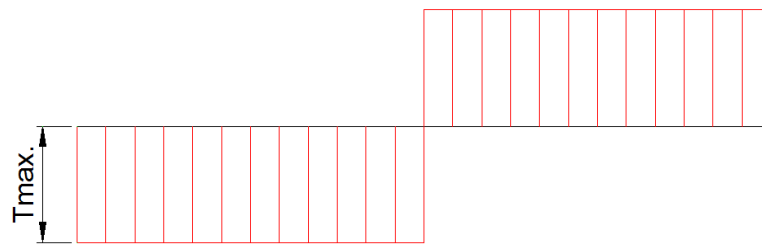
$h_i$ : Altura de la sección transversal de las estructuras de soporte.

- Torsión. Este efecto se produce en las estructuras de soporte debido al momento flector actuante sobre el eje, el cual se transmite a la estructura como un efecto torsionante. El momento de torsión (T) se define con respecto al eje perpendicular



**Figura 3.38** Efecto de torsión presente en las estructuras de soporte.

Fuente: Propia.



**Figura 3.39** Diagrama de momento torsor actuante en la estructura de soporte.

Fuente: Propia.

El esfuerzo por torsión se expresa como:

$$\tau_{m\acute{a}x} = \frac{T_{m\acute{a}x} \cdot r}{J}$$

(Ec. 3.50)

De la Figura 3.39 el momento torsor máximo corresponde a:

$$T_{m\acute{a}x} = P \cdot \left( a + \frac{B}{2} \right)$$

(Ec. 3.51)

Donde:

$c$ : Distancia del punto de aplicación de la carga al eje neutro de la sección.

$T_{máx}$ : Momento torsor máximo.

$r$ : Distancia polar a la fibra más alejada de la sección.

$J$ : Momento polar de inercia de la sección transversal.

$B$ : Espesor de la placa.

$H$ : Altura de la sección.

Un análisis del ángulo de giro que se presentan en el perfil por la acción del momento torsor se puede determinar mediante:

$$\theta_{máx} = \frac{T_{máx} \cdot L}{G \cdot J}$$

(Ec. 3.52)

Donde:

$L$ : Longitud del extremo al punto fijo, [in]

$G$ : Módulo de rigidez, [in]

Utilizando la teoría de la máxima energía de distorsión se determina el factor de seguridad para el diseño:

$$n = \frac{S_y}{\sqrt{\sigma_{máx}^2 + 3\tau_{máx}^2}}$$

(Ec. 3.53)

#### 3.3.2.7.1 Consideraciones de cálculo.

Para dimensionar la sección rectangular y los ejes a utilizarse, se utiliza un proceso iterativo, para el cual se realizan las siguientes consideraciones:

- La longitud del soporte menor donde actúa el momento flector y torsor es de 250 mm, el soporte medio 500mm, y soporte mayor 1000mm.

- El diseño de las estructuras de soporte considerando que se presenta una sección transversal variable a lo largo de la longitud, se verifica el factor de seguridad en el extremo como en la parte media al efecto combinado de flexión y torsión.
- El análisis de esfuerzos se realiza en la mitad de la longitud de la estructura de soporte debido a la simetría del elemento.
- Se utiliza como material para la construcción planchas de acero ASTM A588 grado A, con un límite de fluencia de 345 MPa.
- La inercia de las diferentes secciones transversales se determinan utilizando el programa AUTOCAD.

Utilizando las expresiones definidas anteriormente se determina el factor de seguridad para las áreas críticas del elemento.

$$M_{m\acute{a}x} = \frac{11120.6 [N] \times 12.5 [cm]}{2} = 69503.8 [N \cdot cm]$$

$$\sigma_{m\acute{a}x} = \frac{69503.8 [N \cdot cm] \times 8 [cm]}{2 \times 51.2 [cm^4]} = 5429.98 \left[ \frac{N}{cm^2} \right]$$

$$T_{m\acute{a}x} = 11120.6 [N] \times \left( 3.75 + \frac{1.2}{2} \right) [cm] = 48374.61 [N \cdot cm]$$

$$\tau_{m\acute{a}x} = \frac{48374.61 [N \cdot cm] \times 4.04 [cm]}{52.4 [cm^4]} = 3737.45 \left[ \frac{N}{cm^2} \right]$$

$$n = \frac{34500 [N/cm^2]}{\sqrt{5429.98^2 + 3(3737.45)^2}} = 4.1$$

$$\theta_{m\acute{a}x} = \frac{48374.61 [N \cdot cm] \times 12.5 [cm]}{810000 [N/cm^2] \times 52.4 [cm^4]} = 0.014 [rad]$$

Para la sección media del elemento se verifica el factor de seguridad de 4.1 con una deflexión angular pequeña de aproximadamente 0.82 grados.

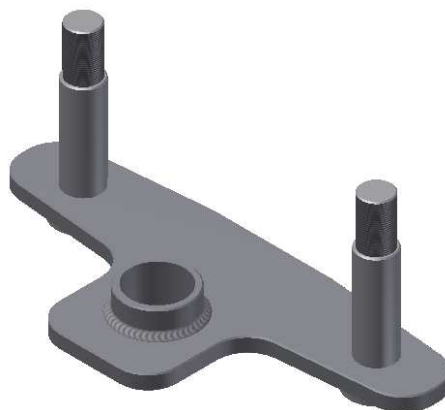


A continuación se presenta los valores de las dimensiones de la estructura de soporte menor con la variación del factor de seguridad a lo largo de su longitud.

$h$ [cm]	$b$ [cm]	$L$ [cm]	$P$ [N]	$M$ [N.cm]	$T_{m\acute{a}x}$ [N.cm]	$\sigma$ [N/cm <sup>2</sup> ]	$\tau$ [N/cm <sup>2</sup> ]	$\sigma'$ [N/cm <sup>2</sup> ]	$S_y$ [N/cm <sup>2</sup> ]	$\theta$ [rad]	$n$
7.00	1.2	0.00	11120.6	0.00	48374.61	0.00	4865.21	8426.80	34500	0.00000	4.1
7.26	1.2	2.00	11120.6	11120.60	48374.61	1054.93	4527.53	7912.55	34500	0.00304	4.4
7.53	1.2	4.00	11120.6	22241.20	48374.61	1961.27	4212.61	7555.46	34500	0.00546	4.6
7.80	1.2	6.00	11120.6	33361.80	48374.61	2741.77	3929.33	7337.32	34500	0.00738	4.7
8.00	1.2	8.00	11120.6	44482.40	48374.61	3475.19	3737.45	7347.29	34500	0.00913	4.7
8.00	1.2	10.00	11120.6	55603.00	48374.61	4343.98	3737.45	7795.89	34500	0.01141	4.4
8.00	1.2	12.00	11120.6	66723.60	48374.61	5212.78	3737.45	8311.36	34500	0.01369	4.2
8.00	1.2	12.50	11120.6	69503.75	48374.61	5429.98	3737.45	8449.28	34500	0.01426	4.1

**Tabla 3.40** Dimensiones de la estructura de soporte menor.

**Fuente:** Propia.



**Figura 3.40** Geometría del soporte menor.

**Fuente:** Propia.

De manera similar se determina el diámetro del eje para el acople del soporte menor con el soporte medio. El estado de carga presente en el eje corresponde al momento flector producido por la carga actuante ( $2P$ ) y el momento torsor resultante ( $2T$ ) producido en el punto medio de la estructura de soporte. Se considera el peso de la estructura de soporte menor con las poleas de aproximadamente de 200 N.

$P$ [N]	$T$ [N.cm]	$d$ [cm]	$d$ [cm]	$L$ [cm]	$I$ [cm <sup>4</sup> ]	$M_{m\acute{a}x}$ [N.cm]	$\sigma_{m\acute{a}x}$ [N/cm <sup>2</sup> ]	$S_y$ [N/cm <sup>2</sup> ]	$\Delta_{m\acute{a}x}$ [cm]	$n_s$
22641.2	96749.2	2.50	2.6	9.0	1.9175	155616.34	101446.1	68600	0.0667	0.68
22641.2	96749.2	3.00	2.6	9.0	3.9761	155616.34	58707.2	68600	0.0322	1.17
22641.2	96749.2	3.50	2.6	9.0	7.3662	155616.34	36970.1	68600	0.0174	1.86
22641.2	96749.2	4.00	2.6	9.0	12.5664	155616.34	24767.1	68600	0.0102	2.77
22641.2	96749.2	4.50	2.6	9.0	20.1289	155616.34	17394.7	68600	0.0064	3.94
22641.2	96749.2	5.00	2.6	9.0	30.6796	155616.34	12680.8	68600	0.0042	5.41
22641.2	96749.2	5.50	2.6	9.0	44.9180	155616.34	9527.2	68600	0.0028	7.20

**Tabla 3.41** Factores de seguridad para el eje de soporte menor.

**Fuente:** Propia.

Se selecciona el eje de 4.5 cm de diámetro con un factor de seguridad correspondiente a 3.94 y una deflexión máxima de 0.0064 cm.

La estructura de soporte medio presenta un área transversal constante por lo que se determinan los esfuerzos actuantes a lo largo del elemento de acuerdo a las características de la sección mostrada a continuación:

	$H_2$ [cm]	12.0
	$B_2$ [cm]	3.0
	$T_2$ [cm]	0.5
	$T_1$ [cm]	1.2
	$I_{xx}$ [cm <sup>4</sup> ]	232.35
	$I_{yy}$ [cm <sup>4</sup> ]	3.834
	$J$ [cm <sup>4</sup> ]	236.2
	$\bar{x}$ [cm]	1.5
	$\bar{y}$ [cm]	6.0
	$r$ [cm]	6.18

**Tabla 3.42** Propiedades de la sección transversal.

**Fuente:** Propia.

La carga ( $P_f$ ) corresponde al momento flector actuante, mientras que ( $P_t$ ) corresponde al momento torsor.

$c$ [cm]	$L$ [cm]	$P_f$ [N]	$P_t$ [N]	$M$ [N.cm]	$T_{m\acute{a}x}$ [N.cm]	$\sigma$ [N/cm <sup>2</sup> ]	$\tau$ [N/cm <sup>2</sup> ]	$\sigma'$ [N/cm <sup>2</sup> ]	$\theta$ [rad]
7.55	0.0	22641.2	11120.6	0.0	83960.53	0.00	2198.57	3808.04	0.00000
7.55	6.0	22641.2	11120.6	67923.6	83960.53	1754.00	2198.57	4192.57	0.00263
7.55	12.0	22641.2	11120.6	135847.2	83960.53	3508.00	2198.57	5177.57	0.00527
7.55	15.0	22641.2	11120.6	169809.0	83960.53	4385.00	2198.57	5807.70	0.00658
7.55	18.0	22641.2	11120.6	203770.8	83960.53	5262.00	2198.57	6495.36	0.00790
7.55	21.0	22641.2	11120.6	237732.6	83960.53	6139.00	2198.57	7224.15	0.00922
7.55	24.0	22641.2	11120.6	271694.4	83960.53	7015.99	2198.57	7982.81	0.01053
7.55	25.0	22641.2	11120.6	283015.0	83960.53	7308.33	2198.57	8240.92	0.01097

**Tabla 3.43** Esfuerzos actuantes en la estructura de soporte medio.

Fuente: Propia

Determinando el factor de seguridad en la sección crítica de la estructura de soporte media se obtienen lo siguiente.

$$n = \frac{34500 \text{ [N/cm}^2\text{]}}{8240.92} = 4.19$$

Se determina el diámetro del eje para el acople del soporte medio con el soporte mayor. El estado de carga presente en el eje corresponde al momento flector producido por la carga actuante (4P) y el momento torsor resultante (4T) producido en el punto medio de la estructura de soporte. Se considera el peso de la estructura de soporte medio de aproximadamente de 300 N.

$P$ [N]	$T$ [N.cm]	$d$ [cm]	$a$ [cm]	$L$ [cm]	$I$ [cm <sup>4</sup> ]	$M_{m\acute{a}x}$ [N.cm]	$\sigma_{m\acute{a}x}$ [N/cm <sup>2</sup> ]	$S_y$ [N/cm <sup>2</sup> ]	$\Delta_{m\acute{a}x}$ [cm]	$n_s$
45482.4	167921.06	3.50	2.6	6.0	7.366	285135.3	67740.3	68600	0.0192	1.01
45482.4	167921.06	4.00	2.6	6.0	12.566	285135.3	45380.7	68600	0.0113	1.51
45482.4	167921.06	4.50	2.6	6.0	20.129	285135.3	31872.3	68600	0.0070	2.15
45482.4	167921.06	5.00	2.6	6.0	30.680	285135.3	23234.9	68600	0.0046	2.95
45482.4	167921.06	5.50	2.6	6.0	44.918	285135.3	17456.7	68600	0.0032	3.93
45482.4	167921.06	6.00	2.6	6.0	63.617	285135.3	13446.1	68600	0.0022	5.10

**Tabla 3.44** Factores de seguridad para el eje de soporte medio.

Fuente: Propia.

En este caso se selecciona el eje de 5.5 cm de diámetro con un factor de seguridad correspondiente a 3.93 y una deflexión máxima de 0.0032 cm.

La estructura de soporte mayor presenta una sección transversal constante con las características mostradas a continuación.

$H_3$ [cm]	17.0
$B_3$ [cm]	5.0
$T_2$ [cm]	0.5
$T_1$ [cm]	1.2
$I_{xx}$ [cm <sup>4</sup> ]	1159.6
$I_{yy}$ [cm <sup>4</sup> ]	90.29
$J$ [cm <sup>4</sup> ]	1249.9
$\bar{x}$ [cm]	2,5
$\bar{y}$ [cm]	8.5
$r$ [cm]	8.86

Tabla 3.45 Propiedades de la sección transversal.

Fuente: Propia

$c$ [cm]	$L$ [cm]	$P_f$ [N]	$P_t$ [N]	$M$ [N.cm]	$T_{m\acute{a}x}$ [N.cm]	$\sigma$ [N/cm <sup>2</sup> ]	$\tau$ [N/cm <sup>2</sup> ]	$\sigma'$ [N/cm <sup>2</sup> ]	$\theta$ [rad]
12.65	0.0	45082.4	11120.6	0.0	140675.59	0.00	997.19	1727.18	0.00000
12.65	5.0	45082.4	11120.6	112706.0	140675.59	826.14	997.19	1914.59	0.00069
12.65	10.0	45082.4	11120.6	225412.0	140675.59	1652.27	997.19	2390.22	0.00139
12.65	15.0	45082.4	11120.6	338118.0	140675.59	2478.41	997.19	3020.87	0.00208
12.65	20.0	45082.4	11120.6	450824.0	140675.59	3304.55	997.19	3728.70	0.00278
12.65	25.0	45082.4	11120.6	563530.0	140675.59	4130.68	997.19	4477.24	0.00347
12.65	30.0	45082.4	11120.6	676236.0	140675.59	4956.82	997.19	5249.11	0.00417
12.65	35.0	45082.4	11120.6	788942.0	140675.59	5782.95	997.19	6035.37	0.00486
12.65	40.0	45082.4	11120.6	901648.0	140675.59	6609.09	997.19	6831.05	0.00556
12.65	45.0	45082.4	11120.6	1014354.0	140675.59	7435.23	997.19	7633.20	0.00625
12.65	50.0	45082.4	11120.6	1127060.0	140675.59	8261.36	997.19	8439.98	0.00695

Tabla 3.46 Esfuerzos actuantes en la estructura de soporte mayor.

Fuente: Propia

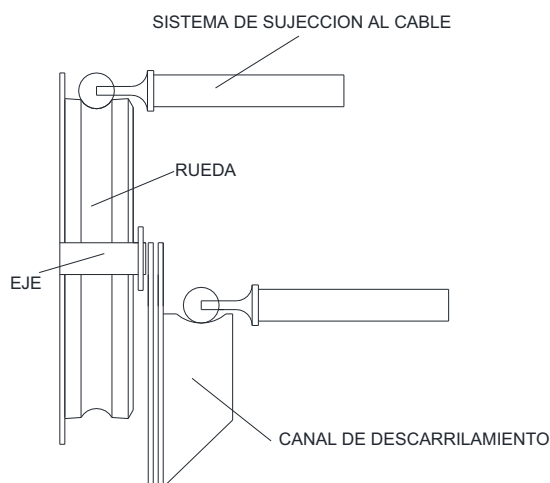
Determinando el factor de seguridad en la sección crítica de la estructura de soporte mayor se obtienen lo siguiente.

$$n = \frac{34500 [N/cm^2]}{8439.98} = 4.1$$

### 3.3.2.8 Diseño del sistema de seguridad anti-descarrilamiento.

En sistemas de transporte aéreos existe la posibilidad que el cable debido a eventos inesperados producidos por viento, paradas bruscas etc. se descarrile de los trenes de poleas, produciendo así una caída del sistema. Por esta razón es importante incorporar un sistema de seguridad el cual consiste en un interruptor de ruptura, el mismo que detiene el motor que moviliza el cable una vez detectado el descarrilamiento.

Para evitar el descarrilamiento la placa lateral de la polea evita la caída del cable al interior del tren lo que se constituye como un evento menos crítico, mientras que en el exterior del tren de poleas se utiliza una cana de soporte el cual sostiene el sistema mientras se da auxilio y se restaura la funcionalidad del teleférico.



**Figura 3.41** Esquema del sistema de soporte anti-descarrilamiento.

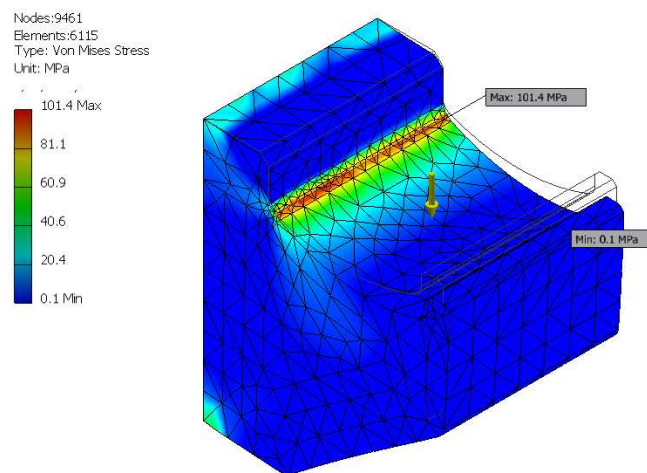
**Fuente:** Propia

### 3.3.2.8.1 Cargas de diseño.

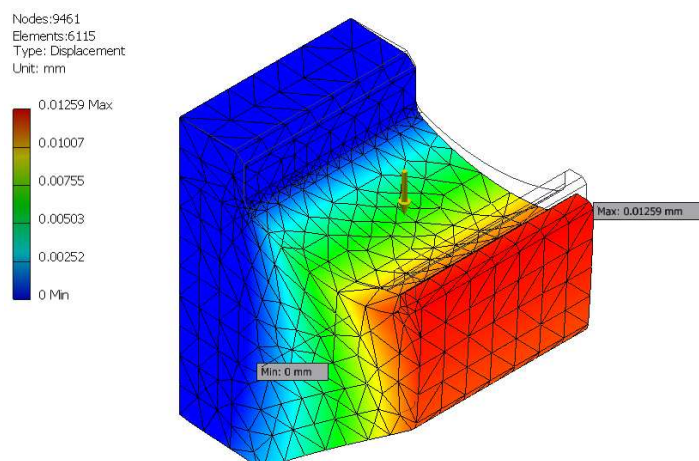
Para el diseño de este elemento se considera que en el instante que se produce el descarriamiento cada canal anti-d Descarriamiento soporta un porcentaje de la carga actuante en la torre crítica, esta carga corresponde a:

$$P = 5 \text{ [klb]} = 22272.7 \text{ [N]}$$

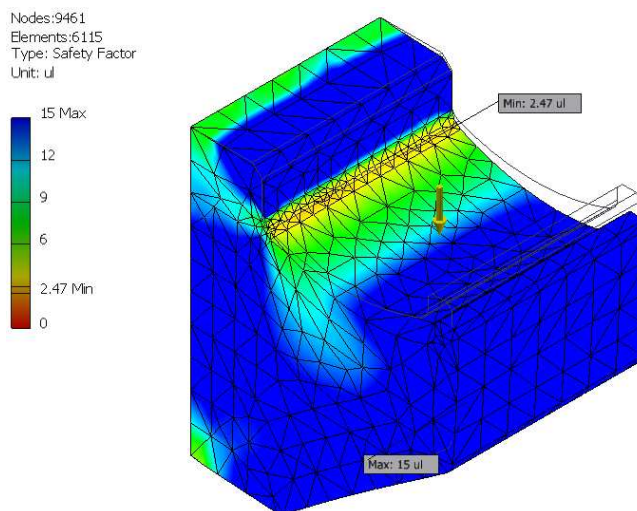
Simulando el estado de carga se obtienen los siguientes resultados del programa INVENTOR.



**Figura 3.42** Esfuerzos de Von Mises actuantes en el elemento.



**Figura 3.43** Desplazamientos máximos del elemento soporte.



**Figura 3.44** Factor de seguridad del elemento soporte.

**Fuente:** Propia.

De los resultados obtenidos se concluye que para el estado de carga actuante sobre este elemento, se verifica el factor de seguridad mínimo de 2.47. De manera similar se garantiza los bajos desplazamientos que deben existir en el diseño equivalente a 0.012 mm.

### **3.3.3 DISEÑO DEL EJE.**

El eje de las ruedas realiza varias funciones dentro del sistema de transmisión de movimiento, entre estas se tiene:

- Permite el soporte de la estructura correspondiente a la rueda tanto motriz como de reenvío.
- Permite el acople de las estructuras de soporte (estación de salida y de llegada) con las ruedas.
- Permite el movimiento de rotación de las ruedas cuando se transmite la potencia del motor.

El diseño del eje corresponde a determinar el diámetro óptimo que garantice la seguridad estática y dinámica de acuerdo al estado de cargas presentes.

#### **3.3.3.1 Consideraciones de diseño.**

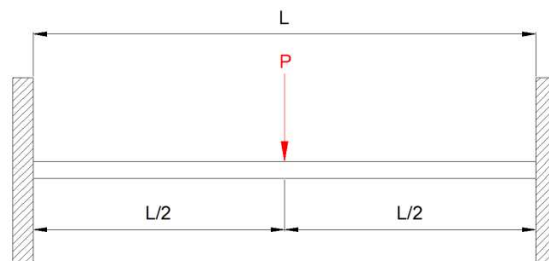
- El eje de la ruedas (motriz y reenvío) presenta las mismas características en geometría y estado de carga.
- El eje se encuentra sometido a cargas flexionantes producidas por la tensión del cable, y de torsión debido a la transmisión de la potencia del motor a la rueda.
- El efecto de flexión y torsión corresponden al estado crítico para la verificación estática, puesto que debido a la simetría del elemento, no se presentan esfuerzos por corte adicionales producidos por la tensión presente en el cable.
- El efecto de torsión corresponde al estado crítico para la verificación dinámica, este se produce puesto que en el eje se da un estado de carga nuevo cuando el motor arranca de la velocidad cero a la de funcionamiento.
- El material utilizado corresponde a un acero AISI 4340 debido a su alta resistencia mecánica.
- En el diseño se selecciona las chumaceras correspondientes, considerando que las mismas deben ser de características autoalineantes, para permitirle mayor funcionalidad al sistema.



- Se considera una longitud de 500 mm, y se determina el diámetro de la menor sección presente en el eje de acuerdo al estado crítico de carga, verificando que para secciones de mayor diámetro se garantiza la seguridad del elemento.
- La carga de flexión corresponde al valor de la resultante en el centro de la rueda equivalente a 28 toneladas.

### 3.3.3.2 Cargas de diseño.

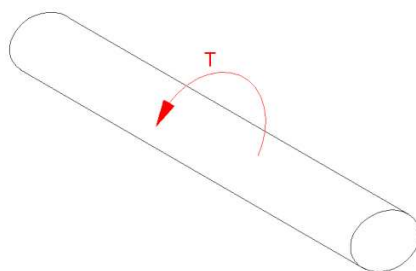
Para determinar las cargas de diseño estático se considera al eje como una viga con dos empotramientos en los extremos, y con una carga puntual en el centro de la misma como se muestra a continuación:



**Figura 3.45** Estado de carga estático del eje motriz y de reenvío.

**Fuente:** Propia.

Para el análisis del momento torsor producido se considera que este se aplica en el centro del eje produciendo así un estado de carga crítica en esta sección por cortante de torsión.



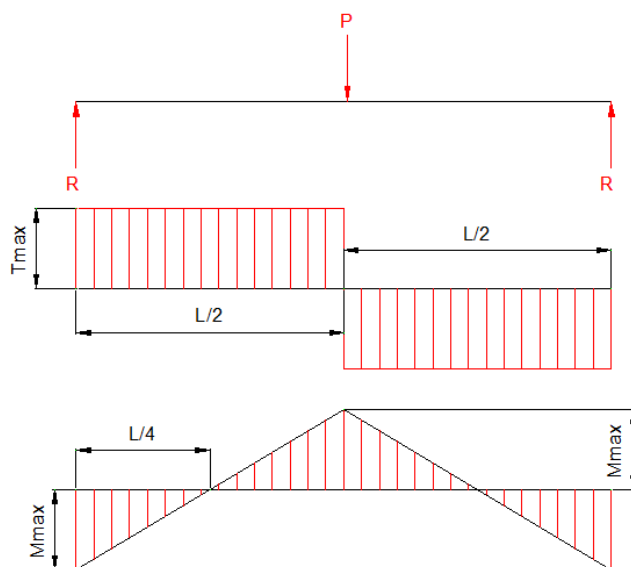
**Figura 3.46** Estado de carga dinámico del eje motriz y de reenvío.

**Fuente:** Propia.

En base a los estados de carga actuantes en el eje se realiza la verificación dinámica y estática del mismo.

### 3.3.3.2.1 Diseño estático.

De acuerdo a las condiciones para el eje se determina el diagrama de cuerpo libre y así determinar el diagrama de cortante y momento flector actuante en el elemento.



**Figura 3.47** Momento flector actuante en el eje motriz y de reenvío.

**Fuente:** Propia.

Para el análisis se emplean las siguientes expresiones:

$$M_{máx} = \frac{P \cdot L}{8}$$

(Ec. 3.54)

$$\tau = \frac{T_{máx} \cdot r}{J}$$

(Ec. 3.55)

Donde:

$T_{máx}$ : Torque transmitido por el motor a la rueda, [N. cm]

Del análisis realizado en la selección del motor del capítulo 4, se tienen las siguientes especificaciones:

<b>Denominación</b>	Motor-reductor (SK 973.1 - 180LX/4)
<b>Potencia nominal [hp]</b>	30
<b>Velocidad [rpm]</b>	55
<b>Torque [lb.in]</b>	34435
<b>Peso [lb]</b>	474

**Tabla 3.47** Especificaciones del motor de potencia.

**Fuente:** Catalogo Nord Drive Systems

Por lo tanto el esfuerzo por flexión se expresa como:

$$\sigma = \frac{32 \cdot M_{m\acute{a}x}}{\pi \cdot d^3}$$

(Ec. 3.56)

Es esfuerzo producido por torsión corresponde a:

$$\tau = \frac{16 \cdot T}{\pi \cdot d^3}$$

(Ec. 3.57)

Aplicando la teoría de la máxima energía de distorsión se determina el factor de seguridad para el diseño del elemento sometido a esfuerzo plano.

$$\sigma' = \sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2}$$

(Ec. 3.58)

$$n = \frac{S_y}{\sigma'}$$

(Ec. 3.59)

Donde:

$\sigma'$ : Esfuerzos de Von Misses,  $[N/cm^2]$

Por lo tanto realizando un proceso iterativo se determina el diámetro del eje que proporcione la seguridad adecuada del elemento.

<i>L</i> [cm]	<i>P</i> [N]	<i>d</i> [cm]	<i>M</i> [N.cm]	<i>T</i> [N.cm]	$\sigma$ [N/cm <sup>2</sup> ]	$\tau$ [N/cm <sup>2</sup> ]	$\sigma'$ [N/cm <sup>2</sup> ]	<i>S<sub>y</sub></i> [N/cm <sup>2</sup> ]	<i>n</i>
50	280000	5	1750000	389218.8	142602.83	15858.2	3461866.0	686000.0	0.2
50	280000	6	1750000	389218.8	82524.79	9177.2	1524975.0	686000.0	0.4
50	280000	7	1750000	389218.8	51968.96	5779.2	762738.6	686000.0	0.9
50	280000	8	1750000	389218.8	34815.14	3871.6	418705.0	686000.0	1.6
50	280000	9	1750000	389218.8	24451.79	2719.2	246806.8	686000.0	2.8
50	280000	10	1750000	389218.8	17825.35	1982.3	153900.2	686000.0	4.5
50	280000	11	1750000	389218.8	13392.45	1489.3	100446.4	686000.0	6.8
50	280000	12	1750000	389218.8	10315.60	1147.1	68082.3	686000.0	10.1
50	280000	13	1750000	389218.8	8113.50	902.3	47638.0	686000.0	14.4

**Tabla 3.48** Determinación del diámetro de la rueda motriz y de reenvío.

**Fuente:** Propia.

Considerando que este elemento se acopla con el soporte interior y este agujero presenta un diámetro de 10 cm, se verifica esta dimensión para el eje con un factor de seguridad de 4.5.

### 3.3.3.2.2 Diseño dinámico.<sup>30</sup>

La predicción de falla más precisa estático a torsión es la que proporciona la teoría de la energía de distorsión donde:

$$S_{sy} = 0.577 \cdot S_y$$

(Ec. 3.60)

Según pruebas los resultados demuestran que esta teoría también permite predecir el límite de fatiga al corte ( $S_{se}, S_{sf}$ ) cuando se conoce el límite a la tensión ( $S_e$ ), por lo tanto la energía de la distorsión señala que:

<sup>30</sup> SHIGLEY JOSEPH; "Manual de Diseño Mecánico"; Editorial Mc Graw-Hill; Cuarta edición; México; 1989; Pág. 288-360.

$$S_{se} = 0.577 \cdot S_e$$

(Ec. 3.61)

Donde:

$S_{sy}$ : Resistencia a la fluencia al corte.

$S_{se}$ : Límite de resistencia a la fatiga por cortante del elemento mecánico.

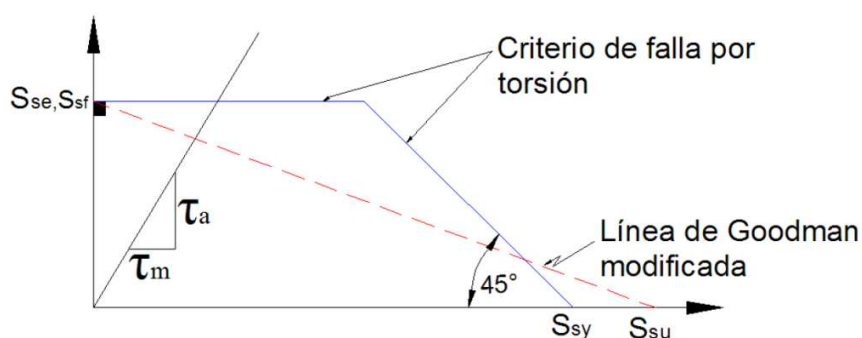
$S_e$ : Límite de resistencia a la fatiga del elemento mecánico.

Según las pruebas realizadas con la amplitud del esfuerzo cortante  $\tau$ , un esfuerzo cortante medio torsional  $\tau_m$ , las resistencias correspondientes son el límite de fatiga por cortante, la resistencia de fluencia al corte y el módulo torsional de rotura ( $S_{su}$ ). Cuando se utiliza las resistencias es posible elaborar diagramas de fatiga torsional como se muestra a continuación, donde se establece el factor de diseño con la siguiente relación:

$$n = \frac{S_{se}}{\tau_a} = \frac{S_{sf}}{\tau_a}$$

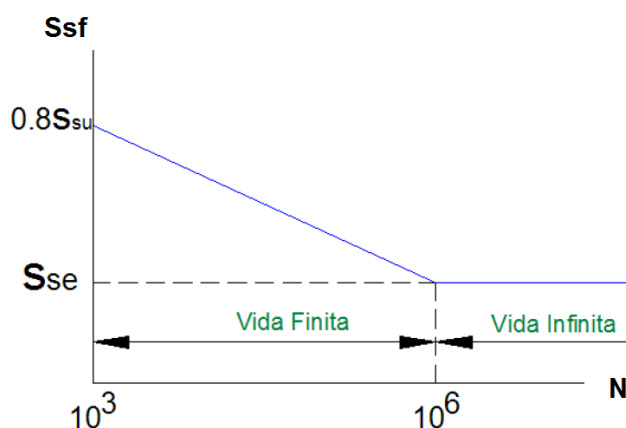
(Ec. 3.62)

$S_{su}$ : Módulo torsional de rotura.



**Figura 3.48** Diagrama de fatiga para esfuerzo torsional.

A continuación se indica el gráfico de la resistencia a la fatiga por cortante vs el número de ciclos, tanto para vida finita como para vida infinita y las fórmulas para determinar la resistencia a la fatiga.



**Figura 3.49** Diagrama de resistencia a la fatiga por cortante vs. Número de ciclos.

$$S_{sf} = N^b \cdot 10^c$$

(Ec. 3.63)

Para materiales dúctiles los valores de las constantes  $b$  y  $c$  se determinan por:

$$b = -\frac{1}{3} \log \left( \frac{0.8 \cdot S_{su}}{S_{se}} \right)$$

(Ec. 3.64)

$$c = \log \left( \frac{(0.8 \cdot S_{su})^2}{S_{se}} \right)$$

(Ec. 3.65)

En este caso se desea diseñar el eje para vida infinita, por lo que para el diseño se utiliza el límite de resistencia a la fatiga por cortante del elemento mecánico. Para determinar el valor del límite de fluencia del elemento mecánico, es necesario considerar que esperar que el límite de fluencia de una probeta nunca será similar al anterior, puesto que este se ve afectado por un serie de factores.

$$S_e = S_e' \cdot k_a \cdot k_b \cdot k_c \cdot k_d \cdot k_e \cdot k_f$$

(Ec. 3.66)

Donde:

$S_e'$ : Límite de resistencia a la fatiga de la probeta.

$k_a$ : Factor de superficie.

$k_b$ : Factor de tamaño.

$k_c$ : Factor de confiabilidad.

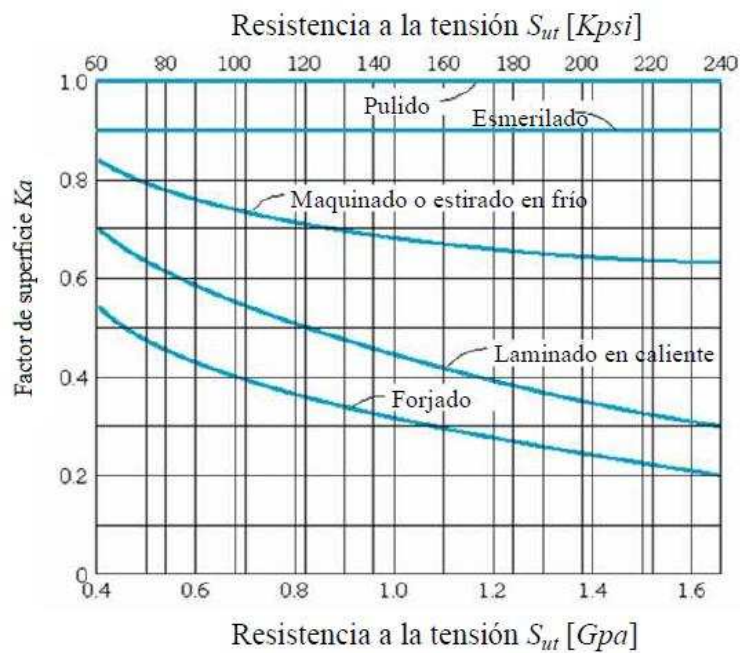
$k_d$ : Factor de temperatura.

$k_e$ : Factor de modificación por concentración de esfuerzo.

$k_f$ : Factor de efectos diversos.

Estos factores se definen en base a características de funcionamiento, construcción, geometría etc. Como se detalla a continuación:

- Factor de acabado superficial. ( $k_a$ )



**Figura 3.50** Factor de acabado superficial.

**Fuente:** SHIGLEY J.; Cuarta edición; Pág. 308.

- Factor de corrección por tamaño. ( $k_b$ )

Para la acción individual de flexión, torsión o combinados.

$$k_b = 0.869 \times d^{-0.097} \quad \text{si} \quad 0.3" < d < 10"$$

$$k_b = 1 \quad \text{si} \quad d \leq 10"$$

$$k_b = 1.189 \times d^{-0.097} \quad \text{si} \quad 8 \text{ mm} < d < 250 \text{ mm}$$

- Factor de confiabilidad. ( $k_c$ )

CONFIABILIDAD	FACTOR ( $k_c$ )
0.50	1.000
0.90	0.897
0.95	0.868
0.99	0.814
0.999	0.753

**Tabla 3.49** Factor de confiabilidad.

**Fuente:** SHIGLEY J.; Cuarta edición; Pág. 319.

En la mayoría de ocasiones en la que no se especifica la alguna confiabilidad se asume R=50%.

- **Factor de corrección por temperatura. ( $k_d$ )**

$$k_d = 1 \quad \text{si} \quad T \leq 450 \text{ }^\circ\text{C} \text{ (840}^\circ\text{F)}$$

$$k_d = 1 - (5.8E - 3)(T - 450) \quad \text{si} \quad 450^\circ\text{C} < T \leq 550^\circ\text{C}$$

$$k_d = 1 - (3.2E - 3)(T - 840) \quad \text{si} \quad 840^\circ\text{C} < T \leq 1020^\circ\text{C}$$

- **Factor de concentración de esfuerzos. ( $k_e$ )**



Los elementos mecánicos tienen: agujeros, ranuras, u otras clases de discontinuidades, los cuales aumentan el esfuerzo, de acuerdo a:

$$\sigma_{m\acute{a}x} = k_t \cdot \sigma_o \quad y \quad \tau_{m\acute{a}x} = k_{ts} \cdot \tau_o$$

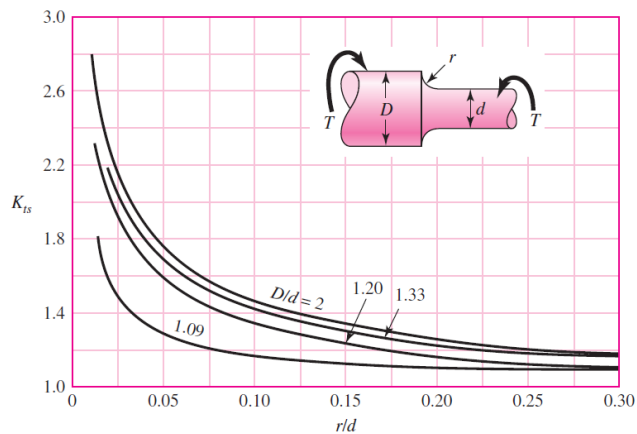
El diseño del eje corresponde a una geometría sencilla que permite un fácil ensamble como se muestra a continuación.



**Figura 3.51** Geometría del eje de acople.

**Fuente:** Propia.

Considerando que el eje se encuentra sometido a esfuerzos cortantes variables se tiene como concentrador de esfuerzos a los dos cambios de sección existentes en el mismo. Por lo tanto para determinar el factor  $k_{ts}$  se presenta la siguiente figura.



**Figura 3.52** Factor concentrador de esfuerzos cortantes para cambio de sección.

**Fuente:** SHIGLEY J.; Octava edición; Pág. 1008.

En diseño estático los materiales dúctiles no experimentan concentrador de tensiones; pero, los aceros de alta resistencia y baja ductilidad, aceros endurecidos superficialmente, y los materiales frágiles si les afecta el concentrador de tensiones.

El valor de  $k_{ts}$  no se aplica directamente, sino un valor reducido de este factor, para torsión dado por:

$$k_{es} = \frac{1}{k_{fs}} = \frac{1}{1 + q_s(K_{ts} - 1)}$$

(Ec. 3.67)

Donde:

$q_s$ : Sensibilidad de la ranura o entalle a la torsión.

Para los materiales frágiles la sensibilidad es baja:  $0 \leq q_s \leq 0.2$

Para hierros fundidos:  $q = 0.2$

- Factor de efectos diversos. ( $k_f$ )

Dentro de este factor se pueden incluir parámetros de efectos residuales remanentes, corrosión, recubrimiento electrolítico, metalizado por aspersión, etc. Generalmente el valor de ( $k_f$ ) es tomado como la unidad. Una vez que se determinan los factores de corrección es necesario determinar el valor del límite de resistencia a la fatiga de la probeta ( $S_e'$ ) en base a la siguiente consideración.

MATERIAL	RELACIÓN	CONDICIÓN
Dúctil	$S_e' = 0.5 \times S_{ut}$	$S_{ut} \leq 200$ [kpsi]
	$S_e' = 100$ [kpsi]	$S_{ut} > 200$ [kpsi]
Frágil	$S_e' = 0.45 \times S_{ut}$	$S_{ut} \leq 88$ [kpsi]
	$S_e' = 40$ [kpsi]	$S_{ut} > 88$ [kpsi]

**Tabla 3.50** Límite de resistencia a la fatiga de la probeta de ensayo.

**Fuente:** SHIGLEY J.; Octava edición; Pág. 294-295.

Para el material utilizado corresponde a un material dúctil con un valor de límite de fluencia de aproximadamente 100 ksi, entonces:

$$S_e' = 0.5 \times 100 \text{ [ksi]} = 50 \text{ [ksi]}$$

Factor	Valor	Observación
$k_a$	0.74	Superficie maquinada.
$k_b$	0.76	Diámetro de la sección 100 mm
$k_c$	1.0	Confiabilidad del 50 %
$k_d$	1.0	Temperatura de funcionamiento ambiente
$k_e$	0.87	D/d=1.4; r/d=0.05; $K_{ts}=1.75$ ; $q_s=0.2$
$k_f$	1	Factores varios.

**Tabla 3.51** Factores de corrección del límite de fluencia.

**Fuente:** Propia.

$$S_e = 50 \times 0.74 \times 0.76 \times 0.87 = 24.5 \text{ [ksi]}$$

$$S_{se} = 0.577 \times 24.5 = 14.1 \text{ [ksi]}$$

En lo correspondiente a los esfuerzos fluctuantes presentes en el eje se determina que estos tienen un valor mínimo de cero y un máximo equivalente al esfuerzo cortante producido por el torque del motor.

$$\tau_{m\acute{a}x} = 1982.3 \text{ [N/cm}^2\text{]} = 3 \text{ [ksi]}$$

$$\tau_{min} = 0 \text{ [ksi]}$$

Por lo tanto se tiene que la amplitud del esfuerzo ( $\tau_a$ ) y esfuerzos medio ( $\tau_m$ ) corresponden a:

$$\tau_m = \frac{(\tau_{m\acute{a}x} + \tau_{min})}{2} = 1.5 \text{ [ksi]}$$

$$\tau_a = \frac{(\tau_{m\acute{a}x} - \tau_{min})}{2} = 1.5 \text{ [ksi]}$$

De la expresión 3.97 se tiene que el factor de seguridad a fatiga es:

$$n = \frac{14.1}{1.5} = 9.4$$

Determinados los factores de diseño tanto estáticos como dinámicos se concluye que el dimensionamiento del eje garantiza la seguridad del elemento, además que al tener elevados factores de seguridad se compensa cualquier error que se puede producir por efectos de cálculo.

#### 3.3.3.2.3 Selección de chumaceras.

Considerando que el eje presenta una velocidad de funcionamiento baja, la selección de los rodamientos se realiza bajo un análisis estático, además es necesario verificar la capacidad de compensar desalineaciones y soportar cargas (axiales y radiales).

De acuerdo al catalogo FAG se tiene como solución válida rodamientos oscilantes de rodillos los cuales presentan:<sup>31</sup>

- Muy buena capacidad de carga radial.
- Buena capacidad de carga axial.
- Capacidad de compensar desalineaciones.
- Bajo rozamiento.

Las cargas actuantes sobre el rodamiento corresponden a la reacción determinada en cada empotramiento del eje producida por la tensión de trabajo y la carga por el peso de la rueda, por lo tanto se tiene:

$$F_r = 140 [kN]$$

$$F_a = 30 [kN]$$

Verificando estáticamente para rodamientos oscilantes de una sola hilera de rodillos se tiene:

$$P_o = F_r + 5F_a$$

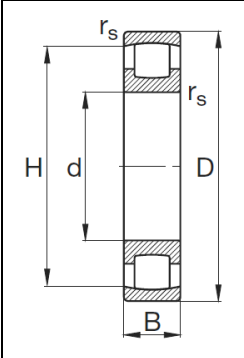
(Ec. 3.68)

---

<sup>31</sup> RODAMIENTOS FAG; Catálogo WL 41 520/3 SB; Edición 2000; España; Págs.22-23.

$$P_o = 140 + 5(30) = 290 \text{ [kN]}$$

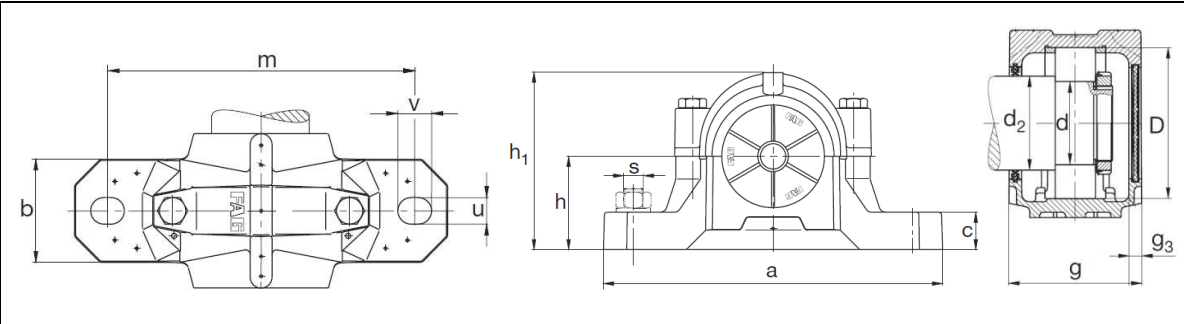
De acuerdo a la capacidad de carga estática determinada y considerando el diámetro del eje se selecciona un rodamiento **FAG 20220MB** con las siguientes características.

	$d = 100 \text{ [mm]}$
	$D = 180 \text{ [mm]}$
	$B = 34 \text{ [mm]}$
	$r_s = 2.1 \text{ [mm]}$
	$H = 160.8 \text{ [mm]}$
	$C = 224 \text{ [kN]}$
	$C_o = 290 \text{ [kN]}$
	$V_{limite} = 1900 \text{ [rpm]}$

**Tabla 3.52** Medidas del rodamiento del eje motriz y de reenvío (mm).

**Fuente:** RODAMIENTOS FAG; Pág.356-357.

Una vez determinado el rodamiento es necesario determinar las características del soporte (chumacera) para definir de mejor manera la geometría correcta del eje. En este caso FAG recomienda utilizar soportes del tipo partido puesto que facilita el montaje y mantenimiento de los rodamientos. Se utiliza un soporte **SNV 180** con obturación de doble labio DH y tapa DKV.

									
$d$	$d_2$	$D$	$g$	$a$	$c$	$h$	$m$	$v$	$b$
100	115	180	160	380	40	112	320	32	110

**Tabla 3.53** Dimensiones del soporte del rodamiento (mm).

**Fuente:** RODAMIENTOS FAG; Pág. 638-639.

### 3.3.4 DISEÑO DEL CARRO MÓVIL.

El carro móvil es el elemento encargado de sostener la rueda motriz, además de absorber las variaciones de carga que se producen en el cable por el ascenso y descenso de las personas en los vehículos de transporte en forma de desplazamiento sobre la estructura de la estación de salida.

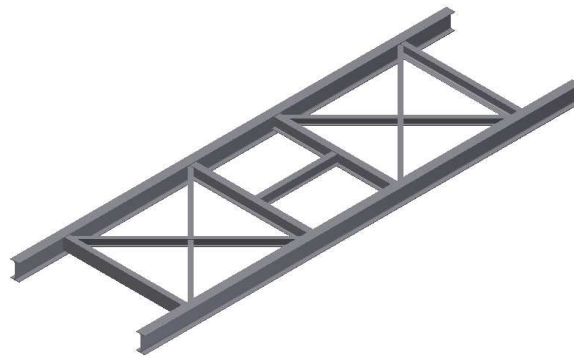


Figura 3.53 Estructura del carro móvil.

Fuente: Propia.

La estructura de soporte consta de una viga central sometida a cargas flexionantes por el peso de la rueda (20000 N) y dos vigas laterales que soportan la flexión producida por el peso del motor y del sistema Hidráulico (40000 N) ubicado en la parte superior de la estructura. De un análisis realizado en el programa INVENTOR se tiene los siguientes resultados:

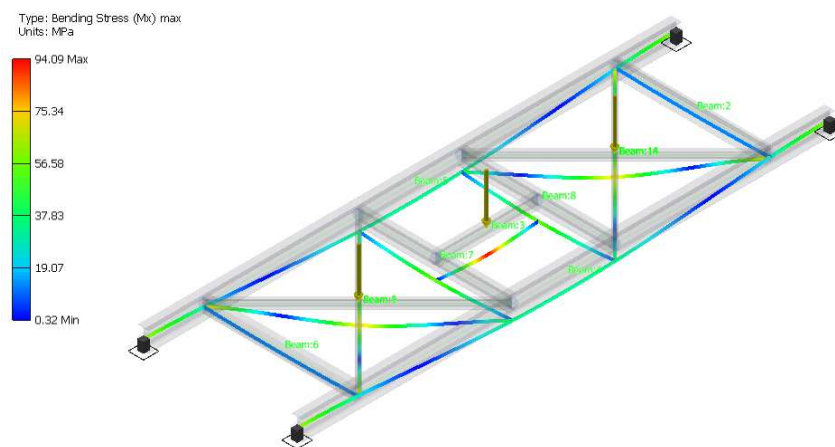
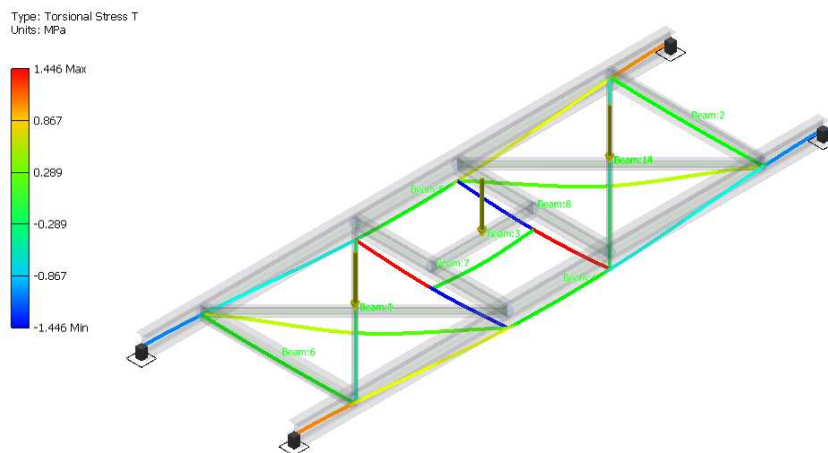
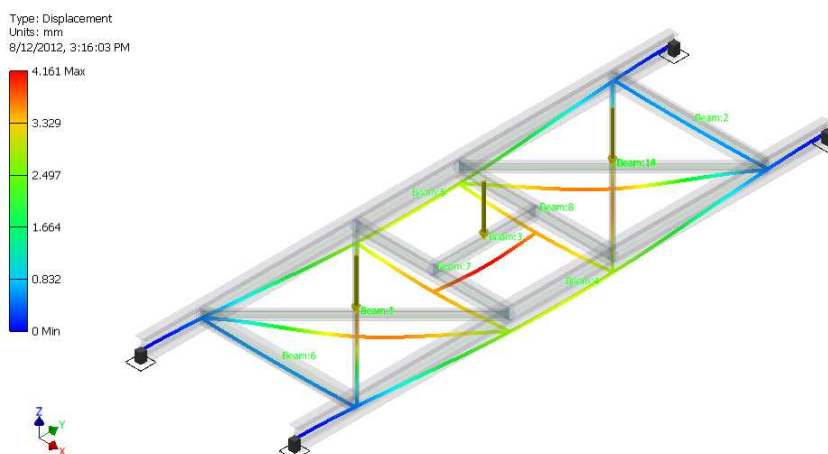


Figura 3.54 Esfuerzos de flexión máximos presentes en la estructura.



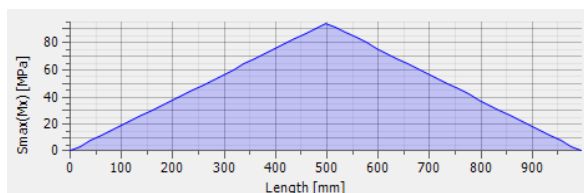
**Figura 3.55** Esfuerzos torsionales actuantes en la estructura.



**Figura 3.56** Desplazamientos en el soporte secundario.

**Fuente:** Propia.

Por lo tanto verificando la viga crítica se tiene el siguiente diagrama de esfuerzos normales máximos actuantes en la viga.



**Figura 3.57** Esfuerzos normales máximos actuantes en la viga central.

**Fuente:** Propia.

Por lo tanto aplicando el factor de seguridad estructural a esfuerzos de flexión con las recomendaciones se tiene que:

$$I_b = \frac{f_b}{0.6 \times S_y} \leq 0.67$$

(Ec. 3.69)

Por lo tanto en base a los datos obtenidos de la simulación se tiene:

$$I_b = \frac{94.1 [MPa]}{0.6 \times 250 [MPa]} = 0.63$$

Por lo tanto el perfil seleccionado DIN IPE 120 cumple con los requerimientos de seguridad. Además se verifica la deflexión máxima de la viga en la parte central la cual es de 4.16 mm por lo que se necesita colocar placas rigidizadoras.

Todos los elementos se dimensionan con un factor de seguridad mínimo de 2.5 y con perfiles normalizados.



## CAPÍTULO 4.

### 4 POTENCIA DEL SISTEMA.

Es el sistema encargado de proporcionar la potencia necesaria para iniciar y mantener el movimiento en los elementos del sistema teleférico hasta las condiciones de funcionamiento recomendadas.

#### 4.1 SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS.

En base a las características funcionales del proyecto es necesario optar por alternativas que proporcionen bajas revoluciones y grandes torques por lo que se plantean las siguientes opciones:

- Sistema de potencia con motor eléctrico.
- Sistema de potencia con motor hidráulico.

##### 4.1.1 ALTERNATIVA 1: Sistema de potencia con motor eléctrico.

###### 4.1.1.1 Funcionamiento y Características.<sup>32</sup>

El principio de funcionamiento del motor eléctrico se basa en la ley de Faraday que indica que cualquier conductor que se mueve en el seno del campo magnético de un imán se generara una diferencia de potencial entre sus extremos proporcional a la velocidad de desplazamiento.

El sentido de la corriente eléctrica que circula por el inducido está definido mediante la Ley de Lenz que indica que toda variación que se produzca en el campo magnético tiende a crear un efecto en sentido opuesto que compense y anule la causa que la produjo. Si esta ley se aplica a nuestro caso nos indicará que la corriente inducida creará un campo magnético para que se oponga al movimiento de la misma lo que obligará a aplicar una determinada energía para mantener el movimiento la cual dependerá lógicamente de la intensidad de la corriente generada y del valor de la resistencia de carga ( $R_c$ ), pudiendo calcularse como el producto de

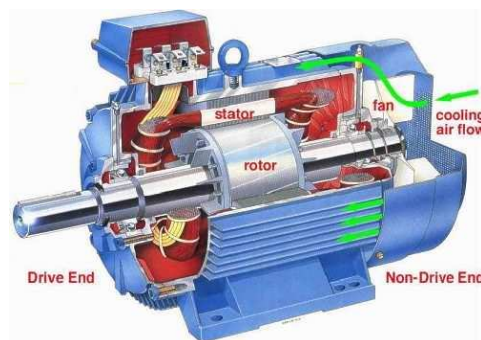
---

<sup>32</sup> [www.uca.edu.sv/facultad/clases/ing/m200020/doc5.doc](http://www.uca.edu.sv/facultad/clases/ing/m200020/doc5.doc)

la energía consumida en la carga por un número que expresará el rendimiento de la conversión. Ahora bien, todos los fenómenos expresados corresponden al efecto opuesto al de un motor, es decir, que mediante el sistema descrito se genera un corriente eléctrica a partir de un movimiento mecánico, lo que corresponde al principio de funcionamiento de un dínamo, sin embargo, al ser dicho efecto reversible, bastará con invertir los papeles y si en lugar de extraer corriente del inducido se le aplica un determinada tensión exterior, se producirá la circulación de una cierta intensidad de corriente por las espiras y éstas comenzarán a girar, completándose así el motor.

Normalmente los motores se caracterizan por dos parámetros que expresan directamente sus propiedades. Son los siguientes:

- Velocidad de rotación. Indica el número de vueltas por unidad de tiempo que produce el motor y depende por completo de la forma de construcción del mismo, de la tensión de alimentación, así como de la carga mecánica que se acople a su eje
- Par motor. Expresa la dureza de actuación de éste y depende lógicamente de la potencia que sea capaz de desarrollar dicho motor, así como de la velocidad de rotación del mismo. El concepto de par motor es importante a la hora de elegir un modelo para una aplicación determinada



**Figura 4.1** Motor Eléctrico.

**Fuente:** <http://blog.espol.edu.ec/crielectric/2011/07/02/motores-electricos/>

#### 4.1.1.2 Ventajas.<sup>33</sup>

- Cero emisión de contaminantes atmosféricos.
- Mayor ahorro energético puesto que las baterías pueden ser recargas en menor tiempo con mayor tiempo de uso.
- No necesita un estricto programa de mantenimiento
- No produce contaminación acústica.
- Los motores eléctricos utilizan un intervalo de velocidades de rotación mucho mayor que los motores de combustión.
- El motor eléctrico posee una densidad de potencia mayor que un motor de combustión, lo que permite la producción e implantación de la misma potencia del motor en un espacio más reducido.
- Algunos motores eléctricos son reversibles, pueden transformar energía mecánica en energía eléctrica.
- Se pueden fabricar en función de las necesidades del sistema.

#### 4.1.1.3 Desventajas.

- Para su funcionamiento necesitan una constante conexión al suministro de energía.
- El mantenimiento de algunas de sus piezas (escobillas y colectores) es complejo y requiere de personal técnico calificado.
- Cuando se instala un sistema con motor eléctrico es necesario dotar un motor auxiliar (generador) en caso de un fallo en el suministro de energía eléctrica y el suministro de las baterías se haya agotado.
- Tienen un peso elevado, debido al banco de baterías las cuales pueden llegar a pesar media tonelada.
- El nivel de autonomía es bajo.
- Las baterías resultan caras y poco duraderas.
- Los materiales para su construcción son costosos.

---

<sup>33</sup> [http://www.consumer.es/web/es/motor/mantenimiento\\_automovil/2005/10/17/146199.php](http://www.consumer.es/web/es/motor/mantenimiento_automovil/2005/10/17/146199.php)

## 4.1.2 ALTERNATIVA 2: Sistema de potencia con motor hidráulico

### 4.1.2.1 Funcionamiento y características.<sup>34</sup>

Los motores hidráulicos son máquinas que transforman energía oleo hidráulica en energía mecánica de rotación, una forma de explicar su funcionamiento es haciendo referencia a la forma en que trabajan las bombas, estos lo hacen de forma inversa; existen algunos casos en que el componente puede funcionar de las dos formas simplemente modificando la función de los conductos de aceite, para el caso de los motores son conductos de presión. Los motores hidráulicos son impulsados por el fluido suministrado por una bomba desarrollando un par y un movimiento continuo de rotación, es decir, convierten la energía hidráulica en torque y como resultado fuerza. Como los dos orificios del motor, de entrada y de salida, pueden ser ambos presurizados (motores bidireccionales).



Figura 4.2 Motores hidráulicos de caudal fijo, alto torque y bajas rpm.

### 4.1.2.2 Ventajas.<sup>35</sup>

- Las fuerzas pueden regularse de manera continua.
- Se puede llegar en los elementos hidráulicos de trabajo hasta su total parada, sin riesgos de sobrecarga o tendencia al calentamiento.
- El fluido (aceite) se adapta a las tuberías y transmite fuerza como si fuera una barra de acero.

<sup>34</sup> [www.uca.edu.sv/facultad/clases/ing/m200020/doc5.doc](http://www.uca.edu.sv/facultad/clases/ing/m200020/doc5.doc)

<sup>35</sup> <http://www.mitecnologico.com/iem/Main/VentajasYDesventajasDeLosSistemasHidraulicos>.

- Los elementos del sistema son reversibles además de que se pueden frenar en marcha.
- Existen pocas piezas en movimiento como por ejemplo: bombas, motores y cilindros.
- Gran capacidad de amplificación de fuerzas.

#### 4.1.2.3 Desventajas.

- Se obtienen velocidades bajas en los actuadores.
- En la manipulación de los aceites, aparatos y tuberías, como el lugar de la ubicación de la máquina; en la práctica hay muy pocas Máquinas hidráulicas que extremen las medidas de limpieza.
- Exige un buen y continuo mantenimiento.
- Costos altos de bombas, motores, válvulas proporcionales y servo válvulas.
- Tratamiento de los desechos.

#### 4.1.3 EVALUACIÓN DE ALTERNATIVAS.

En base a los anteriores criterios de evaluación se determina el peso específico de cada criterio.

Criterio	Costo	F.M.	Seguridad	Mantenimiento	Operación	$\Sigma+1$	Ponderación
<b>Costo</b>		1	0.5	1	1	4.5	0.30
<b>F.M.</b>	0		0	0.5	0.5	2	0.13
<b>Seguridad</b>	0.5	1		1	1	4.5	0.30
<b>Mantenimiento</b>	0	0.5	0		0.5	2	0.13
<b>Operación</b>	0	0.5	0	0.5		2	0.13
					<b>Suma</b>	<b>15</b>	<b>1.00</b>

**Tabla 4.1** Evaluación del peso específico de cada criterio.

Fuente: Propia.

De la Tabla 4.1 se tiene la siguiente conclusión:

Seguridad = Costo > Facilidad de montaje = Mantenimiento = Operación.

Evaluando los pesos específicos de las soluciones para cada criterio se tiene:

- Evaluación del peso específico del criterio: **Costo**

Costo	Sistema Eléctrico	Sistema Hidráulico	$\Sigma+1$	Ponderación
Sistema Eléctrico		0.5	1.5	0.50
Sistema Hidráulico	0.5		1.5	0.50
		<b>Suma</b>	<b>3</b>	<b>1.00</b>

Tabla 4.2 Evaluación de peso específico del criterio costo.

Fuente: Propia.

- Evaluación del peso específico del criterio: **Seguridad**

Seguridad	Sistema Eléctrico	Sistema Hidráulico	$\Sigma+1$	Ponderación
Sistema Eléctrico		0	1	0.33
Sistema Hidráulico	1		2	0.67
		<b>Suma</b>	<b>3</b>	<b>1.00</b>

Tabla 4.3 Evaluación del peso específico del criterio seguridad.

- Evaluación del peso específico del criterio: **Facilidad de montaje (F.M.)**.

Facilidad de Montaje	Sistema Eléctrico	Sistema Hidráulico	$\Sigma+1$	Ponderación
Sistema Eléctrico		0.5	1.5	0.50
Sistema Hidráulico	0.5		1.5	0.50
		<b>Suma</b>	<b>3</b>	<b>1.00</b>

Tabla 4.4 Evaluación del peso específico del criterio facilidad de montaje.

Fuente: Propia.

- Evaluación del peso específico del criterio: **Mantenimiento**.

Mantenimiento	Sistema Eléctrico	Sistema Hidráulico	$\Sigma+1$	Ponderación
Sistema Eléctrico		1	2	0.67
Sistema Hidráulico	0		1	0.33
		<b>Suma</b>	<b>3</b>	<b>1.00</b>

Tabla 4.5 Evaluación del peso específico del criterio mantenimiento.

Fuente: Propia.

- Evaluación del peso específico del criterio: **Operación**.

Operación	Sistema Eléctrico	Sistema Hidráulico	$\Sigma+1$	Ponderación
Sistema Eléctrico		0	1	0.33
Sistema Hidráulico	1		2	0.67
		<b>Suma</b>	3	1.00

**Tabla 4.6** Evaluación del peso específico del criterio operación.

Fuente: Propia.

De los valores obtenidos de la evaluación del peso específico para cada criterio se muestra la siguiente tabla de conclusiones.

Conclusión	Costo	Seguridad	Facilidad de Montaje	Mantenimiento	Operación	$\Sigma$
Sistema Eléctrico	0.15	0.10	0.07	0.09	0.04	0.45
Sistema Hidráulico	0.15	0.20	0.07	0.04	0.09	0.55

**Tabla 4.7** Tabla de conclusiones para la selección de alternativas.

Fuente: Propia.

De la tabla de conclusiones del presente análisis se puede apreciar que la alternativa correspondiente al sistema Hidráulico proporciona el cumplimiento de la mayoría de los parámetros de evaluación.

## 4.2 DETERMINACION DE LA POTENCIA DEL SISTEMA.<sup>36</sup>

La determinación de este parámetro nos permite realizar la selección del motor que sea capaz de suministrar la potencia necesaria al sistema.

### 4.2.1 POTENCIA DE ARRANQUE.

La potencia de arranque constituye la capacidad del motor para vencer la inercia del sistema, es decir cambiar el estado de reposo hasta la velocidad de funcionamiento en un tiempo determinado. Para determinar la potencia de arranque se estiman los siguientes parámetros.

<sup>36</sup> PARRA L., ROMERO J., ROSERO E.; "Diseño de sistemas de cabinas teleféricos para recorrido turístico"; Tesis EPN; 2000; Pág. 101-108.

#### 4.2.1.1 Fuerza para acelerar el cable.

Es la fuerza necesaria para proporcionar al cable la aceleración de funcionamiento, esta fuerza se determina como:

$$F_c = m_c \times a_c$$

(Ec. 4.1)

Donde:

$F_c$ : Fuerza para vencer la inercia del cable, [N]

$m_c$ : Masa total del cable, [kg]

$a_c$ : Aceleración del cable, [ $m/s^2$ ]

La masa total del cable es el producto de su longitud total en los tramos rectos incluido la longitud enrollada en la polea motriz y de reenvío por la especificación de peso por unidad por longitud.

#### 4.2.1.2 Fuerza para acelerar los vehículos de transporte.

Es la fuerza necesaria para proporcionar la velocidad de funcionamiento a los vehículos de transporte. Esta fuerza se expresa como:

$$F_s = N \times m_s \times a_s$$

(Ec. 4.2)

Donde:

$F_s$ : Fuerza para vencer la inercia producida por los vehículos de transporte, [N]

$N$ : Número de vehículos de transporte.

$m_s$ : Masa total del vehículo incluido los pasajeros, [kg]

$a_s$ : Aceleración del vehículo, [ $m/s^2$ ]



#### 4.2.1.3 Torque para acelerar angularmente la rueda motriz y de reenvío.

Es el torque que se debe proporcionar a la rueda motriz y de reenvío para acelerarlas angularmente hasta la velocidad de funcionamiento del sistema. El torque esta dado por:

$$\tau_r = N_r \times (I_r \cdot \alpha_r + f_{roz} \cdot r_r) \quad (\text{Ec. 4.3})$$

$$f_{roz} = \rho \cdot T \cdot \sin\left(\frac{\alpha}{2}\right) \quad (\text{Ec. 4.4})$$

Donde:

$\tau_r$ : Torque para acelerar angularmente la rueda motriz y de reenvío,  $[N \cdot m]$

$N_r$ : Número de ruedas motriz y de reenvío.

$I_r$ : Inercia de la rueda,  $[kg \cdot m^2]$

$\alpha_r$ : Aceleración angular de la rueda,  $[rad/s^2]$

$f_{roz}$ : Fuerza de rozamiento de rodadura,  $[rad/s^2]$

$\rho$ : Coeficiente de rozamiento de rodadura.

$\alpha$ : Ángulo de contacto del cable con la rueda,  $[rad]$

$r_r$ : Radio de la rueda motriz o de reenvío,  $[m]$

$T$ : Tensión máxima en el cable,  $[N]$

#### 4.2.1.4 Torque para acelerar angularmente las ruedas del tren de poleas.

El análisis del torque necesario para el acelerar angularmente las ruedas del tren de poleas es similar al mostrado en el punto 4.2.1.3 con las siguientes diferencias:

$$\tau_p = N_p \times (I_p \cdot \alpha_p + f_{roz} \cdot r_p) \quad (\text{Ec. 4.5})$$

$$f_{rozp} = \rho \cdot T \cdot \sin\left(\frac{\alpha}{2}\right) \quad (\text{Ec. 4.6})$$

Para determinar la inercia de la polea se considera un disco sólido, entonces:

$$I_p = \frac{1}{2} \times m_p \times r_p^2 \quad (\text{Ec. 4.7})$$

Donde:

$\tau_p$ : Torque para acelerar angularmente las poleas del tren de poleas,  $[N \cdot m]$

$N_p$ : Número de poleas.

$I_p$ : Inercia de la polea,  $[kg \cdot m^2]$

$\alpha_p$ : Aceleración angular de la polea,  $[rad/s^2]$

$f_{roz}$ : Fuerza de rozamiento de rodadura en las poleas,  $[rad/s^2]$

$\rho$ : Coeficiente de rozamiento de rodadura.

$\alpha$ : Ángulo de contacto del cable con la polea,  $[rad]$

$r_p$ : Radio de la polea,  $[m]$

$T$ : Tensión máxima en el cable,  $[N]$

$M_p$ : Masa de la polea,  $[kg]$

#### 4.2.1.5 Torque para acelerar angularmente el segmento de cable enrollado en la rueda.

Es el torque necesario para acelerar angularmente los segmentos de cable enrollados en la semicircunferencia de las ruedas tanto motriz y de reenvío desde el reposo hasta la velocidad angular de funcionamiento. Este torque se expresa como:

$$\tau_s = n \times (I_s \times \alpha_s)$$

(Ec. 4.8)

Donde:

$n$ : Número de segmentos.

$I_s$ : Inercia del segmento enrollado en la rueda motriz y de reenvío, [ $kg \cdot m^2$ ]

$\alpha_s$ : Aceleración angular del segmento, [ $rad/s^2$ ]

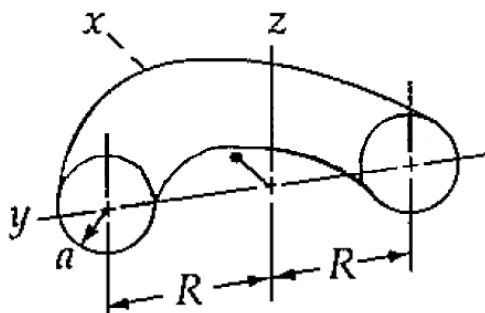


Figura 4.3 Esquema de la sección del cable enrollada en la rueda.<sup>37</sup>

$$I_s = m_c \times \left( R_r^2 + \frac{3}{4} r_c^2 \right)$$

(Ec. 4.9)

La inercia del segmento del cable corresponde a la de un semitorno respecto al eje perpendicular al centro de la circunferencia (eje z).

Donde:

$m_c$ : Masa del cable enrolado en la polea motriz y de reenvío, [ $kg$ ]

<sup>37</sup> MERIAM J.; "Mecánica para ingenieros-Estática"; Editorial Reverté; Tercera edición; España; Pág.424.

$r_c$ : Radio del cable, [m]

#### 4.2.1.6 Consideraciones de cálculo.

- El tiempo estimado en que el sistema alcanza la velocidad de funcionamiento considerada en las especificaciones de diseño de 1m/s corresponde a 4s, verificando que la aceleración del sistema no es superior a  $1\text{m/s}^2$ .
- La aceleración del cable y de los vehículos de transporte es la misma.
- En la rueda motriz y de reenvío el ángulo de contacto corresponde a  $180^\circ$ .
- El sistema está constituido por 12 vehículos (sillas dobles) con un peso estimado de 80 kg/vehículo y 24 ocupantes de 100 kg/ocupante.
- Se tienen 32 ruedas de apoyo con un ángulo de contacto de  $2^\circ$ .
- Para el análisis se debe considerar la masa del vehículo incluida la carga de los ocupantes, puesto que de esta manera se estima la situación crítica para el motor de emergencia de arrancar el sistema con toda su capacidad instalada.
- El coeficiente de rozamiento por rodadura corresponde a rodamientos de axiales oscilantes de rodillos.
- El material de la polea correspondiente al duralón que presenta una densidad de  $1.15\text{ g/cm}^3$ .
- La inercia de la rueda se determina del programa INVENTOR.

#### 4.2.1.7 Cálculo.

En base a las expresiones anteriores y las especificaciones de diseño se tienen los siguientes cálculos.

ÍTEM	DATOS	CÁLCULO
Fuerza para acelerar el cable [ $F_c$ ]	$\frac{m_c}{L_c} = 3.48 \left[ \frac{kg}{m} \right]$ $L_c = 1500 [m]$ $t = 4 [s]$ $V_t = 1 [m/s]$	$m_c = 3.48 \left[ \frac{kg}{m} \right] \times 1500 [m] = 5220 [kg]$ $a_c = \frac{1 [m/s]}{4 [s]} = 0.25 \left[ \frac{m}{s^2} \right]$ $F_c = 5220 [kg] \times 0.25 \left[ \frac{m}{s^2} \right] = 1305 [N]$
Fuerza para acelerar el vehículo de transporte [ $F_s$ ]	$N = 12 \text{ telesillas}$ $m_s = 280 [kg]$ $a_c = 0.25 \left[ \frac{m}{s^2} \right]$	$F_s = 12 \times 280 [kg] \times 0.25 \left[ \frac{m}{s^2} \right]$ $F_s = 840 [N]$
Torque para acelerar angularmente la rueda motriz y de reenvío. [ $\tau_r$ ]	$\alpha = \pi [rad]$ $\rho = 0.002^{38}$ $I_r = 5000 [kg \cdot m^2]^*$ $r_r = 2.25 [m]$ $N_r = 2 \text{ ruedas}$ $\omega = 0.45 [rad/s]$	$f_{roz} = 0.002 \times 140000 [N] \times \sin\left(\frac{\pi}{2}\right) = 280 [N]$ $\alpha = \frac{0.45 [rad/s]}{4 [s]} = 0.113 \left[ \frac{rad}{s^2} \right]$ $\tau_r = 2 \times \left( 5000 [kg \cdot m^2] \times 0.113 \left[ \frac{rad}{s^2} \right] + 280 [N] \times 2.25 [m] \right)$ $\tau_r = 1200 [N \cdot m]$
Torque para acelerar angularmente las ruedas del tren de poleas. [ $\tau_p$ ]	$\alpha = \pi/90 [rad]$ $T = 140000 [N]$ $\rho = 0.002$ $r_r = 0.1 [m]$ $N_r = 32 \text{ ruedas}$ $\omega = 10 [rad/s]$ $m_p = 2 [kg]$	$f_{roz} = 0.002 \times 140000 [N] \times \sin\left(\frac{\pi}{180}\right) = 4.9 [N]$ $\alpha = \frac{10 [rad/s]}{4 [s]} = 2.5 \left[ \frac{rad}{s^2} \right]$ $I_p = \frac{1}{2} \times 2 [kg] \times 0.1^2 [m^2] = 0.01 [kg \cdot m^2]$ $\tau_r = 32 \times \left( 0.01 [kg \cdot m^2] \times 2.5 \left[ \frac{rad}{s^2} \right] + 4.9 [N] \times 0.1 [m] \right)$ $\tau_r = 15.5 [N \cdot m]$
Torque para acelerar angularmente la sección alrededor de las ruedas de motriz y de reenvío [ $\tau_s$ ]	$m_c = 24.6 [kg]$ $R_r = 2.25 [m]$ $r_c = 0.0143 [m]$ $n = 2$	$I_s = 24.6 [kg] \times \left( 2.25^2 [m^2] + \frac{3}{4} 0.0143^2 [m^2] \right)$ $I_s = 124.6 [kg \cdot m^2]$ $\tau_s = 2 \times \left( 124.6 [kg \cdot m^2] \times 0.113 \left[ \frac{rad}{s^2} \right] \right)$ $\tau_s = 28.2 [N \cdot m]$

**Tabla 4.8** Tabla de cálculo de la potencia de arranque.

Fuente: Propia.

<sup>38</sup> RODAMIENTOS FAG; Catálogo WL 41 520/3SB; Pág. 96.

#### 4.2.1.8 Potencia de arranque del sistema.

Una vez evaluado los parámetros que influyen en la determinación de la potencia de arranque del sistema mediante la siguiente expresión:

$$P_{arranque} = \sum Fi \times V + \tau_c \times \omega_r + \tau_p \times \omega_p + \tau_d \times \omega_r$$

(Ec. 4.10)

Donde:

$Fi$ : Fuerzas influyentes del sistema, [N]

$V$ : Velocidad de funcionamiento del sistema, [m/s]

$\tau_i$ : Torques influyentes del sistema, [N.m]

$\omega$ : Velocidad angular de funcionamiento del sistema, [rad/s]

Evaluando la ecuación 4.10 se tiene:

Fuerza/Torque	Valor	Velocidad lineal/ velocidad angular	Pi
$F_c$	$F_c = 1305$ [N]	$V = 1$ [m/s]	1305 [W]
$F_s$	$F_s = 840$ [N]	$V = 1$ [m/s]	840 [W]
$\tau_r$	$\tau_r = 1200$ [N.m]	$\omega = 0.45$ [rad/s]	540 [W]
$\tau_p$	$\tau_r = 15.5$ [N.m]	$\omega = 10$ [rad/s]	155 [W]
$\tau_s$	$\tau_s = 28.2$ [N.m]	$\omega = 0.45$ [rad/s]	12.7 [W]
<b>TOTAL</b>			2852.7 [W]

**Tabla 4.9** Tabla resumen potencia de arranque.

**Fuente:** Propia.

La potencia de arranque necesaria para vencer la inercia de todos los elementos del sistema corresponde a 2852.7 [W], aproximadamente a 4 hp.

#### 4.2.2 POTENCIA DE FUNCIONAMIENTO.

La potencia de funcionamiento del sistema es la encargada de mantener la energía cinética del teleférico venciendo el efecto producido por la variación de carga en el

cable por los pasajeros, el rozamiento presente en los rodamientos de las ruedas y las poleas y el consumo de energía para doblar elásticamente el cable alrededor de las ruedas motriz y de reenvío.

#### 4.2.2.1 Fuerza para levantar los vehículos de transporte.

Consiste en la fuerza necesaria que debe proporcionar el motor para levantar el peso de los vehículos de transporte, el máximo valor se presenta en el tramo crítico y la carga depende de:

- Peso del vehículo de transporte con su máxima capacidad.

Esta expresión está dada por:

$$P_t = n \times P$$

(Ec. 4.11)

Donde:

$n$ : Número de vehículos en el tramo crítico.

$P$ : Peso del vehículo con su máxima capacidad, [N]

#### 4.2.2.2 Fuerza para vencer el rozamiento de rodamientos en ruedas y poleas.

Del análisis de la potencia de arranque se determina la fuerza de rozamiento total presente en los rodamientos de las ruedas y poleas.

$$F_{roz} = f_{rozr} + f_{rozp}$$

(Ec. 4.12)

Donde:

$f_{rozr}$ : Fuerza de rozamiento en las ruedas, [N]

$f_{rozp}$ : Fuerza de rozamiento en las poleas, [N]

Ver sección 4.2.1.3 y 4.2.1.4

#### 4.2.2.3 Torque para doblar elásticamente el cable alrededor de las ruedas.

Es el momento necesario para proporcionar al cable la curvatura de la polea motriz y de reenvío, este torque se expresa como:

$$\tau_d = n \times \frac{EI}{r_r}$$

(Ec. 4.13)

$$I = \frac{\pi \times r_c^4}{4}$$

(Ec. 4.14)

Donde:

$\tau_d$ : Torque para doblar elásticamente el cable alrededor de las ruedas, [ $N.m$ ]

$n$ : Número de ruedas.

$E$ : Módulo de elasticidad del cable, [ $kg/m^2$ ]

$I$ : Inercia de la sección transversal del cable, [ $m^4$ ]

$r_c$ : Radio del cable, [ $m$ ]

#### 4.2.2.4 Consideraciones de cálculo.

- Para el cálculo se toma como tramo crítico el que presenta una luz de aproximadamente de 640 m y una altura de 230 m.
- Se analiza únicamente en el tramo de subida puesto que el tramo de bajada no consume potencia para su movilización, por lo que se estima la mitad de los vehículos (6 telesillas) y la longitud del tramo de bajada de 640 m.
- El ángulo máximo presente en los tramos de la trayectoria corresponde a 30.28°.

#### 4.2.2.5 Cálculo.

En base a las expresiones anteriores y las especificaciones de diseño se tienen los siguientes cálculos.



Fuerza para levantar el peso de los vehículos de transporte. [ $P_t$ ]	$n = 6$ $P = 2800 [N]$	$P_t = 6 \times 2800 [N]$ $P_t = 16800 [N]$
Fuerza para vencer el rozamiento en los rodamientos de ruedas y poleas. [ $f_{roz}$ ]		$f_{roz1} = 2 \times 0.002 \times 140000 [N] \times \sin\left(\frac{\pi}{2}\right) = 560 [N]$ $f_{roz} = 32 \times 0.002 \times 140000 [N] \times \sin\left(\frac{\pi}{180}\right) = 156.8 [N]$ $f_{roz} = 716.8 [N]$
Torque para doblar elásticamente el cable alrededor de las ruedas. [ $\tau_d$ ]	$E = 1.7E + 10 \left[\frac{kg}{m^2}\right]$ $r_r = 2.25 [m]$ $n = 2$ $r_c = 0.0143 [m]$	$I = \frac{\pi \times 0.0143^4}{4} = 3.28E - 8 [m^4]$ $\tau_d = \frac{2 \times 1.7E + 10 \left[\frac{kg}{m^2}\right] \times 3.28E - 8 [m^4]}{2.25 [m]}$ $\tau_d = 4863.6 [N.m]$

**Tabla 4.10** Tabla resumen de la potencia de funcionamiento.

Fuente: Propia.

#### 4.2.2.6 Potencia de arranque del sistema.

Una vez evaluado los parámetros que influyen en la determinación de la potencia de arranque del sistema mediante la siguiente expresión:

$$P_{funcionamiento} = P.V + f_{roz} + \tau_d \cdot \omega$$

(Ec. 4.15)

Fuerza/Torque	Valor	Velocidad lineal/ velocidad angular	Pi
$P$	$P = 16800 [N]$	$V = 1 [m/s]$	$16800 [W]$
$f_{roz}$	$f_{roz} = 716.8 [N]$	$V = 1 [m/s]$	$716.8 [W]$
$\tau_d$	$\tau_d = 4863.6 [N.m]$	$\omega = 0.45 [rad/s]$	$2200 [W]$
		<b>TOTAL</b>	$19716.8 [W]$

**Tabla 4.11** Tabla resumen potencia de arranque.

Fuente: Propia.

La potencia de funcionamiento del sistema corresponde a 19716.8 [W], aproximadamente a 26 hp. Por lo tanto el motor del sistema tiene una potencia total de 30 hp, de tipo hidráulico.

#### 4.2.2.7 Sistema de transmisión de potencia.

De acuerdo a las condiciones de operación del sistema se utiliza la transmisión por cadena de rodillos, puesto que la distancia entre los dos ejes de rotación es considerable. El mecanismo consiste en dos poleas que están unidas por una misma cadena, y su objetivo es transmitir la potencia del motor al eje de una de las poleas por medio de una rueda dentada.

Las características básicas de las transmisiones de cadenas incluyen una relación constante de velocidad, puesto que no existe deslizamiento o estirado; larga vida o duración y la capacidad para impulsar cierto número de ejes desde una sola fuente de potencia o fuerza motriz.



**Figura 4.4** Transmisión por cadena de rodillos.

Fuente: [http://espseza.educa.aragon.es/tecnologia/marisa\\_moreno/mecanismos-transmision.pdf](http://espseza.educa.aragon.es/tecnologia/marisa_moreno/mecanismos-transmision.pdf)

En este caso la rueda de potencia (rueda del motor) gira a mayor velocidad que la rueda motriz, es decir se trata de un reductor de velocidad.

##### 4.2.2.7.1 Selección del motor de potencia.

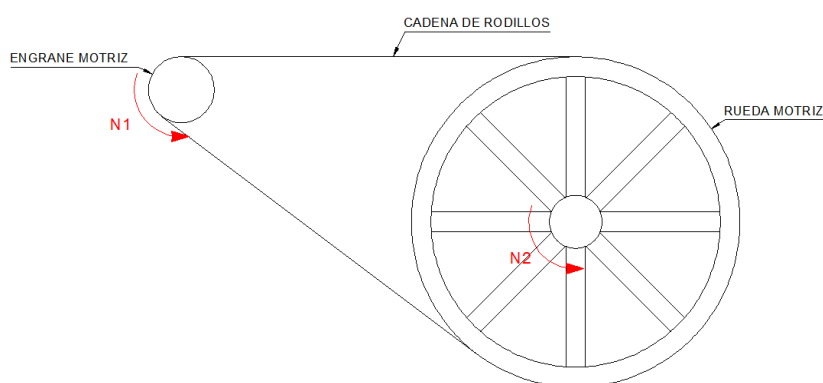
Para realizar la selección del motor, es necesario determinar la relación de transmisión del sistema, debido a que en el diseño se determinó la velocidad de funcionamiento para el sistema el motor debe adaptarse a esta condición, por lo tanto de forma preliminar se selecciona un equipo con las siguientes características:

<b>Denominación</b>	Motor-reductor (SK 972.1 - 180LX/4)
<b>Potencia nominal [hp]</b>	30
<b>Velocidad [rpm]</b>	55
<b>Torque [lb.in]</b>	34435
<b>Peso [lb]</b>	474

**Tabla 4.12** Especificaciones del motor de potencia.

**Fuente:** Catalogo Nord Drive Systems.

Para determinar la relación de transmisión del sistema se tiene la siguiente figura:



**Figura 4.5** Transmisión de potencia por cadena de rodillos.

**Fuente:** Propia.

$$i = \frac{r_2}{r_1} = \frac{N_1}{N_2}$$

(Ec. 4.16)

Donde:

$i$ : Relación de transmisión.

$r_1$ : Radio del engrane motriz (piñón).

$r_2$ : Radio de la rueda motriz, [ $r_2 = 2.25 \text{ m}$ ]

$N_1$ : Velocidad angular de engrane motriz (piñón), [ $N_1 = 55 \text{ rpm}$ ]

$N_2$ : Velocidad angular de la rueda motriz, [ $N_2 = 4.24 \text{ rpm}$ ]

Utilizando la ecuación 4.16 determinamos la relación de transmisión del sistema en función de la velocidad de funcionamiento y las características del motor seleccionado.

$$i = \frac{55 [rpm]}{4.24 [rpm]} = 13$$

De igual manera se conoce que la relación de transmisión corresponde a:

$$i = \frac{Z_2}{Z_1}$$

(Ec. 4.17)

Donde:

$Z_2$ : Número de dientes de la rueda dentada sobre la rueda motriz.

$Z_1$ : Número de dientes del engrane motriz, (piñón)

De la expresión 4.17 se determina el número de dientes para la rueda dentada a colocarse sobre la rueda motriz.

$$Z_2 = i \cdot Z_1$$

(Ec. 4.18)

#### 4.2.2.7.2 Selección de la cadena de transmisión.

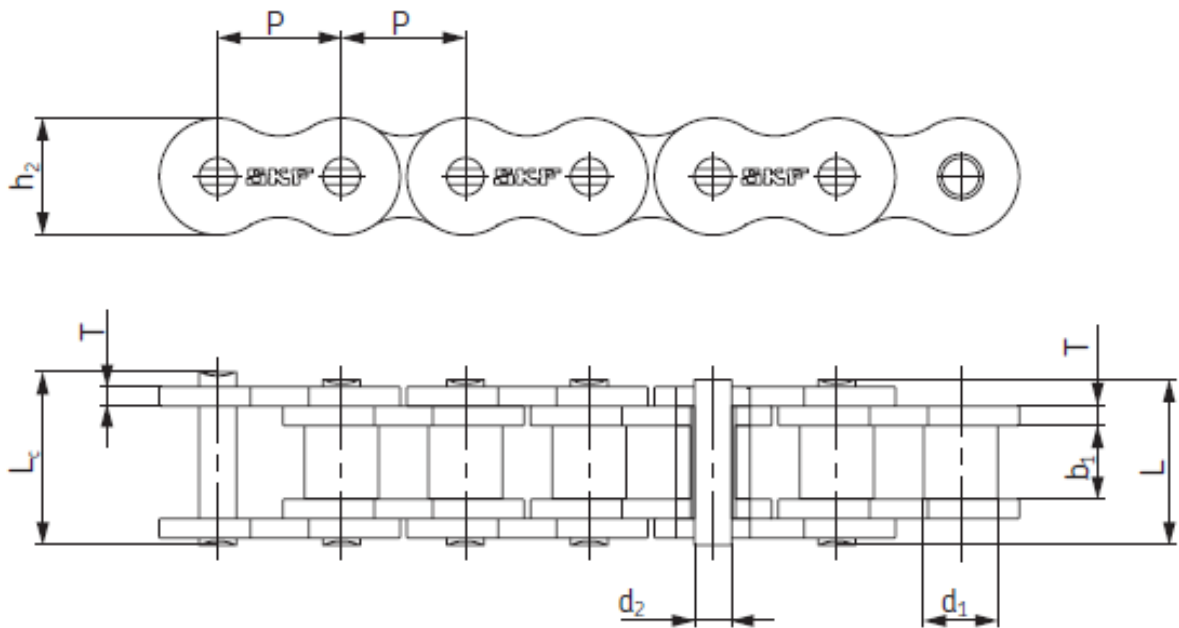
Normalmente la selección de una cadena de rodillos para una transmisión mecánica tiene varias soluciones, se puede elegir una cadena simple o múltiple, con mayor o menor factor de servicio, con tamaños de piñones mayores o menores, todos estos factores influyen en la selección final de este elemento.

Para la selección es necesario determinar los siguientes parámetros:

- Potencia requerida en la máquina conducida [HP]
- Tipo de máquina motora y máquina conducida
- Velocidad de la máquina motora [rpm]
- Velocidad de la máquina conducida [rpm].

- Distancia tentativa entre ejes

El tamaño de una cadena está representado por la separación entre ejes de los rodillos, llamada paso ( $P$ ). Además las cadenas pueden ser de una, dos ó tres hileras de cadenas iguales en paralelo. A mayor paso y a mayor cantidad de hileras, la cadena resiste mayor carga.



**Figura 4.6** Nomenclatura para cadenas de hilera simple, doble y triple.

**Fuente:** <http://www.renold.es/nmsruntime/saveasdialog.asp?IID=1115&sID=2749>

Una vez que se ha obtenido los parámetros de selección se determina las características de la cadena como se muestra a continuación.

- La potencia nominal proporcionada por el motor se ve afectada por un factor de servicio, el cual nos muestra el grado de sobrecarga que puede existir sobre la cadena de acuerdo a la función que esta desarrolla dentro de una maquina. De acuerdo a la norma para cadenas BS se establecen los siguientes factores de servicio.

	Motores de funcionamiento suave	Motores de funcionamiento medio impulsivo	Motores de funcionamiento impulsivo.
	Motores eléctricos e hidráulicos.	Motores de combustión multicilíndrico	Motores de combustión mono cilíndricos.
<b>MÁQUINAS DE CARGA CONSTANTE</b>			
Agitadores y mezcladores de líquidos.	1.0	1.25	1.5
Alternadores y generadores			
Sopladores, extractores etc.			
Elevadores y transportadores con carga uniforme.			
Máquinas de industrias y alimentos			
<b>MÁQUINAS DE CARGA NO CONSTANTE</b>			
Agitadores y mezcladores de soluciones sólido-líquidos	1.25	1.5	1.75
Sopladores, extractores y ventiladores de gran tamaño			
Mezcladoras de cemento			
Compresores de más de 3 cilindros			
Grúas			
Transportadores y elevadores con carga no uniforme			

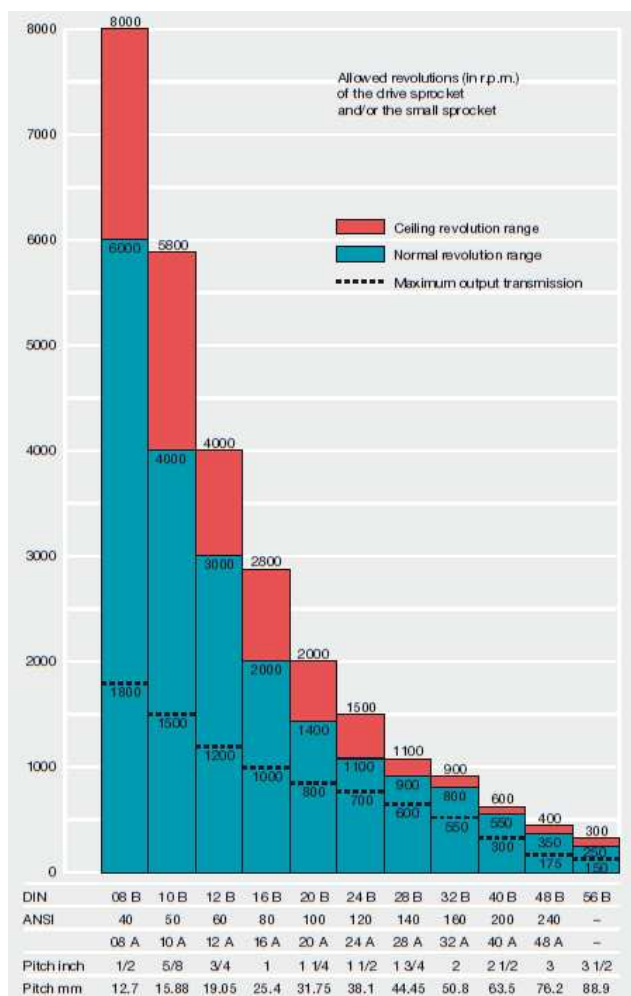
**Tabla 4.13** Factores de servicio para diferentes tipos de máquinas.

**Fuente:** <http://www.renold.es/nmsruntime/saveasdialog.asp?IID=1115&sID=2749>

Por lo tanto la potencia de diseño considerando un transportador con carga no uniforme con motores de funcionamiento suave corresponde a:

$$P_d = 1.25 \times 30 [hp] = 37.5 [hp] = 28 [kW]$$

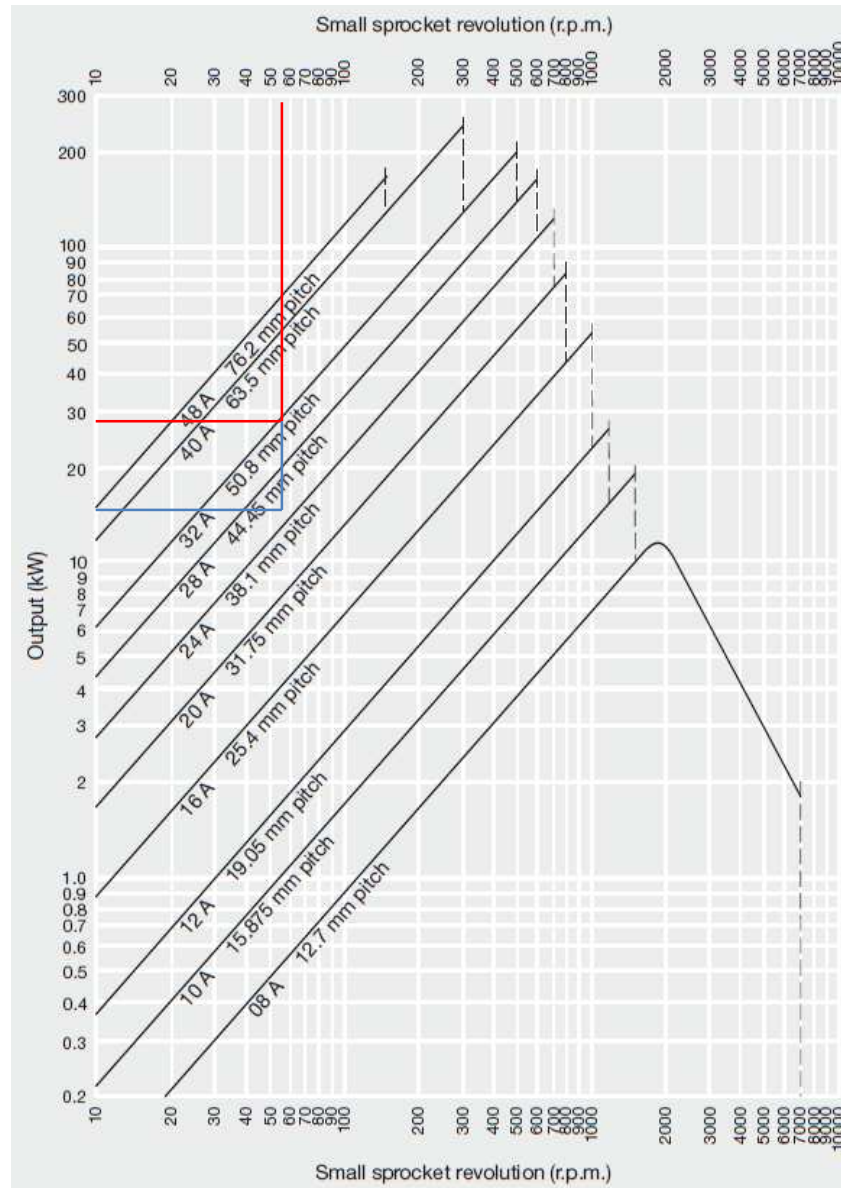
En función de la velocidad máxima permitida se determina tamaño de cadena. Cada fabricante de cadenas de transmisión especifica la velocidad ideal para cada paso de la cadena como se indica a continuación.



**Figura 4.7** Diagrama de velocidad para cadenas de rodillos.

**Fuente:** [www.balbinoehijos.com/index.php?option=com\\_k2](http://www.balbinoehijos.com/index.php?option=com_k2)

En la figura 4.7 se muestra las velocidades permisibles para cadenas de rodillos en función del paso, se puede apreciar que para la velocidad de giro del motor, de 55 rpm la máxima salida de transmisión (ver anexos) está dentro de los parámetros para todas las cadenas de transmisión.



**Figura 4.8** Curvas de potencia transmissible cadenas simples.

**Fuente:** [www.balbinoehijos.com/index.php?option=com\\_k2](http://www.balbinoehijos.com/index.php?option=com_k2)

De la figura 4.8 (líneas rojas) se selecciona una cadena de paso de 50.8 mm de paso (32A), este valor se determina mediante la potencia de diseño [kW] y la velocidad del piñón [rpm]. Determinado el paso de la cadena se procede a determinar el número de dientes mínimo requerido para el piñón, además del tipo de lubricación adecuado para la durabilidad de la cadena.



Number of teeth	Reference $\phi$ mm	Small sprocket revolution																			
		10	25	50	100	150	200	250	300	350	400	500	550	600	700	750	800	850	900	950	1000
		Hand lubr.	Drip lubrication			Oil bath lubrication					Forced feed lubrication										
13	212.30	3.06	7.02	13.08	24.33	35.00	45.33	55.50	65.33	75.08	85.00	103.33	90.00	78.50	62.50	56.25	51.17	30.67	15.00	-	-
14	228.30	3.32	7.58	14.17	26.33	37.92	49.17	60.08	70.75	81.42	91.67	112.50	100.00	87.50	69.83	62.83	57.17	28.50	11.25	-	-
15	244.30	3.57	8.22	15.25	28.42	40.83	52.92	64.75	76.25	87.50	99.17	120.83	111.67	97.50	77.50	69.75	55.25	26.33	7.50	-	-
16	260.40	3.83	8.75	16.33	30.42	43.75	56.75	69.42	81.75	94.17	105.83	130.00	122.50	107.50	85.00	71.58	53.33	24.17	4.17	-	-
17	276.50	4.08	9.33	17.42	32.50	46.75	60.58	74.08	87.50	100.00	113.33	138.33	134.17	117.50	93.33	73.42	51.42	22.00	-	-	-
18	292.60	4.34	10.00	18.58	34.58	49.67	64.42	78.75	92.50	106.67	120.00	147.50	146.67	128.33	101.67	75.33	49.50	19.83	-	-	-
19	308.70	4.61	10.58	19.67	36.67	52.67	68.33	83.33	98.33	113.33	127.50	156.67	158.33	138.33	110.83	77.50	47.50	17.67	-	-	-
20	324.70	4.87	11.17	20.83	38.75	55.75	72.25	88.33	104.17	120.00	135.00	165.00	176.67	150.00	112.50	79.17	45.00	15.00	-	-	-
21	340.90	5.13	11.75	21.92	40.83	58.75	76.17	93.33	110.00	125.83	142.50	174.17	178.33	160.83	106.67	72.75	40.50	12.83	-	-	-
22	357.00	5.40	12.42	23.08	43.00	61.75	80.08	97.50	115.00	132.50	149.17	183.33	180.00	172.50	100.83	66.33	36.00	-	-	-	-
23	373.10	5.67	13.00	24.17	45.08	64.75	84.17	102.50	120.83	139.17	156.67	192.50	181.67	170.83	95.00	59.92	31.50	-	-	-	-
24	389.20	5.93	13.58	25.33	47.17	67.83	88.33	107.50	126.67	145.83	164.17	200.00	183.33	169.17	89.17	53.50	27.00	-	-	-	-
25	405.30	6.20	14.25	26.50	49.33	70.92	91.67	112.50	132.50	152.50	171.67	207.50	185.00	167.50	83.33	47.08	15.83	-	-	-	-
28	453.70	7.01	16.08	29.92	55.75	80.08	104.17	126.67	149.17	172.50	194.17	216.67	188.33	162.50	65.83	27.92	-	-	-	-	-
30	486.00	7.55	17.25	32.25	60.08	86.67	111.67	136.67	160.83	185.00	209.17	225.00	191.67	158.33	54.17	15.00	-	-	-	-	-
32	518.30	8.09	18.58	34.58	64.42	92.50	120.00	146.67	172.50	199.17	224.17	221.67	185.00	149.17	43.33	-	-	-	-	-	-
35	566.70	8.92	20.42	38.08	70.92	101.67	132.50	161.67	190.00	219.17	246.67	219.17	179.17	136.67	25.00	-	-	-	-	-	-
40	647.50	10.33	23.58	44.00	81.92	117.50	152.50	186.67	220.00	253.33	285.00	216.67	166.67	112.50	-	-	-	-	-	-	-

Tabla 4.14 Determinación del número de dientes mínimo para la transmisión de potencia. (Paso 50.8 mm)

Fuente: [www.balbinoehijos.com/index.php?option=com\\_k2](http://www.balbinoehijos.com/index.php?option=com_k2)

De acuerdo a las especificaciones el número de dientes del piñón requerido para esta cadena es de 28 dientes. En la práctica es recomendable tener un piñón con menos número de dientes, esto se puede lograr simulando la cadena como múltiple.

$$P_s = \frac{P_d}{f}$$

(Ec. 4.19)

Donde:

$P_s$ : Potencia de simulación de cadena múltiple.

$f$ : Factor de corrección de cadena simple a múltiple.

Número de hileras de cadenas múltiples	Factor de corrección de cadena Simple a múltiple.
2	1.7
3	2.5
4	3

Tabla 4.15 Factor de corrección de cadena simple a múltiple.

Recalculando la potencia considerando una cadena de hilera doble se tiene que:

$$P_s = \frac{28 [kW]}{1.7} = 16.5 [kW]$$

En la figura 4.8 se determina que el paso puede corresponder a 38.1 o 44.45 mm (líneas azules) se selecciona el valor de 44.45 mm para determinar el número de dientes del piñón.

Number of teeth	Reference $\phi$ mm	Small sprocket revolution																				
		10	25	50	100	150	200	250	300	350	400	450	500	550	600	700	800	900	1000	1100	1200	
		Hand lubrication				Drip lubrication				Oil bath lubrication				Forced feed lubrication								
13	185.80	2.12	4.85	9.08	16.92	24.33	31.50	38.50	45.33	52.08	58.75	65.33	71.83	78.25	70.50	55.92	45.75	38.33	32.75	28.42	-	-
14	199.80	2.30	5.26	9.83	18.33	26.33	34.17	41.75	49.17	56.50	63.75	70.83	77.92	84.17	78.75	62.50	51.17	42.83	36.58	31.67	-	-
15	213.80	2.48	5.67	10.58	19.75	28.42	36.75	45.00	53.00	60.92	68.67	76.33	84.17	91.67	87.50	69.33	56.75	47.58	40.58	33.33	-	-
16	227.90	2.66	6.07	11.33	21.17	30.42	39.42	48.25	56.83	65.25	73.58	81.83	90.00	98.33	95.83	76.33	62.50	52.33	44.75	28.92	-	-
17	241.90	2.84	6.47	12.08	22.58	32.50	42.08	51.42	60.67	69.67	78.50	87.50	95.83	105.00	105.00	83.33	68.50	57.33	49.00	24.83	-	-
18	256.00	3.02	6.88	12.83	24.00	34.50	44.75	54.67	64.42	74.00	83.33	92.50	101.67	110.83	115.00	90.83	75.00	62.50	53.33	18.92	-	-
19	270.10	3.20	7.31	13.33	25.42	36.67	47.50	58.33	68.42	78.58	88.33	98.33	108.33	118.33	124.17	99.17	80.92	67.75	57.83	10.83	-	-
20	284.10	3.38	7.72	14.42	26.83	38.67	50.08	61.25	72.25	82.92	93.33	104.17	114.17	125.00	134.17	106.67	87.50	73.17	60.83	4.33	-	-
21	298.30	3.57	8.14	15.17	28.33	40.83	52.83	64.67	76.17	87.50	98.33	110.00	120.83	131.67	142.50	115.00	94.17	78.75	57.50	-	-	-
22	312.30	3.75	8.58	16.00	29.83	42.92	55.58	68.00	80.17	92.50	104.17	115.83	126.67	138.33	150.00	123.33	100.83	84.17	51.67	-	-	-
23	326.40	3.94	9.00	16.75	31.25	45.08	58.33	71.33	84.17	96.67	109.17	120.83	133.33	145.00	156.67	131.67	107.50	90.00	46.67	-	-	-
24	340.50	4.12	9.42	17.58	32.75	47.17	61.08	74.75	88.33	100.83	114.17	126.67	139.17	151.67	164.17	140.00	115.00	95.83	38.75	-	-	-
25	354.70	4.31	9.83	18.33	34.25	49.33	63.83	78.08	91.67	105.83	119.17	132.50	145.83	158.33	171.67	149.17	122.50	100.00	31.50	-	-	-
28	397.00	4.87	11.08	20.75	38.67	55.67	72.08	88.33	104.17	119.17	135.00	150.00	164.17	179.17	194.17	176.67	145.00	81.67	-	-	-	-
30	425.30	5.24	12.00	22.33	41.67	60.00	77.67	95.00	111.67	128.33	145.00	161.67	177.50	193.33	209.17	195.83	145.83	69.17	-	-	-	-
32	453.50	5.62	12.83	23.92	44.67	64.33	83.25	101.67	120.00	137.50	155.83	172.50	190.00	206.67	223.33	210.00	140.00	54.00	-	-	-	-
35	495.90	6.20	14.17	26.33	49.25	70.92	91.67	112.50	132.50	151.67	171.67	190.83	209.17	228.33	246.67	201.67	119.17	24.00	-	-	-	-
40	566.60	7.16	16.33	30.50	58.83	81.83	105.83	130.00	152.50	175.83	198.33	220.00	241.67	263.33	258.33	173.33	71.67	-	-	-	-	-

**Tabla 4.16** Determinación del número de dientes mínimo para la transmisión de potencia. (Paso 44.45 mm)

Fuente: [www.balbinoehijos.com/index.php?option=com\\_k2](http://www.balbinoehijos.com/index.php?option=com_k2)

De la figura 4.16 se determina que el piñón debe tener como mínimo 22 dientes. En el mercado existen piñones normalizados por lo que se procede a seleccionar uno que permita ajustarse a la restricción dada por el diseño de la rueda.

$$D_p > 4550 [mm]$$

Del anexo 4.4 se selecciona el piñón correspondiente a: TIPO A (Acero) PHS 28B-1A25, de esta especificación y utilizando la expresión 4.18 se tiene:

$$d_p = 354.65 [mm]$$

$$D_p = 4610.45 [mm]$$

$$Z_2 = 325 \text{ dientes.}$$

$$Z_1 = 25 \text{ dientes.}$$

Como procedimiento final es necesario determinar la distancia entre centros y la longitud de la cadena.<sup>39</sup>

El largo de una cadena se expresa en cantidad de pasos, para determinar el largo de la cadena se tiene la siguiente expresión:

$$L = 1.57(D_p + d_p) + 2C + \frac{(D_p - d_p)^2}{4C}$$

(Ec. 4.20)

Donde:

$L$ : Longitud de una cadena de rodillos.

$d_p$ : Diámetro primitivo del piñón conductor.

$D_p$ : Diámetro primitivo de la rueda dentada conducida.

$C$ : Distancia entre centros.

Entonces la longitud de la cadena considerando una separación entre centros de los ejes del piñon y la rueda motriz es de 2.6 [m]

$$L = 1.57(4610.45 + 354.65) + 2(2600) + \frac{(4610.45 - 354.65)^2}{4(2600)} = 14736.73 \text{ [mm]}$$

$$L = 14.8 \text{ [m]}$$

En base a las características determinadas anteriormente se selecciona una cadena de rodillos para trabajo pesado **ANSI 140H-1** con las especificaciones mostradas en el anexo correspondiente.

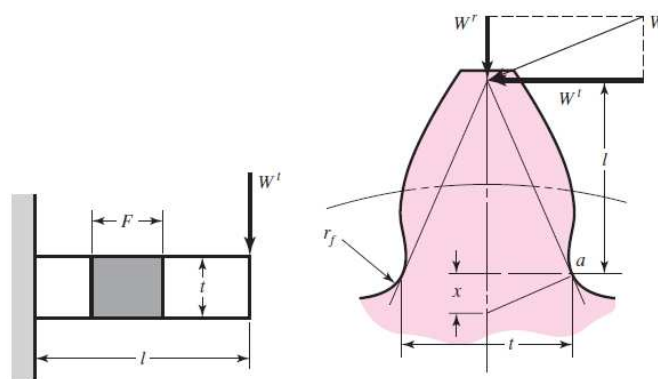
---

<sup>39</sup> [http://issuu.com/cavd/docs/montaje\\_de\\_ruedas\\_dentadas\\_para\\_cadenas](http://issuu.com/cavd/docs/montaje_de_ruedas_dentadas_para_cadenas)

#### 4.2.2.7.3 Diseño de la rueda dentada.

Los engranes rectos son elementos esenciales, con un uso frecuente y extenso en la mayoría de las máquinas, su estudio suele abordar:

- Análisis estático de esfuerzos en los dientes. Considerando un diente del engrane con un ancho de cara ( $F$ ), y despreciando los esfuerzos producidos por la fuerza radial, el eje se diseña bajo esfuerzos de flexión mediante las siguientes expresiones:



**Figura 4.9** Diagrama de cuerpo libre para un diente de un engrane recto.

Fuente: SHIGLEY J.; Octava edición; Pág. 717.

$$\sigma = \frac{6 \cdot W_t \cdot l}{F t^2}$$

(Ec. 4.21)

Donde:

$W_t$ : Carga de flexión actuante en el eje.

$l$ : Longitud del diente del engrane.

$F$ : Ancho de cara del diente.

$t$ : Espesor de diente.

La ecuación 4.21 puede ser definida de una forma diferente considerando el factor de forma de Lewis y el paso diametral del eje se tiene:

$$\sigma = \frac{W_t \cdot P}{F \cdot Y}$$

(Ec. 4.22)

Donde:

$Y$ : Factor de forma de Lewis.

$P$ : Paso diametral.

El torque transmitido por el motor genera una fuerza de flexión dada por la siguiente expresión:

$$W_t = \frac{33000 \times H}{V}$$

(Ec. 4.23)

Donde:

$H$ : Potencia transmitida por el motor, [hp]

$V$ : Velocidad de la rueda, [ft/min]

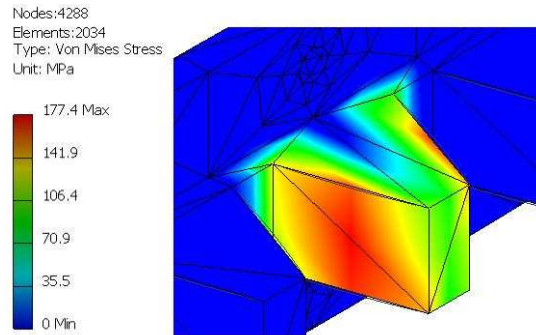
$$W_t = \frac{33000 \times 30}{196.85} = 5029.21 [lb] = 22371.04 [N]$$

La carga máxima de flexión que transmite el motor se aplica en el diente que ingresa a la cadena. De acuerdo a los parámetros dados por la selección de la cadena de transmisión, a continuación se muestra el esquema del segmento de la rueda dentada para la transmisión y los resultados de la simulación correspondiente.

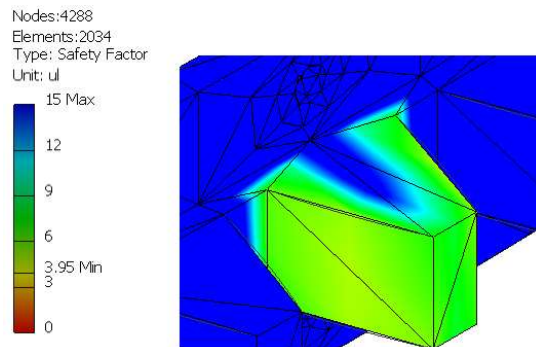


**Figura 4.10** Segmento de la rueda dentada mayor.

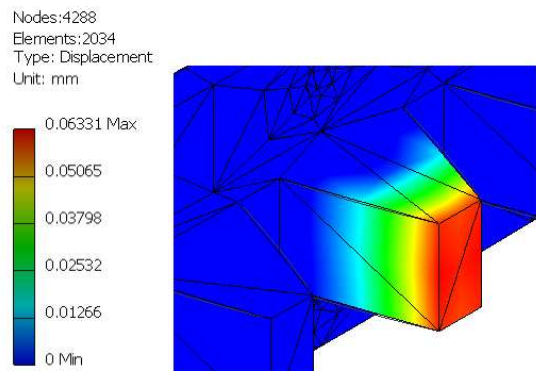
El material a utilizarse corresponde a un acero ASTM ( $S_y = 70000 [N/cm^2]$ )



**Figura 4.11** Esfuerzos de Von Misses presentes en el diente.



**Figura 4.12** Factor de seguridad en el diente.



**Figura 4.13** Desplazamiento máxima del diente.

**Fuente:** Propia.

De la simulación se obtiene que el factor de seguridad para este elemento es de 3.95 por lo que se verifica el diseño estático.

## **CAPÍTULO 5**

### **5 DISEÑO DEL CONJUNTO SILLAS**

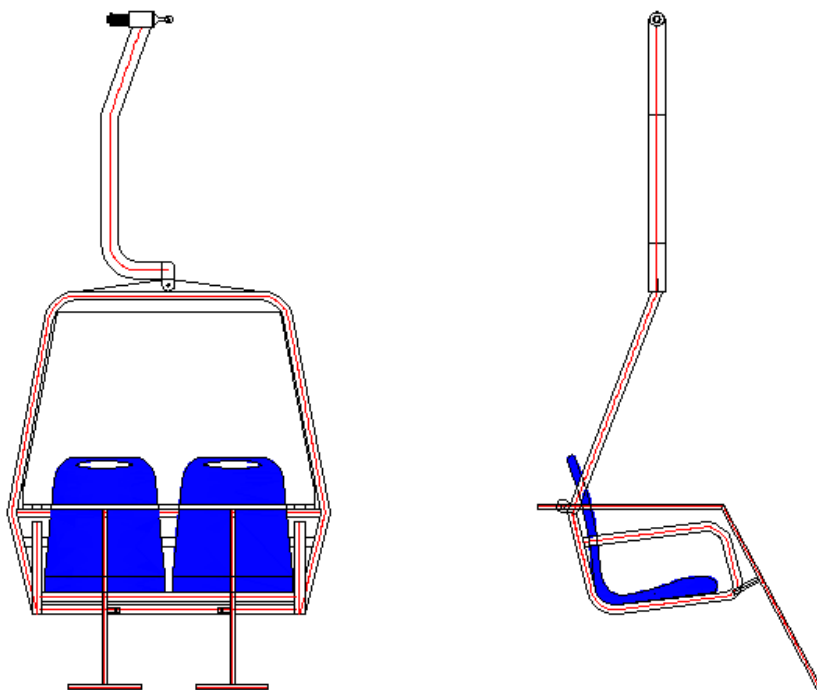
#### **5.1 DISEÑO DE LAS SILLAS**

Al momento de diseñar el conjunto de las sillas es importante tomar en cuenta varios aspectos relevantes que nos permitirían realizar un diseño adecuado cumpliendo todos los requisitos necesarios para garantizar el confort así como la seguridad de los usuarios del sistema, tales aspectos son:

- Las sillas deben tener una capacidad para soportar a dos personas con un peso promedio de 90 kg, tomando en cuenta que el teleférico será utilizado principalmente por turistas nacionales y extranjeros, además de que al ser tipo turístico se hace necesario que las mismas contemplen un sistema básico para llevar carga como bicicletas, bolsos de viajero, etc.
- Deben tener un diseño ergonómico de manera que permita el confort de los dos ocupantes de la silla, además de brindarles seguridad al momento de subirse en las mismas y de transportarse a través de las mismas.
- Los vehículos se construirán de forma que los pasajeros, en condiciones y posiciones normales, no pueden caerse y quede asegurado su fácil acceso y descenso de los mismos, evitando en lo posible el peligro de que puedan quedar enganchados.
- Las sillas deben estar debidamente protegidas mediante galvanizado para evitar deterioro por causa de las condiciones climáticas adversas.
- El conjunto silla tendrá los asientos inclinados hacia su parte posterior y deberán estar provistos de guarda-cuerpos y reposapiés abatibles. Se evitará en lo posible, que las sillas presenten intersticios o salientes en los que puedan quedar enganchada la ropa o accesorios de los turistas.
- Todos los elementos constitutivos de las sillas deberán estar calculados con un coeficiente de seguridad respecto al límite elástico o inferior a 4, tomando en cuenta las cargas principales.

- El tiempo de embarque para cada transporte se supone que es de 3 segundos por persona.
- Los cálculos de diseño se tendrán en cuenta todas las fuerzas posibles estáticas y dinámicas que se encuentran en operación (incluyendo la carga de fatiga), tales como el peso del vehículo en sí, la carga de pasajeros, la fuerza del viento, la aceleración de arranque y frenado.

Teniendo en cuenta estas consideraciones se realiza un esquema básico que permite identificar las partes críticas y proceder con el diseño del conjunto:



**Figura 5.1** Esquema del conjunto silla

**Fuente:** Propia

Una vez que se tiene la forma básica de la silla se realiza el cálculo de la estructura principal que nos sirve para identificar las partes críticas de la estructura, se identifica que la estructura principal de soporte se comporta como un marco rígido teniendo la siguiente configuración:



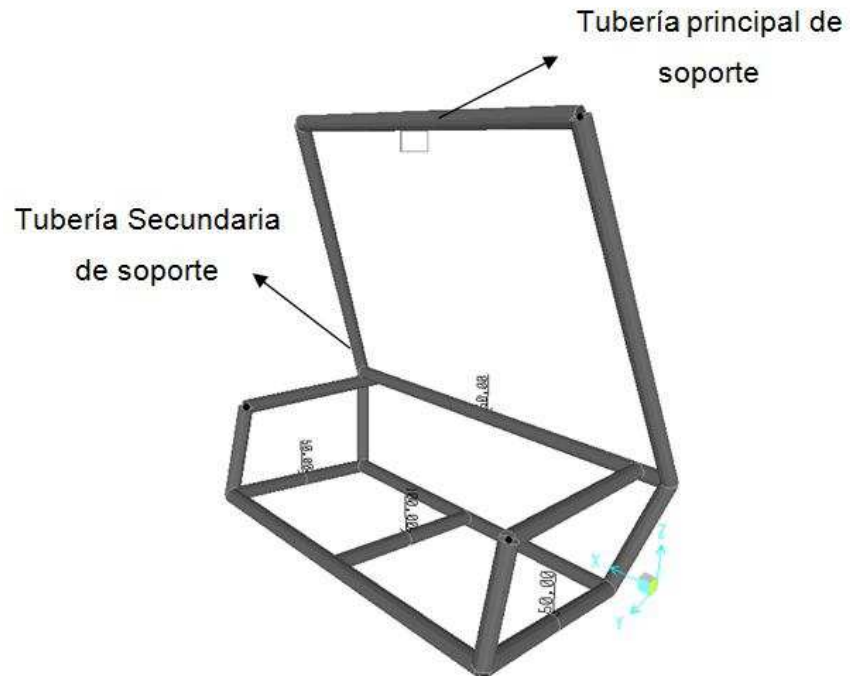


Figura 5.1 Esquema de fuerzas actuantes en la silla

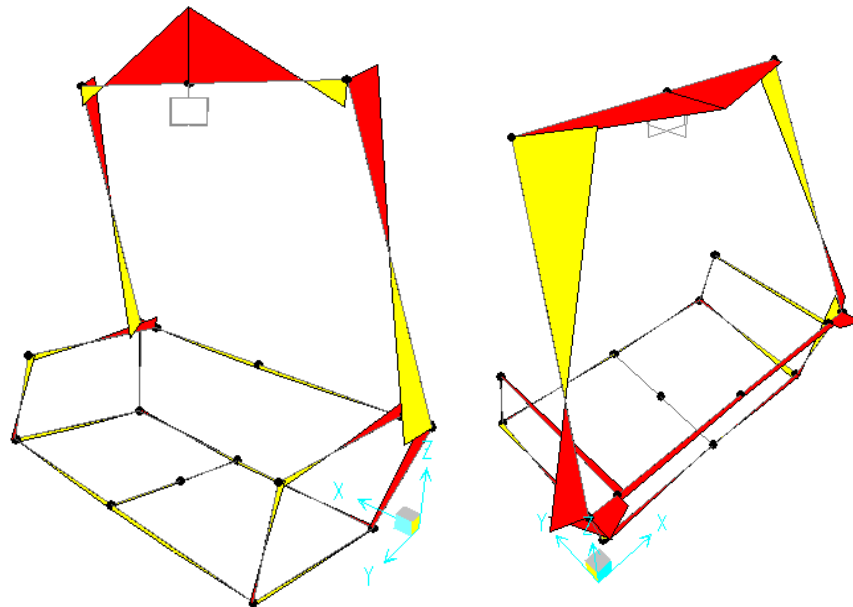


Figura 5.2 Esquema de momento flector en la silla doble

Fuente: Propia.

Se analiza las estructuras que están sometidas a mayor cantidad de esfuerzo como son el soporte principal y el soporte secundario, cuyo análisis se detalla a continuación.

## 5.2 DISEÑO DE LA TUBERÍA PRINCIPAL DE SOPORTE

Se calcula el tubo principal de la estructura que soporta el momento obteniéndose los siguientes diagramas:

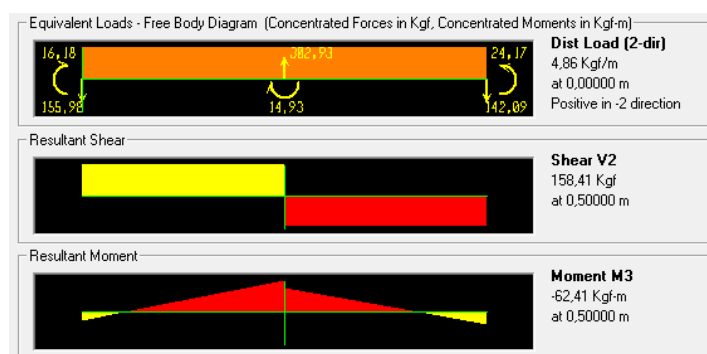


Figura 5.3 Diagramas de fuerza cortante y momento flector x-z



Figura 5.4 Diagramas de fuerza cortante y momento flector x-y

Fuente: Propia.

Se observa que el eje principal está sujeto a flexión, por ello se analiza el mismo para ese criterio.

Se verifica las condiciones de diseño según el criterio del código práctico en el diseño, manufactura e instalación de teleféricos<sup>40</sup>, de acuerdo al cual todas las

<sup>40</sup> Code of practice on the design, manufacture and installation of aerial ropeways, 2002 edition

estructuras deben tener un factor de seguridad mayor a 4, para ello se utiliza la siguiente fórmula como una primera aproximación:

$$F_b = 0,6 S_y$$

$$F_b = 0,6 \times 44 = 26,4 \text{ ksi} = 180 \text{ MPa}$$

Se calcula el momento máximo que puede soportar la sección seleccionada, basado en ese criterio se realiza una hipótesis de diseño que cumpla con un factor de seguridad de 4, en donde según la deducción se debe cumplir con lo siguiente:

$$I_b \leq \frac{f_{by}}{F_{by}} + \frac{f_{bz}}{F_{bz}} \leq 0,417$$

(Ec. 5.1)

De manera que satisfaga las condiciones de diseño

$$I_b \leq \frac{M_y/S_y}{F_{by}} + \frac{M_z/S_z}{F_{bz}} \leq 0,417$$

$$S_y = S_z = S$$

$$F_{by} = F_{bz} = F_b$$

Debido a que la sección es la misma en ambos sentidos se tiene:

$$\frac{2,4(M_y + M_z)}{F_b} \leq S_{perm}$$

(Ec. 5.2)

Del programa SAP 2000 podemos obtener los esfuerzos y momentos máximos los cuales son:

$$\text{Momento Máximo} = M_y = 6,75 \text{ kg.m}$$

$$\text{Momento Máximo} = M_z = 62,41 \text{ kg.m}$$

$$\text{Corte Máximo} = V_z = 158,41 \text{ kg}$$

Y se reemplazan los valores correspondientes:

$$\frac{2,4(6,75 + 62,41)(9,81)[\text{N.m}]}{180e^6 \left[ \frac{\text{N}}{\text{m}^2} \right]} = S_{perm}$$

$$9,05e^{-6}[\text{m}^3] = S_{perm}$$

Se selecciona una tubería redonda ASTM 53 GrB<sup>41</sup> de 1 ¼ pulgadas (42,2 mm) espesor 3,56 mm y se comprueba que cumpla con los requerimientos de la sección:

$$S = 3,85e^{-6} [\text{m}^3] < S_{\text{perm}}$$

Se observa que la sección seleccionada no satisface las condiciones de diseño por ello se rigidiza mediante dos placas como se observa en la figura:

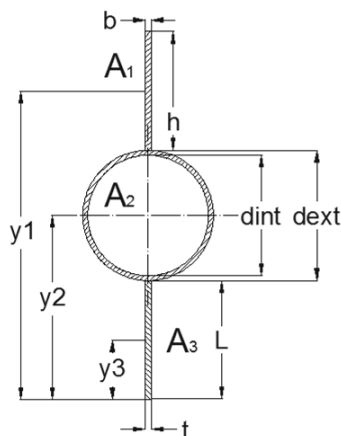


Figura 5.5 Esquema de la sección de la tubería principal

Áreas	Dimensiones		Área, m <sup>2</sup>	y, m	A.y, m <sup>3</sup>	$\bar{y}$ , m
A1	h	0,05	0,0003	0,1131	3,4E-05	0,069
	b	0,006				
A2	dext	0,0422	1,72E-04	0,06905	1,19E-05	
	dint	0,03508				
A3	L	0,05	0,0003	0,025	7,5E-06	
	t	0,006				
$\Sigma A$			0,00077	$\Sigma A.y$	0,0000534	

Tabla 5.1 Propiedades importantes de la sección compuesta

$I_z'$	A	$d^2$	$I_z$
6,25E-08	3E-04	0,00194	6,45E-07
2,89E-08	1,72E-04	0	2,89E-08
6,25E-08	3E-04	0,00194	6,45E-07
<b>I</b>			<b>1,32E-06</b>

Tabla 5.2 Resumen cálculo de inercia de la sección

Fuente: Propia.

Se calcula el momento polar de inercia de la sección:

<sup>41</sup> [http://www.dipacmanta.com/alineas.php?ca\\_codigo=1003](http://www.dipacmanta.com/alineas.php?ca_codigo=1003)

$$S_z = \frac{I}{c} [\text{m}^3]$$

$$S_z = \frac{1,32e^{-6}}{0,069} [\text{m}^3]$$

$$S_z = 1,92 e^{-5} [\text{m}^3] > S_{\text{perm}} = 1,04e^{-5} [\text{m}^3]$$

Se calcula las demás condiciones que debe cumplir la sección sabiendo que la fuerza admisible básica será, debido a que por deducción se encuentra trabajando en el intervalo elástico:

$$F_b = 0,6 S_y$$

$$F_b = 0,6 \times 44 = 26,4 \text{ ksi} = 180 \text{ MPa}$$

$$f_{by} = \frac{M_y}{S_y} = \frac{6,75(9,81) [\text{N} \cdot \text{m}]}{2,04e^{-6} [\text{m}^3]} = 32,45 \text{ MPa}$$

$$f_{bz} = \frac{M_z}{S_z} = \frac{62,41(9,81) [\text{N} \cdot \text{m}]}{1,92e^{-5} [\text{m}^3]} = 31,88 \text{ MPa}$$

$$I_b \leq \frac{32,45 \text{ MPa}}{180 \text{ MPa}} + \frac{31,88 \text{ MPa}}{180 \text{ MPa}} \leq 0,417$$

$$I_b \leq 0,18 + 0,18 \leq 0,417$$

$$I_b \leq 0,36 \leq 0,417$$

Se verifica si falla a deflexión para lo cual se establece como deformación máxima permisible:

$$\Delta_{\text{perm}} = \frac{L}{300}$$

$$\Delta_{\text{perm}} = \frac{1}{300} [\text{m}] = 0,0033 [\text{m}]$$

Para ello se procede a realizar una suma de las deflexiones producidas por las fuerzas actuantes sobre la estructura y del peso propio de la sección compuesta:

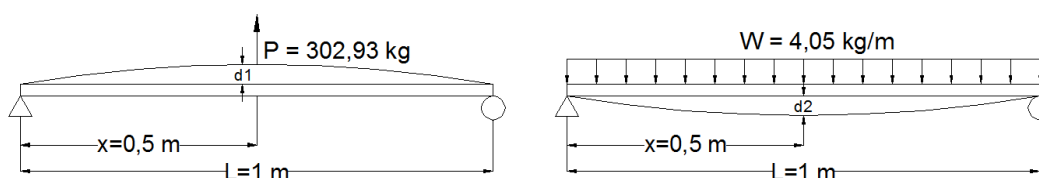


Figura 5.6 Deflexión del perfil crítico

Fuente: Propia

Procedemos a calcular la inercia necesaria para satisfacer esta condición:

$$d_1 = \frac{Px^4}{3EIL} \text{ [m]}$$

La deflexión causada por la fuerza será negativa para este caso:

$$d_2 = \frac{W}{12EI} \left( Lx^3 - \frac{x^4}{2} - \frac{L^3x}{2} \right) \text{ [m]}$$

$$\Delta_{\max} = d_1 + d_2 = \frac{Px^4}{3EIL} + \frac{W}{12EI} \left( Lx^3 - \frac{x^4}{2} - \frac{L^3x}{2} \right)$$

Despejando tenemos lo siguiente:

$$I = \frac{Px^4}{3E\Delta_{\max}L} + \frac{W}{12E\Delta_{\max}} \left( Lx^3 - \frac{x^4}{2} - \frac{L^3x}{2} \right)$$

$$I = \frac{(302,93)(0,5)^4}{3(2,1e^{10})(0,0033)(1)} + \frac{4,05}{12(2,1e^{10})(0,0033)} \left( (1)(0,5)^3 - \frac{(0,5)^4}{2} - \frac{(1)^3(0,5)}{2} \right)$$

$$I = 9,03e^{-8} \text{ [m}^4\text{]} < 1,32e^{-6} \text{ [m}^4\text{]}$$

Por lo tanto el perfil es el adecuado ya que la inercia necesaria es mucho menor que la de la sección compuesta, por último se procede a realizar el análisis de la vida a corte tomando en cuenta el peso propio y las tensiones que existen sobre la viga:

Reacción en la viga:  $V_z = 158,41 \text{ kg}$

Esfuerzo cortante promedio:

$$f_v = \frac{V_{\max}}{A} = \frac{158,41 \text{ kg}}{0,0083 \text{ m}^2} = 0,18 \text{ MPa} < 0,4F_y = 120 \text{ MPa}$$

Por lo tanto cumple con los requerimientos de diseño requeridos.

### 5.2.1 ANÁLISIS DE LA SECCIÓN CURVA DEL SOPORTE PRINCIPAL

Debido a que es necesario el diseño de las secciones de la silla que son curvas se analiza en donde se encuentran los mayores esfuerzos de acuerdo al diagrama de momentos:

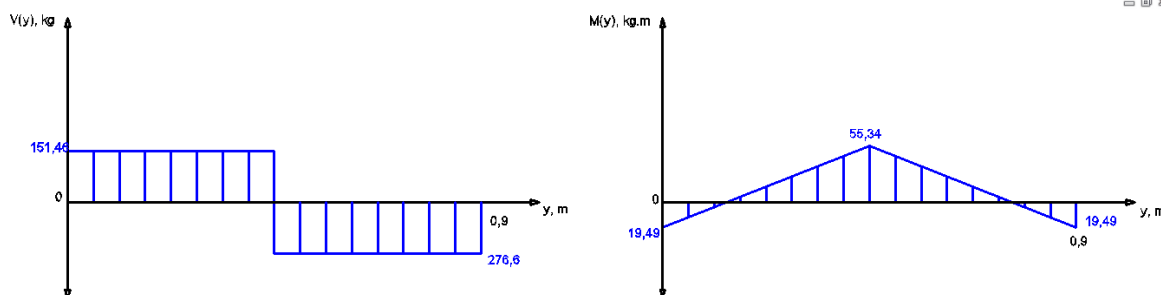


Figura 5.7 Diagrama de esfuerzo cortante y momento flector de la sección

Fuente: Propia

Resumiendo se tiene los siguientes momentos en los extremos para realizar el análisis de la sección curva, teniendo el momento mayor en el extremo izquierdo mediante el cual se procede al análisis de la sección.

$$M = 19,49 \text{ kg.m}$$

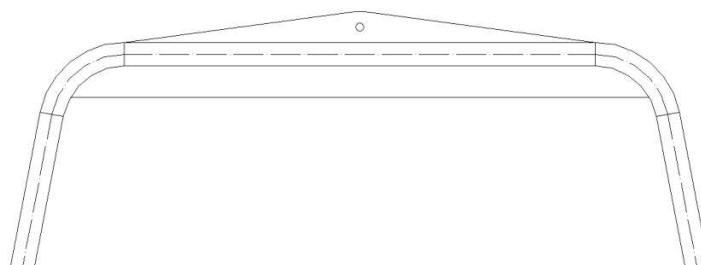


Figura 5.8 Diagrama de la sección cortante

Fuente: Propia

De acuerdo a la teoría de vigas curvas se tienen dos tipos, vigas de curvatura grande ( $\frac{2R}{r_c} > \frac{1}{5}$ ) y vigas de curvatura pequeña ( $\frac{2R}{r_c} \leq \frac{1}{5}$ ), se verifica para el caso de análisis teniendo las siguientes dimensiones:

$$r_i = 0,1 \text{ m}$$

$$R = 0,01905 \text{ m}$$

$$r_c = r_i + R = 0,11905 \text{ m}$$

$$\frac{2R}{r_c} = \frac{2(0,01905)}{(0,1)} = 0,381 > \frac{1}{5}$$

Por ello se trabaja con las formulas para vigas de curvatura grande.

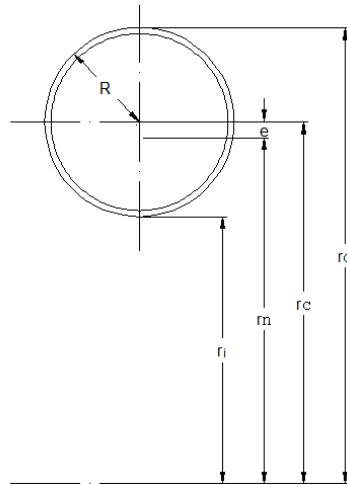


Figura 5.9 Dimensiones importantes en una viga curva

Fuente: Propia

$$r_n = \frac{R^2}{2(r_c - \sqrt{r_c^2 - R^2})}$$

(Ec. 5.3)

Donde

$r_o$ : Radio de la fibra externa

$r_i$ : Radio de la fibra interna.

$c_o$ : Distancia desde el eje neutro hasta la fibra exterior

$c_i$ : Distancia desde el eje neutro hasta la fibra interior

$r_n$ : Radio del eje neutro.

$r_c$ : Radio del eje centroidal.

$e$ : Distancia del eje centroidal al eje neutro.



M: Momento flexionante.

$d_{\text{int}}$ : Diámetro interno de la sección.

$d_{\text{ext}}$ : Diámetro externo de la sección.

$$\sigma_i = \frac{M c_i}{A e r_i}$$

(Ec. 5.4)

$$\sigma_0 = \frac{M c_0}{A e r_0}$$

(Ec. 5.5)

Se determina la excentricidad de la sección curva:

$$e = \frac{I}{r_c \cdot A} [m]$$

$$e = \frac{2,89e^{-8}}{(0,11905) \cdot (1,72e^{-4})} [m]$$

$$e = 1,41e^{-2} [m]$$

$$c_i = R - e$$

$$c_i = 0,01905 - 1,41e^{-2} [m]$$

$$c_i = 4,95e^{-3} [m]$$

$$c_0 = R + e$$

$$c_0 = 0,01905 + 1,41e^{-2} [m]$$

$$c_0 = 3,32e^{-2} [m]$$

$$\sigma_0 = \frac{M c_0}{A e r_0}$$

$$\sigma_i = \frac{(19,49)(1,41e^{-2})(9,81)}{(1,72e^{-4})(4,95e^{-3})(0,1)} [MPa]$$

$$\sigma_i = 31,66 [MPa]$$

$$\sigma_0 = \frac{M c_0}{A e r_0}$$

$$\sigma_0 = \frac{(19,49)(3,32e^{-2})(9,81)}{(1,72e^{-4})(4,95e^{-3})(0,1381)} [MPa]$$

$$\sigma_0 = 54 [MPa]$$

$$n = \frac{S_y}{\sigma_{max}}$$

$$n = \frac{300 [MPa]}{54 [MPa]}$$

$$n = 5,5$$

Con ello se verifica que las dimensiones de la sección curva son las adecuadas, y cumplen con los requerimientos de trabajo necesarios para el soporte.

### 5.3 DISEÑO DEL TUBO PRINCIPAL DE SOPORTE

El diseño de la tubería secundaria de basa principalmente en el análisis a flexión y tracción del mismo, como se especifica en el diagrama de fuerzas actuantes. De acuerdo a las fuerzas especificadas se tiene los siguientes diagramas de esfuerzos:

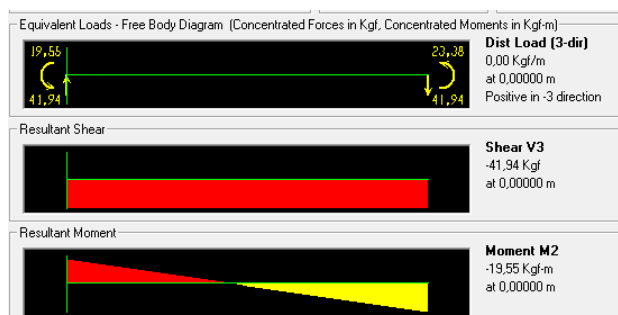


Figura 5.10 Diagramas de fuerza cortante y momento flector x-z

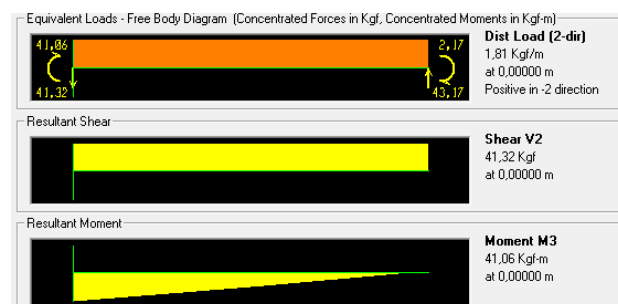
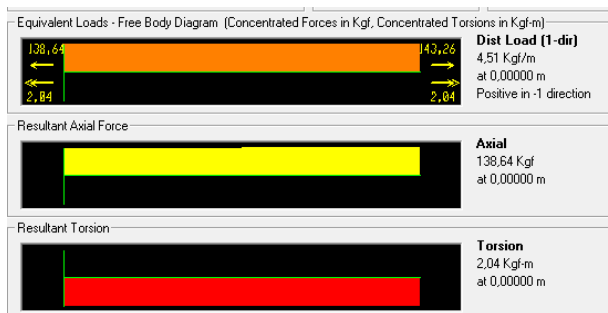


Figura 5.11 Diagramas de fuerza cortante y momento flector x-y



**Figura 5.12** Diagrama de fuerza a tensión

**Fuente:** Propia

El análisis a flexión se realiza por medio del diseño por momentos, por ello se comprueba mediante las formulas utilizadas en el capítulo 2, y se indentifica que:

$$\text{Momento Máximo} = M_y = 41,06 \text{ kg.m}$$

$$\text{Momento Máximo} = M_z = 19,55 \text{ kg.m}$$

$$\text{Fuerza Axial} = P = 138,64 \text{ kg}$$

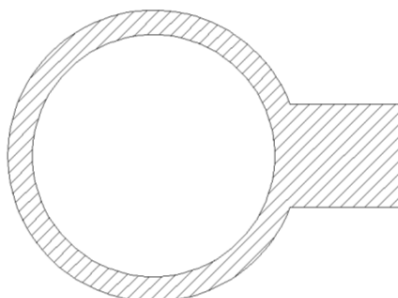
Con ello se procede al análisis correspondiente seleccionandose la sección adecuada:

TUBERÍA CIRC.	L [m]	Peso [kg/m]	D <sub>ext</sub> [m]	D <sub>int</sub> [m]	t [m]	A [m <sup>2</sup> ]	I <sub>y</sub> [m <sup>4</sup> ]	I <sub>x</sub> [m <sup>4</sup> ]	r <sub>y-y</sub> [m]	λ
3/4 PULG.	0,9	1,68	0,0267	0,02096	0,00287	2,15E-04	1,55E-08	1,55E-08	0,008	106
1 PULG.	0,9	2,5	0,0334	0,02664	0,00338	3,19E-04	3,64E-08	3,64E-08	0,011	84
1 1/4 PULG.	0,9	3,38	0,0422	0,03508	0,00356	4,32E-04	8,13E-08	8,13E-08	0,014	66
1 1/2 PULG.	0,9	4,05	0,0483	0,04094	0,00368	5,16E-04	1,29E-07	1,29E-07	0,016	57

**Tabla 5.3** Secciones de prueba para el tubo soporte inferior

**Fuente:** Propia

Analizando se ve que las secciones no cumplirían con las normativas para su correcta construcción se hace necesaria, modificar la sección mediante un elemento rigidizador cuadrado de 15 mm de lado, como se observa en la figura:



**Figura 5.13** Esquema de la sección compuesta

**Fuente:** Propia

Con ello determina la nueva inercia de la sección y se verifica los requerimientos de diseño obteniéndose los siguientes resultados:

SECCIÓN	(Ec. 2.19) $\leq 0,417$
<b>TUBERÍA CIRCULAR</b>	
¾ PULG.	1,22311
1 PULG.	0,64916
1 ¼ PULG.	0,30784
1 ½ PULG.	0,27215

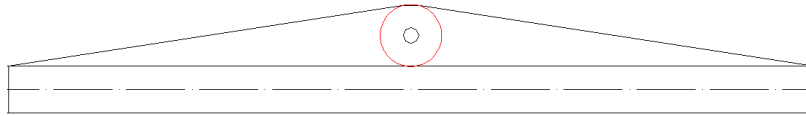
**Tabla 5.4** Resumen del análisis de la sección

**Fuente:** Propia

Con ello se selecciona la tubería circular de 1 ¼ cédula 40 con un rigidizador cuadrado de 20 mm que se indica en el plano respectivo.

#### **5.4 DISEÑO DEL ELEMENTO SUJETADOR DE LA UNIÓN SILLA SOPORTE**

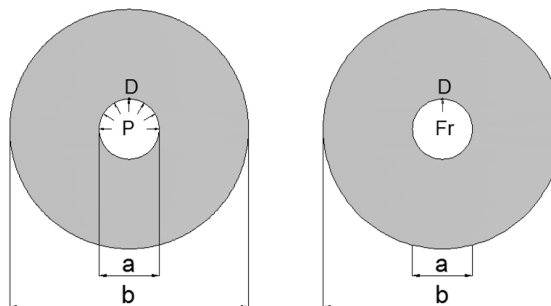
Este elemento resulta ser crítico debido a que permite la unión entre las sillas y los elementos de unión con el cable, por ello su diseño se basará en el principio de un cilindro de pared gruesa, para ello se selecciona una sección tal como se ilustra a continuación:



**Figura 5.14** Elemento de análisis

Fuente: Propia

Se considera un cilindro de pared gruesa para el cálculo del espesor de la placa, por eso es importante considerarlo como una fuerza con distribución interior, tal como se ilustra en el siguiente gráfico.



**Figura 5.15** Detalle del cilindro de pared gruesa

Fuente: Propia

Se calcula el espesor  $t$  para la sección que soporta mayor fuerza radial, el punto  $D$  en este caso, tomando en cuenta que la fuerza se distribuye a lo largo del perímetro en donde se asienta el eje considerando un juego normal y teniendo las siguientes dimensiones:

$a = 12,7$  mm, radio menor del cilindro

$b = 50$  mm, radio mayor del cilindro

$e$  = espesor de la placa

$Fr$  = fuerza radial actuante sobre  $D$

$$Fr = 320 \text{ kg}$$

Y la fuerza se calcula dividiendo la fuerza radial para la mitad del perímetro sobre el que se encuentra actuando el sistema a la vez que se considera que existe un juego radial.

$$p = \frac{F_r}{\frac{A}{2}}$$

(Ec. 5.6)

$$A = \pi \cdot a \cdot e$$

(Ec. 5.7)

Reemplazando en las ecuaciones respectivas se tiene:

$$p = \frac{2 \cdot F_r}{\pi \cdot a \cdot e}$$

$$p = \frac{2 \cdot (320\text{kg})}{\pi \cdot (0,0127\text{m}) \cdot (0,006\text{m})}$$

$$p = 2673468,86 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2}$$

Tenemos un esfuerzo equivalente expresado de la siguiente manera.

$$\sigma_{\text{eq}} = p \frac{2b^2}{b^2 - a^2}$$

(Ec. 5.8)

$$\sigma_{\text{eq}} = (2673468,86 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2}) \frac{2(0,05)^2}{(0,05)^2 - (0,0127)^2}$$

$$\sigma_{\text{eq}} = 5,72 \times 10^6 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2} = 56,07 \text{ MPa}$$

Se trabaja con el acero A 513 el cual tiene posee un límite de fluencia de 300 MPa.

$$n = \frac{S_y}{\sigma_{\text{eq}}}$$

$$n = \frac{300}{56,07} = 5,35$$

Por lo cual se cumple la condición de que el factor de seguridad sea mayor que cuatro, de forma que este elemento no fallará.

## 5.5 DISEÑO DEL ELEMENTO DE SEGURIDAD DE LA SILLA

El diseño consistirá en los ejes soportantes de la estructura y en la comprobación de las fuerzas actuantes en la estructura de seguridad. Para ello es necesario tomar en cuenta varios aspectos importantes:

- Se tendrá un sistema que soporte los pies de las personas de manera que permita tener la sensación de seguridad adecuada.
- El sistema se construye de tal manera que las personas no tengan la posibilidad de deslizarse de la silla, ya sea por voluntad propia o por condiciones externas adversas.
- Este elemento tendrá un sistema de sujeción adecuado que no permitirá que el mismo se levante con facilidad una vez que este ese colocado.
- El sistema debe ser de fácil manejo al momento de subir y de descender del teleférico.

### 5.5.1 DISEÑO DE LA ESTRUCTURA DE SEGURIDAD

La estructura de seguridad consistirá en un sistema simple que permita subir y bajar del teleférico con facilidad como se muestra en la figura:

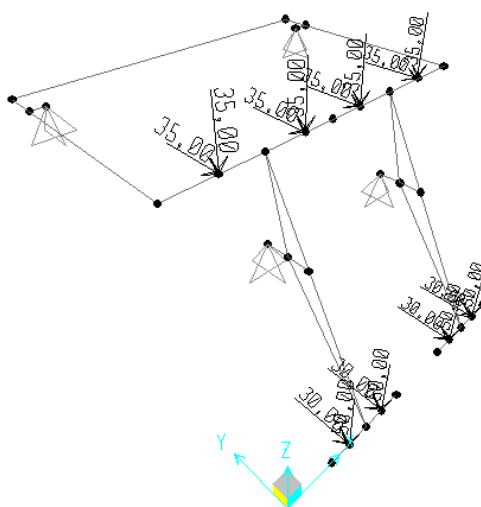


Figura 5.16 Esquema de fuerzas actuantes

Introduciendo los datos de fuerzas actuantes en el programa SAP 2000 se obtienen los siguientes resultados para el eje crítico, con la combinación de cargas según el diseño ASD de carga muerta más carga viva, se obtienen los siguientes resultados:

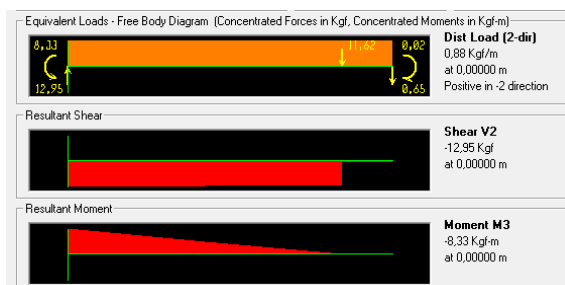


Figura 5.17 Diagramas de fuerza cortante y momento flector x-y

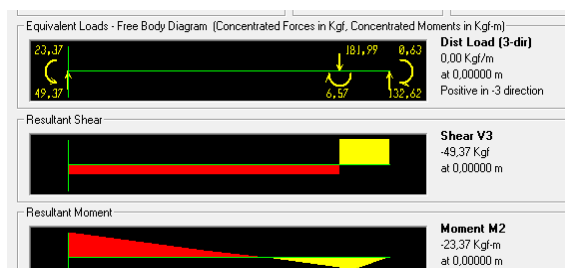


Figura 5.18 Diagramas de fuerza cortante y momento flector x-z

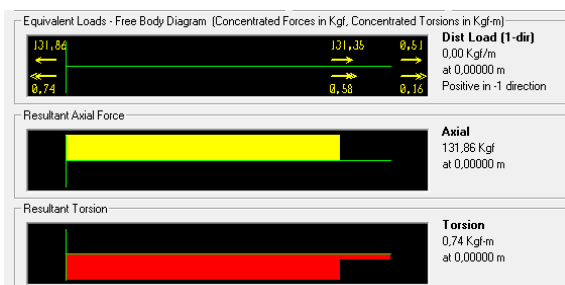


Figura 5.19 Diagramas de Fuerzas de compresión

Fuente: Propia

Se selecciona de igual manera que en apartados interiores la sección óptima, de acuerdo a las fuerzas obtenidas en los diagramas de fuerza cortante y momento flector:

$$\text{Momento Máximo} = M_y = 8,33 \text{ kg.m}$$

$$\text{Momento Máximo} = M_z = 23,37 \text{ kg.m}$$

$$\text{Fuerza Axial} = P = 131,86 \text{ kg}$$



Realizando el análisis respectivo se obtiene los siguiente resultados:

TUBERIA CIRCULAR	LONGITUD (m)	Dext	Dint	(Ec. 2.19) $\leq 0,417$
3/8 PULGADAS	1,1	0,0171	0,01148	0,69312
1/2 PULGADAS	1,1	0,0213	0,01576	0,36911
3/4 PULGADAS	1,1	0,0267	0,02096	0,19872
1 PULGADAS	1,1	0,0334	0,02664	0,16508

**Tabla 5.5** Resumen sección seleccionada

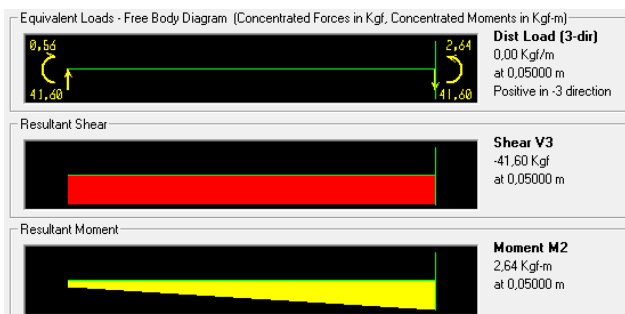
De donde se selecciona la sección de ½ pulgada cédula 40, que brinda un factor de seguridad adecuado para el trabajo a realizarse.

### 5.5.2 DISEÑO DE LOS EJES DE SUJECIÓN DEL SISTEMA

Se diseñan los ejes de unión basándose en que los mismos deben soportar el peso de las personas en caso crítico cuando suceda un incidente de impacto. Colocando las fuerzas como se ve en el siguiente esquema:



**Figura 5.20** Diagramas de fuerza cortante y momento flector x-y



**Figura 5.21** Diagramas de fuerza cortante y momento flector x-z

Fuente: Propia

La sección será un eje sólido de acero A 36, de 1 pulgada (25,4 mm),  $S_y = 4,02e^{-7}$  m<sup>3</sup>

$$M_y = 0,2 \text{ [kg.m]}$$

$$M_z = 2,64 \text{ [kg.m]}$$

$$M_T = \sqrt{M_y^2 + M_z^2} \text{ [kg]}$$

$$M_T = \sqrt{(0,2)^2 + (2,64)^2} \text{ [kg]}$$

$$M_T = 2,65 \text{ [kg]}$$

Con lo cual se analiza el punto crítico y se determina el esfuerzo máximo que soporta:

$$\sigma = \frac{M_T}{S} = \frac{2,65}{4,02e^{-7}} \text{ [MPa]}$$

$$\sigma = 64,67$$

y se procede a determinar el factor de seguridad.

$$n = \frac{S_y}{\sigma}$$

$$n = \frac{300}{64,67}$$

$$n = 4,64$$

## CAPÍTULO 6

### 6 DISEÑO DEL SISTEMA DE SUJECIÓN DE LA SILLA

Para lograr un adecuado diseño del sistema de sujeción de la silla es necesario entender cómo trabaja en su conjunto, para ello se observa el siguiente esquema del diseño de la silla:

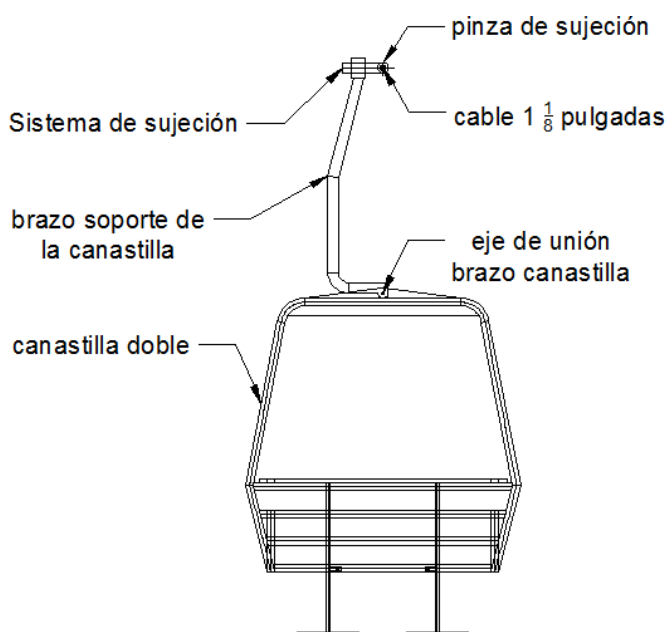


Figura 6.1 Esquema del conjunto silla

Fuente: Propia

Con esta configuración se procede a realizar el diseño del sistema de sujeción de la silla, dándole prioridad a las partes esenciales del sistema que están enumeradas en la figura 6.1.

#### 6.1 DISEÑO DEL BRAZO SOPORTE DE LA SILLA

EL diseño del brazo soporte de la silla es importante debido a que el mismo debe resistir todo el peso de las personas, peso propio de las sillas, peso del equipaje de los turistas, además de cargas imprevistas que pueden ocurrir durante el trayecto.

Se tiene el siguiente esquema para el calcula de las fuerzas actuantes en el sistema:

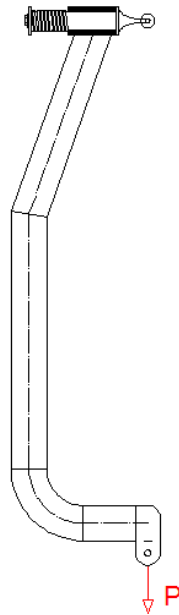


Figura 6.2 Esquema de fuerzas actuantes en el brazo soporte

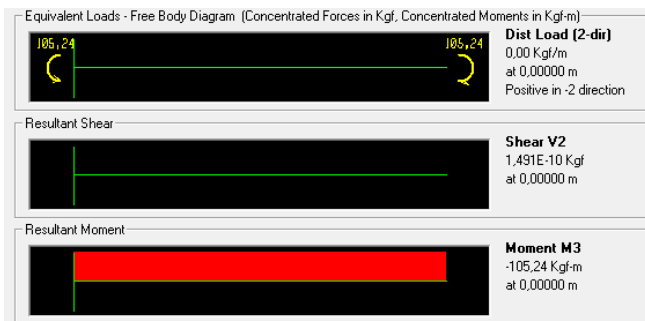


Figura 6.3 Diagramas de fuerza cortante y momento flector x-y

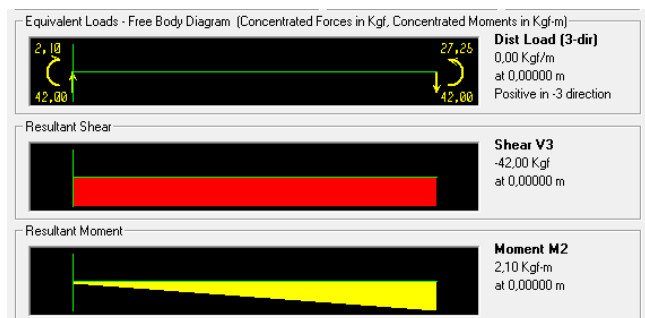


Figura 6.4 Diagramas de fuerza cortante y momento flector x-z

Fuente: Propia

La sección será tubular circular ASTM A53 GrB<sup>42</sup> con las siguientes características:

$$d_{\text{ext}} = 0,073 \text{ m}$$

$$d_{\text{int}} = 0,06268 \text{ m}$$

$$S = 1,743e^{-5} \text{ m}^3$$

$$I = 6,36e^{-7} \text{ m}^3$$

$$M_y = 2,1 \text{ kg. m} = 20,6 \text{ N. m}$$

$$M_z = 105,24 \text{ kg. m}$$

$$S_y = 242 \text{ MPa}^{43}$$

Se diseña la estructura del sistema considerando como que el mismo está actuando a flexión:

$$F_b = 0,6 S_y$$

$$F_b = 0,6 \times 242 = 145,2 \text{ Mpa}$$

$$f_{by} = \frac{M_y}{S_y} = \frac{20,6 \text{ [N. m]}}{1,743e^{-5} \text{ [m}^3\text{]}} = 1,18 \text{ Mpa}$$

$$f_{bz} = \frac{M_z}{S_z} = \frac{1032,4 \text{ [N. m]}}{1,743e^{-5} \text{ [m}^3\text{]}} = 59,22 \text{ Mpa}$$

$$I_b \leq \frac{1,18 \text{ Mpa}}{145,2 \text{ Mpa}} + \frac{59,33 \text{ Mpa}}{145,2 \text{ Mpa}} \leq 0,417$$

$$I_b \leq 0,008 + 0,408 \leq 0,417$$

$$I_b \leq 0,416 \leq 0,417$$

Puesto que la sección de mayor criticidad está de acuerdo con los criterios de diseño se determina que el mismo es adecuado para el trabajo que se va a realizar.

<sup>42</sup> [http://www.shurjoint.com/spa/files/support/B-22\\_Materials-revD-SPA.pdf](http://www.shurjoint.com/spa/files/support/B-22_Materials-revD-SPA.pdf)

<sup>43</sup> [http://www.dipacmanta.com/alineas.php?ca\\_codigo=3801](http://www.dipacmanta.com/alineas.php?ca_codigo=3801)

### 6.1.1 DISEÑO DE LOS ELEMENTOS CURVOS DEL BRAZO SOPORTE

Se utiliza las formulas para vigas curvas como se detalla a continuación:

$$r_i = 0,15 \text{ m}$$

$$R = 0,0365 \text{ m}$$

$$r_c = r_i + R = 0,1865 \text{ m}$$

$$\frac{2R}{r_c} = \frac{2(0,0365)}{(0,1865)} = 0,3914 > \frac{1}{5}$$

Se verifica mediante el método aproximado:

$$e = \frac{I}{r_c \cdot A} \text{ [m]}$$

(Ec. 6.1)

$$e = \frac{6,36e^{-7}}{(0,1865) \cdot (1,1e^{-3})} \text{ [m]}$$

$$e = 3,1e^{-3} \text{ [m]}$$

$$c_i = R - e$$

$$c_i = 0,0365 - 3,1e^{-3} \text{ [m]}$$

$$c_i = 0,0334 \text{ [m]}$$

$$c_0 = R + e$$

$$c_0 = 0,0365 + 3,1e^{-3} \text{ [m]}$$

$$c_0 = 0,0396 \text{ [m]}$$

$$\sigma_i = \frac{(1032,4)(0,0334)}{(1,1e^{-3})(3,1e^{-3})(0,15)} \text{ [MPa]}$$

$$\sigma_i = 67,41 \text{ MPa}$$

$$\sigma_0 = \frac{(1032,4)(0,0396)}{(1,1e^{-3})(3,1e^{-3})(0,223)} \text{ [MPa]}$$

$$\sigma_0 = 53,76 \text{ [MPa]}$$

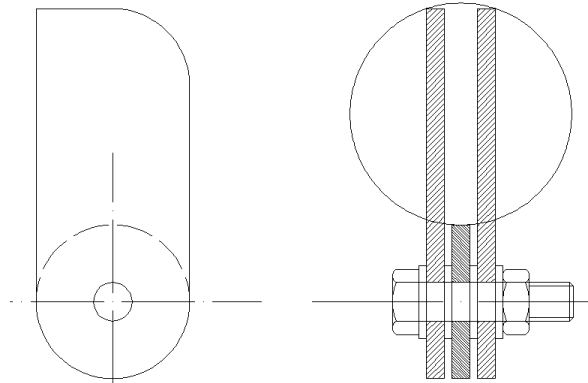
$$n = \frac{S_y}{\sigma_{max}}$$

$$n = \frac{300}{67,41}$$

$$n = 4,45$$

### 6.1.2 DISEÑO DEL SISTEMA DE UNIÓN BRAZO SOPORTE – SILLA

Para el diseño de este sistema se tomara en cuenta como que el mismo estará sometido a corte debido a la corta distancia existente entre ellos, como se aprecia en la figura:

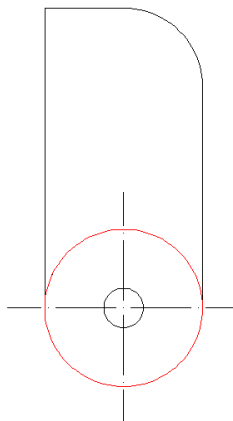


**Figura 6.5** Esquema del sistema de unión brazo soporte-silla

Se calcula tres piezas importantes para el diseño del sistema como son las dos placas del sistema de unión y el eje de unión del brazo con la silla.

#### 6.1.2.1 Diseño de las placas del sistema de unión

Para el diseño de las placas se considera como un cilindro de pared gruesa, dividiendo la fuerza actuante que en nuestro caso será de 420 kg para el número de placas sobre la que actúa de acuerdo al siguiente esquema:



**Figura 6.6** Elemento de análisis del cilindro de pared gruesa

**Fuente:** Propia

Se considera un cilindro de pared gruesa para el cálculo del espesor de la placa, por eso es importante considerar como una fuerza con distribución interior y que teniéndose las siguientes dimensiones:

$a = 12,7$  mm, radio menor del cilindro

$b = 50$  mm, radio mayor del cilindro

$e$  = espesor de la placa

$F_r$  = fuerza radial actuante sobre  $D$ , como son dos placas se dividen para dos

$$F_r = \frac{420}{2} \text{ kg}$$

Se calcula de manera similar que en el apartado

$$p = \frac{2 \cdot F_r}{\pi \cdot a \cdot e}$$

$$p = \frac{2 \cdot (210 \text{ kg})}{\pi \cdot (0,0127 \text{ m}) \cdot (0,006 \text{ m})}$$

$$p = 1754463,94 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2}$$

Tenemos un esfuerzo equivalente expresado de la siguiente manera.

$$\sigma_{\text{eq}} = p \frac{2b^2}{b^2 - a^2}$$

$$\sigma_{\text{eq}} = \left(1754463,94 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2}\right) \frac{2(0,05)^2}{(0,05)^2 - (0,0127)^2}$$

$$\sigma_{\text{eq}} = 3,75 \times 10^6 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2} = 36,8 \text{ MPa}$$

Se trabaja con el acero ASTM A53 GrB el cual tiene posee un límite de fluencia de 240 MPa.



$$n = \frac{S_y}{\sigma_{eq}}$$

$$n = \frac{240 \text{ [MPa]}}{36,8 \text{ [MPa]}}$$

$$n = 6,52$$

Por lo cual se cumple la condición de que el factor de seguridad sea mayor que cuatro, de forma que este elemento no fallará.

### 6.1.2.2 Diseño del eje de unión del brazo con la canastilla

Para el diseño del eje se toma en cuenta la siguiente configuración para el cálculo del elemento de unión:

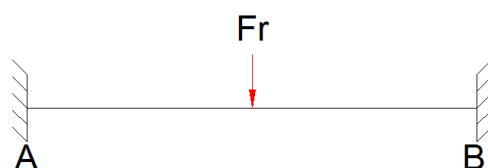


Figura 6.7 Esquema de fuerzas actuantes en el eje de unión

Se calcula como si estuviese actuando una fuerza cortante en el mismo:

$$f_v = \frac{V_{max}}{A} = \frac{4120,2}{1,27e^{-4}} = 32,4 \text{ MPa} < 0,4F_y = 138 \text{ MPa}$$

Por lo tanto el eje no fallará, mediante el programa inventor se procede a analizar los esfuerzos actuantes en el eje comprobando el factor de seguridad del mismo.

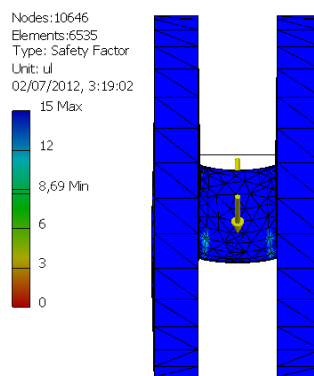
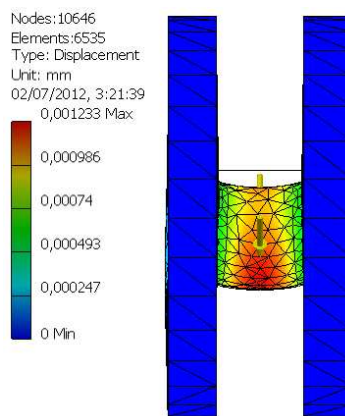


Figura 6.8 Factor de seguridad obtenido mediante el programa Inventor

Como se observa se tiene un factor de seguridad de 8,69 mediante el programa por lo cual se satisface los requisitos de diseño necesarios.



**Figura 6.9** Desplazamiento del eje de unión

**Fuente:** Propia

$$M = 5,56 \text{ N. m}$$

$$S = 2,01e^{-7} \text{ m}^3$$

$$f_{bz} = \frac{M_z}{S_z} = \frac{5,56 \text{ [N. m]}}{2,02e^{-7} \text{ [m}^3\text{]}} = 27,52 \text{ MPa}$$

Como se trata de un elemento no esbelto se tiene que  $F_b = 0,6S_y$

$$n = \frac{S_y}{f_b} = \frac{207}{27,52} = 7,52$$

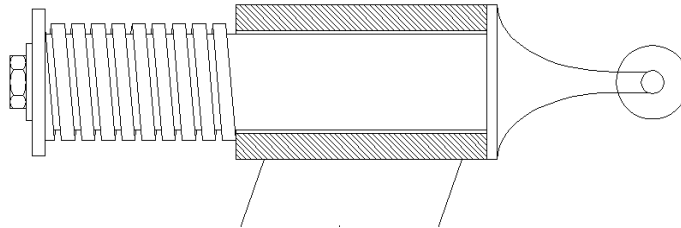
Con lo cual se verifica los resultados obtenidos y se satisface el factor de seguridad con el que se desea trabajar para un perno ASTM grado 2 de ½ pulgada.

### 6.1.3 DISEÑO DE SISTEMA DE UNIÓN BRAZO SOPORTE DE LA SILLA-GANCHO DE SUJECCIÓN

Debido a la importancia de este sistema se debe especificar las partes constituyentes que permitirán un adecuado funcionamiento del mismo:

- Diseño del soporte de unión

- Diseño del resorte de estabilización
- Diseño del perno soporte

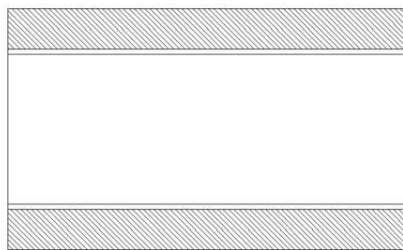


**Figura 6.10** Sistema de unión y estabilización de la silla

**Fuente:** Propia

### 6.1.3.1 Diseño del soporte de unión

Para el análisis se toma en cuenta como un cilindro de pared gruesa como se realizó en la sección anterior 6.1.2.1, para ello se tiene las siguientes dimensiones importantes.



**Figura 6.11** Soporte de unión

**Fuente:** Propia

a = 35 mm, radio menor del cilindro

b = 55 mm, radio mayor del cilindro

e = espesor de la placa

Fr = fuerza radial actuante sobre D, como son dos placas se dividen para dos

$$Fr = \frac{500}{2} \text{ kg}$$

Y la fuerza se calcula dividiendo la fuerza radial para la mitad del perímetro sobre el que se encuentra actuando el sistema a la vez que se considera que existe un juego radial.

$$p = \frac{2 \cdot F_r}{\pi \cdot a \cdot e}$$

$$p = \frac{2 \cdot (250 \text{ kg})}{\pi \cdot (0,035\text{m}) \cdot (0,1\text{m})}$$

$$p = 45472,84 \left[ \frac{\text{kg}}{\text{m}^2} \right]$$

Tenemos un esfuerzo equivalente expresado de la siguiente manera.

$$\sigma_{\text{eq}} = p \frac{2b^2}{b^2 - a^2}$$

$$\sigma_{\text{eq}} = (45472,84 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2}) \frac{2(0,055)^2}{(0,055)^2 - (0,035)^2}$$

$$\sigma_{\text{eq}} = 15,3 \times 10^4 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2} = 1,5 \text{ MPa}$$

Se trabaja con el acero AISI 1045 el cual tiene posee un límite de fluencia de 310 MPa.

$$n = \frac{S_y}{\sigma_{\text{eq}}}$$

$$n = \frac{310 \text{ [MPa]}}{1,5 \text{ [MPa]}}$$

$$n = 206$$

Este factor de seguridad elevado se justifica debido a que solo se está comprobando que el elemento no fallará, ya que por factores del diseño debe tener esta forma y dimensiones.

### 6.1.3.2 Diseño del resorte de estabilización<sup>44</sup>

Para el diseño del resorte se tiene los siguientes datos:

- Alambre al cromo vanadio diámetro 10 mm (0,39 pulgadas)
- Diámetro exterior 57 mm (2,25")
- Número de espiras  $n = 5 \frac{1}{2}$  espiras
- Tiene extremos escuadrados

Se sigue los pasos del libro de Shigley para determinar los distintos valores:

$$S_{ut} = \frac{A}{d^m}$$

$$S_{ut} = \frac{169}{(0,39)^{0,167}} [ksi]$$

$$S_{ut} = 197,78 [ksi]$$

Reemplazando en las ecuaciones 10-12 y 10-13 del libro se tiene que:

$$S_y = 0,75 \cdot S_{ut} [ksi]$$

$$S_y = 0,75(197,78) [ksi]$$

$$S_y = 148,3 [ksi]$$

$$S_{sy} = 0,577 \cdot S_y [ksi]$$

$$S_{sy} = 0,577(148,3) [ksi]$$

$$S_{sy} = 85,57 [ksi]$$

El diámetro medio del resorte es

$$D = 2,25 - 0,39 = 1,86 [pulg]$$

De donde se determina el índice del resorte:

---

<sup>44</sup> SHIGLEY JOSEPH; "Manual de diseño mecánico"; Editorial Limusa; Cuarta edición, México, 1978.

$$C = \frac{D}{d} = \frac{1,86}{0,39} = 4,77$$

$$k_s = 1 + \frac{0,5}{C}$$

$$k_s = 1 + \frac{0,5}{4,77} = 1,105$$

Se determina la carga estática máxima

$$F_{m\acute{a}x} = \frac{S_{sy}\pi d^3}{8k_s D}$$

$$F_{m\acute{a}x} = \frac{(85,57)\pi(0,39)^3}{8(1,105)(2,25)} [ksi]$$

$$F_{m\acute{a}x} = 0,802 [klb]$$

De la figura 10-8 y ecuación 10-10 del libro se halla que el número de espiras activas es:

$$N = 5,5 - 1 = 4,5$$

Se evalúa la constante del resorte con  $G = 11,5$  Mpsi

$$k = \frac{d^3 G}{8D^3 N} = \frac{(0,39)^3 (11,5e^6)}{8(2,25)^3 (4,5)} = 1663,57 [psi]$$

$$y = \frac{F}{k} = \frac{802 [lb]}{1663,57 [psi]} = 0,482 [pulg]$$

Se calcula la longitud cerrada se calcula a continuación:

$$h = nd = (5,5)(0,39) = 2,15 [pulg]$$

La longitud del resorte no debe ser mayor que la longitud cerrada más la deformación originada por una carga cuyo valor esté a punto de exceder el necesario para iniciar la fluencia:

$$l_f = y + h = 0,482 + 2,15 = 2,632 \text{ [pulg]}$$

Se verifica si se evita la fluencia del elemento:

$$\frac{y}{l_f} = \frac{0,482}{2,632} = 0,18$$

$$\frac{l_f}{D} = \frac{2,632}{2,25} = 1,17$$

Por lo cual según la figura 10-4 de Shigley no existirá pandeo.

Como la fuerza de diseño es la presión del viento se verifica que cumple con las características necesarias para soportar los esfuerzos por esta carga, de manera que estabilizará el sistema.

### 6.1.3.3 Diseño del perno de sujeción del sistema

Para verificar los esfuerzos producidos en el perno se procede a analizar los esfuerzos a los que está sometido el perno con un factor de seguridad de cuatro para el mismo, considerando que la longitud de agarre será la que se encuentra introducida en el eje.

Confiabilidad = 50 %

Rosca pulida

$P_T = 800 \text{ lb}$

Para grado SAE 2<sup>45</sup>

$S_{ut} = 74 \text{ ksi}$

$S_P = 55 \text{ ksi}$

$S_y = 57 \text{ ksi}$

---

<sup>45</sup> Shigley 4ta edición, Tabla 8-5, Pág. 403

Se calcula las constantes importantes que influyen en el dimensionamiento de los pernos:

$$S_e = S_e' k_a \cdot k_b \cdot k_c \cdot k_d \cdot k_e \cdot k_f$$

Según pruebas axiales se tiene la siguiente ecuación:

$$S_e' = 19,2 + 0,314 S_{UC}$$

$$S_{ut} = S_{uc} \text{ Para materiales dúctiles}$$

$$S_e' = 19,2 + 0,314(74)$$

$$S_e' = 42,44 \text{ ksi}$$

$$k_b = 1$$

$$k_a = 1^{46}$$

$$k_c = 1 \text{ (50\% de confiabilidad)}$$

$$k_d = 1, (T < 450^\circ \text{ C})$$

Tabla 8-6: roscas laminadas  $k_f = 2,2$

$$k_e = \frac{1}{k_f} = \frac{1}{2,2}$$

Reemplazando en la formula

$$S_e = (42,44)(0,45)$$

$$S_e = 19,29 \text{ kpsi}$$

Determinación de la relación de rigidez C

---

<sup>46</sup> SHIGLEY JOSEPH; "Manual de diseño mecánico"; Editorial Limusa; Octava edición, México, 2008, Figura 7.10.



$$C = \frac{k_b}{k_b + k_m}$$

Rigidez de los pernos:

Tabla A-18, Acero de alta resistencia

$$E = 30 \times 10^6 \text{ [psi]}$$

$$d = 0,5 \text{ [plg]}$$

Para calcular el agarre que tiene el perno se utiliza la siguiente ecuación:

$$l = 2d + \frac{1}{4}$$

$$l = 2(0,5) + \frac{1}{4}$$

$$l = 1,25 \text{ [plg]}$$

$$k_b = \frac{A \cdot E}{l} = \frac{\pi \cdot d^2 \cdot E}{4 \cdot l} = \frac{\pi \cdot (0,5)^2 \cdot (30 \times 10^6)}{4 \cdot (1,25)}$$

$$k_b = 4,71 \times 10^6 \left[ \frac{\text{lb}}{\text{plg}} \right]$$

Rigidez de los elementos:

Tabla A-18, siendo el modulo de elasticidad del acero de:

$$E = 30 \text{ kpsi}$$

$$k_m = \frac{\pi \cdot E \cdot d}{2 \ln \left[ 5 \cdot \frac{l + 0,5d}{l + 2,5d} \right]}$$

$$k_m = \frac{\pi \cdot (30 \times 10^6) \cdot (0,5)}{2 \ln \left[ 5 \cdot \left( \frac{1,25 + 0,5(0,5)}{1,25 + 2,5(0,5)} \right) \right]}$$

$$k_m = 21,45 \times 10^6 \frac{lb}{plg}$$

$$C = \frac{4,71 \times 10^6}{4,71 \times 10^6 + 21,45 \times 10^6} = 0,18$$

Tabla 8-2: para 1/2 plg-13 UNC  $A_t = 0,1419 \text{ plg}^2$

$$F_p = A_t S_p$$

$$F_p = (0,1419)(55) \text{ ksi}$$

$$F_p = 7,8 \text{ klb}$$

$$4,7 \text{ klb} < F_i < 7,02 \text{ klb}$$

Se escoge el valor  $F_i = 5,86 \text{ klb}$  para casos críticos, como la fuerza de tracción ya se determino por aun factor de seguridad de cuatro se tiene:

$$P_T = 1760 \frac{lb}{perno}$$

Cuando se tiene condiciones normales de funcionamiento la presión sobre el eje seria de:

$$P_{T\text{mín}} = 55 \left[ \frac{lb}{perno} \right]$$

Se calcula las fuerzas máximas y mínimas para cada perno:

$$F_{b\text{máx}} = C \cdot P_{\text{máx}} + F_i$$

$$F_{b\text{máx}} = (0,18) \times (1760) + 5860$$

$$F_{b\text{m}\acute{a}x} = 6176,8 \text{ [lb]}$$

$$F_{b\text{m}\acute{i}n} = C \cdot P_{\text{m}\acute{i}n} + F_i$$

$$F_{b\text{m}\acute{i}n} = (0,18) \times (55) + 5860$$

$$F_{b\text{m}\acute{i}n} = 5870 \text{ [lb]}$$

#### 6.1.3.3.1 Diseño estático

$$n = \frac{A_t S_y - F_{b\text{m}\acute{a}x}}{C \cdot P_{\text{m}\acute{a}x}}$$

$$n_{\text{EST}} = \frac{(0,1419)(57000) - (6176,8)}{(0,18) \cdot (1760)}$$

$$n = 6,03$$

#### 6.1.3.3.2 Diseño a fatiga

$$n = \frac{2 \cdot (A_t S_{ut} - F_{b\text{m}\acute{a}x})}{C \cdot P_{\text{m}\acute{a}x} \left( \frac{S_{ut}}{S_e} + 1 \right)}$$

$$n_{\text{FAT}} = \frac{2 \cdot ((0,1419)(74000) - 6176,8)}{(0,18)(1760) \left( \frac{74000}{19290} + 1 \right)}$$

$$n = 5,64$$

#### 6.1.3.3.3 Torque de apriete

$$T_i = 0,2F_i d = 0,2(5860)(0,5) \text{ [lb. pulg]}$$

$$T_i = 586 \text{ [lb. pulg]} = 6,77 \text{ [kg. m]}$$

## 6.2 DISEÑO DEL SISTEMA DE UNIÓN CABLE-GANCHO DE SUJECCIÓN

El elemento unión cable-gancho de sujeción es uno de los componentes vitales del sistema teleférico, por ello para su diseño se deben tomar en cuenta todos los aspectos que influyen en el funcionamiento del mismo, y al menos se diseñará con un factor de seguridad de 4 para la condición más crítica de carga que pueda darse durante su funcionamiento.

Para la selección del modelo de la pinza de sujeción se opta por un diseño que consiste en asegurar en el interior del cable el gancho de sujeción, como se muestra en la siguiente figura, debido a las ventajas que presenta en comparación con otros medios de sujeción:

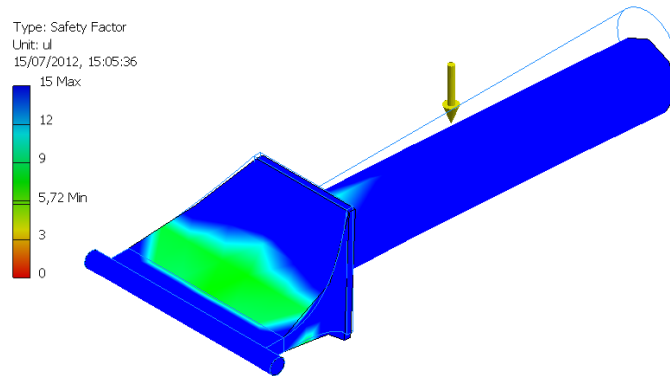
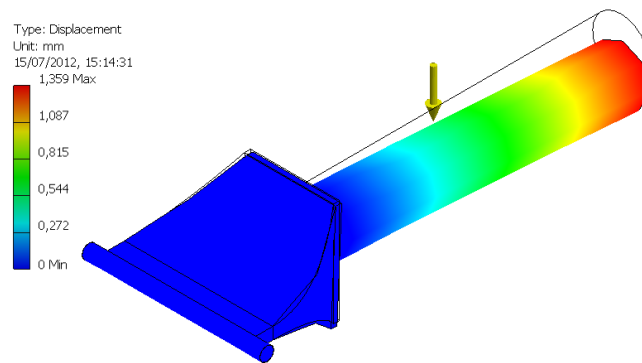
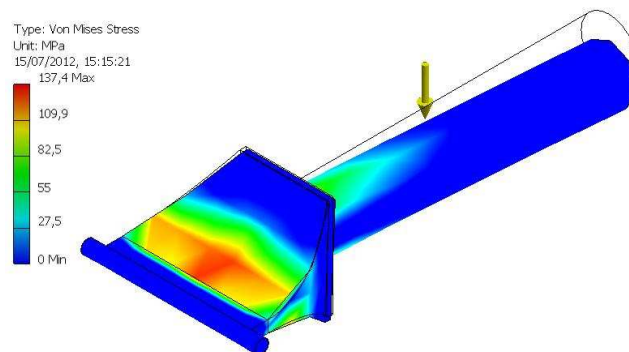


**Figura 6.12** Funcionamiento del gancho de sujeción

**Fuente:** <http://superiortramway.com/parts/sb-54.pdf>

Para realizar un diseño análogo con un eje como se describe a continuación:

Se realiza el análisis mediante el programa AUTODESK INVENTOR 2012, se realiza el análisis del eje para determinar si la sección cumple con los requisitos de diseño establecidos como se aprecia a continuación:

**Figura 6.13** Factor de seguridad**Figura 6.14** Desplazamientos**Figura 6.15** Esfuerzos máximos

### 6.2.1 DISEÑO DEL EJE

Primero se realiza el análisis de las fuerzas actuantes sobre el eje como se va a continuación:

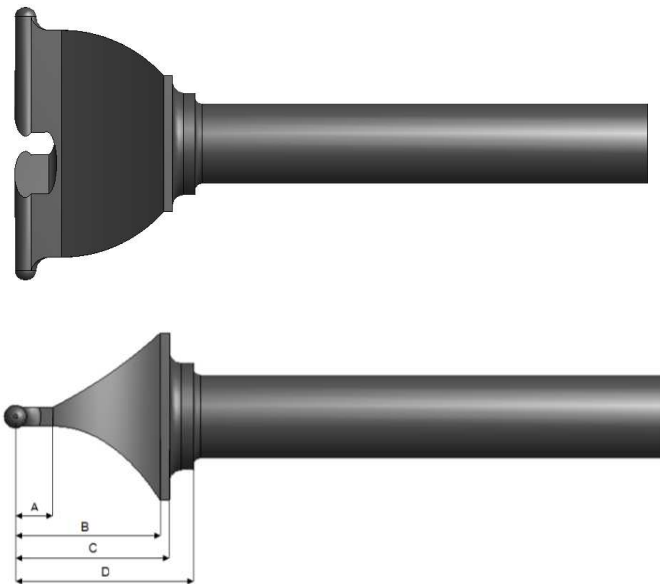


Figura 6.16 Esquema del eje

Con ello mediante el programa SAP 2000 se determinan los estados de fuerza y se obtienen los diagramas de momento flector, determinándose los puntos críticos:

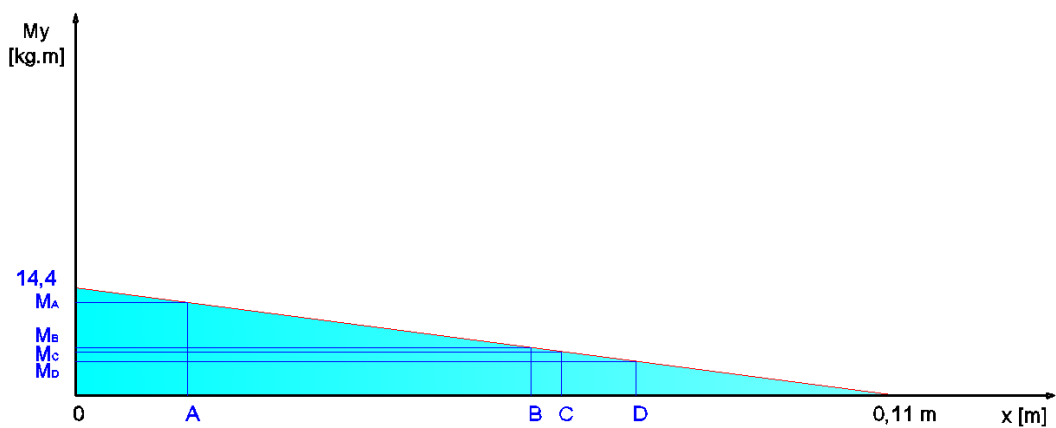
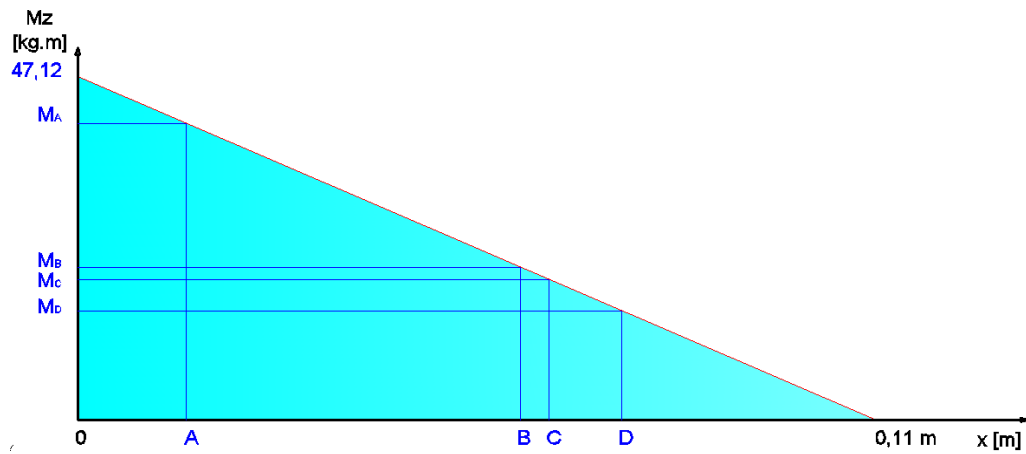


Figura 6.17 Diagrama de momento flector x-y

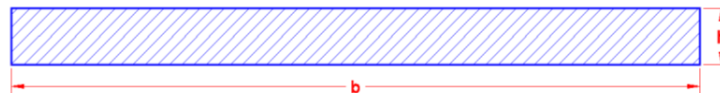


**Figura 6.18** Diagrama de momento flector x-z

Como se puede determinar los puntos de análisis serian A y D, debido a los momentos actuantes y las secciones del eje en dicho punto.

### 6.2.1.1 Análisis del punto A

Para el punto A se tiene una sección rectangular con las siguientes características:



**Figura 6.19** Sección en el punto A

$$b = 0,12 \text{ [m]}$$

$$a = 0,012 \text{ [m]}$$

$$S = 2,88e^{-6} \text{ [m}^3\text{]}$$

$$M_{Ay} = 12,4 \text{ [kg.m]}$$

$$M_{Az} = 40,7 \text{ [kg.m]}$$

$$M_T = \sqrt{M_{Ay}^2 + M_{Az}^2} \text{ [kg]}$$

$$M_T = \sqrt{(12,4)^2 + (40,7)^2} [kg]$$

$$M_T = 42,55 [kg]$$

Con lo cual se analiza el punto crítico y se determina el esfuerzo máximo que soporta:

$$\sigma = \frac{M_T}{S} = \frac{42,55}{2,88e^{-6}} [MPa]$$

$$\sigma = 144,94 [MPa]$$

y se procede a determinar el factor de seguridad.

$$n = \frac{S_y}{\sigma}$$

$$n = \frac{689}{144,94}$$

$$n = 4,75$$

### 6.2.1.2 Análisis del punto D

Para el punto D se tiene una sección circular realizándose el análisis del eje, que tiene las siguientes características:

$$S = 4,2e^{-6} [m^3]$$

$$M_{Ay} = 4,58 [kg.m]$$

$$M_{Az} = 15 [kg.m]$$

$$M_T = \sqrt{(4,58)^2 + (15)^2} [kg]$$

$$M_T = 15,68 [kg]$$

Con lo cual se analiza el punto crítico y se determina el esfuerzo máximo que soporta:

$$\sigma = \frac{M_T}{S} = \frac{15,68}{4,02e^{-6}} [MPa]$$

$$\sigma = 38,26 [MPa]$$



y se procede a determinar el factor de seguridad.

$$n = \frac{S_y}{\sigma}$$
$$n = \frac{689}{38,26}$$
$$n = 18$$

Con lo cual el factor de seguridad es adecuado en el eje, y se justifica el factor elevado debido a las condiciones de maquinado y construcción que debe tener el eje.

## **CAPÍTULO 7**

### **7 VERIFICACIÓN DE LOS PROCEDIMIENTOS DE SOLDADURA**

En este capítulo se selecciona las variables necesarias para la precalificación de un procedimiento de soldadura, en base a las juntas presentes en los sistemas constituyes del teleférico.

#### **7.1 ESPECIFICACIÓN DEL PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA (WPS)**

Para la realización de la especificación de procedimiento de soldadura (WPS) correspondientes a uniones soldadas de estructuras planas y tubulares sometidas tanto a cargas estáticas como cíclicas, siguiendo los lineamientos generales del Capítulo 3 de la norma AWS D 1.1, los cuales se detallan a continuación.

#### **7.2 REQUERIMIENTOS GENERALES PARA UNA WPS PRECALIFICADA**

Todos los requerimientos indicados en la Tabla 3.7 de la norma deberán ser cumplidos para la realización de una WPS precalificada. Por esta razón se analiza los mismos a continuación.

##### **7.2.1 VARIABLES ESENCIALES DEL PROCESO DE SOLDADURA**

Los parámetros indicados a continuación deben ser especificados y considerados dentro de las limitaciones de las variables esenciales dadas en la tabla 4.5 de la norma:

- Corriente de soldadura (o velocidad de alimentación del alambre)
- Tensión de soldadura
- Velocidad de Avance o Velocidad de Soldadura
- Velocidad de Flujo del Gas de Protección (caudal)

Las siguientes variables esenciales no son susceptibles de modificación por lo tanto se procede al análisis de las mismas para la realización de los WPS competentes para el sistema:

<b>Metal de aporte</b>	
Incremento en la clasificación de resistencia del metal de aporte	X
Cambio de electrodo SMAW de bajo hidrógeno a electrodo que no es de bajo hidrógeno	X
<b>Electrodo</b>	
Cambio en el diámetro nominal del electrodo por:	Incremento >0,8 mm
<b>Parámetros Eléctricos</b>	
Cambio en la corriente de soldadura o amperaje [A] para cada diámetro usado por:	A un valor no recomendado por el fabricante
Cambio en la tensión de soldadura o voltaje[V] para cada diámetro usado por:	Un valor no recomendado por el fabricante del electrodo
<b>General</b>	
Cambio en la posición, no calificada por Tabla 4.1	X
Cambio en diámetro, o espesor, o ambos, no calificados por la Tabla 4.2	X
Cambio en el metal base o combinación de metales base, no listados en el PQR o calificados por la Tabla 4.7	X
Soldadura Vertical: Para cualquier en la progresión de la pasada, de ascendente a descendente y viceversa	X
Cambio en el tipo de bisel (ej., ½ V a V). Excepto la calificación de cualquier soldadura de bisel con CJP calificada para cualquier detalle del bisel de acuerdo con los requerimientos de 3.12 o 3.13	X
Cambio en el tipo de bisel a un bisel recto y viceversa	X
Cambio excediendo las tolerancias de 3.12, 3.13, 3.13.4, 5.22.4.1, o 5.22.4.2 que incluyan: a) disminución en el ángulo del bisel b) disminución en la abertura de raíz c) incremento en el talón o cara de la raíz	X
Disminución de la temperatura de precalentamiento	>15°C
Disminución de la temperatura entre pasadas:	>15°C

**Tabla 7.1** Variables esenciales para precalificar un WPS.

**Fuente:** Propia, Basado en AWS D 1.1

### **7.2.2 PROCESO DE SOLDADURA**

De acuerdo a la norma AWS D1.1 sección 3.2.2, los procesos permitidos para la elaboración de los WPS precalificados son:

- Soldadura por arco con electrodo revestido (SMAW)
- Soldadura por arco sumergido (SAW)
- Soldadura por arco eléctrico con protección gaseosa (semiautomática alambre macizo), excepto modo de transferencia por cortocircuito (GMAW)
- Soldadura por arco con alambre tubular (semiautomática alambre tubular), con o sin protección gaseosa. (FCAW).
- Para los procesos GMAW y FCAW deberán ser utilizadas únicamente máquinas de soldar con fuente de poder de tensión constante.

Debido a las condiciones de fabricación y montaje de las estructuras se selecciona el proceso de soldadura por arco con electrodo revestido (SMAW).

Este proceso consiste en la utilización de un electrodo con un determinado recubrimiento. A través del mismo se hace circular un determinado tipo de corriente eléctrica, ya sea esta de tipo alterna o directa. Se establece un corto circuito entre el electrodo y el material base que se desea soldar, este arco eléctrico puede alcanzar temperaturas del orden de los 5500 °C, depositándose el núcleo del electrodo fundido al material que se está soldando, de paso se genera mediante la combustión del recubrimiento, una atmosfera que permite la protección del proceso, esta protección se circunscribe a evitar la penetración de humedad y posibles elementos contaminantes. También se produce una escoria que recubre el cordón de soldadura generado.

### **7.2.3 MATERIAL BASE**

Durante el diseño de los sistemas constituyentes del teleférico se definieron los materiales de acuerdo a catálogos que satisfacen las necesidades de resistencia mecánica, resistencia a la corrosión y existencia en el mercado, los cuales se muestran a continuación:

SISTEMA	MATERIAL	S <sub>y</sub> [MPa]	Grupo
ESTACIÓN DE SALIDA	ASTM A53 Gr B	240	I
ESTACIÓN DE LLEGADA	ASTM A53 Gr B	240	I
TORRES	ASTM A588	345	II
RUEDA MOTRIZ Y DE REENVIO	ASTM A 36	250	I y II
	AISI 4340	685	IV
TREN DE POLEAS	ASTM A 588	345	II
	AISI 4340	685	IV
CANASTILLAS	ASTM A 513	300	I y II
SISTEMA DE UNIÓN	ASTM A53 Gr B	240	I
CARRO MOVIL	ASTM A 36	250	I y II

Tabla 7.2 Selección de metal de aporte

Fuente: <http://www.inti.gob.ar/cirsoc/pdf/304/Cap3.pdf>

#### 7.2.4 MATERIAL DE APORTE

Para determinar el material de aporte es necesario verificar el criterio de relación entre la resistencia del material base y el metal de aporte descrito en la tabla 7.1 se determinara si se requieren metales de aporte que igualen o se ubiquen por debajo de la resistencia del metal base.

Relación	Metal(es) Base	Relación de Resistencia requerida del metal de aporte
Igual a	Cualquier acero consigo mismo o cualquier acero a otro del mismo grupo	Cualquier metal de aporte listado en el mismo grupo
	Cualquier acero de un grupo con un acero de otro grupo	Cualquier metal de aporte listado para un grupo de menor resistencia. (Los electrodos para soldadura manual deben estar clasificados como bajo hidrógeno.)
Metal de Aporte Por Debajo	Cualquier acero con otro de cualquier grupo	Cualquier metal de aporte listado para el correspondiente al grupo de menor resistencia. (Los electrodos para soldadura manual deben estar clasificados como bajo hidrógeno.)

Tabla 7.3 Combinación de metal base y metal de aporte

Fuente: Norma AWS D1.1; 2008; página 59

Para realizar la correcta selección del material de aporte se toma una menor relación del mismo con respecto al material base, tal como se especifica en la tabla 7.4. En base a este criterio se detalla los tipos de electrodos a utilizarse en cada sistema:

SISTEMA	Tipo de soldadura	Metal de aporte
ESTACIÓN DE SALIDA	Soldadura manual	E6010, E7018
ESTACIÓN DE LLEGADA	Soldadura manual	E6010, E7018
TORRES	Soldadura manual	E6010, E7018
RUEDA MOTRIZ Y DE REENVIO	Soldadura manual	E6010, E7018
TREN DE POLEAS	Soldadura manual	E6010, E7018
CANASTILLAS	Soldadura manual	E6010, E7018
SISTEMA DE UNIÓN	Soldadura manual	E6010, E7018
CARRO MOVIL	Soldadura manual	E6010, E7018

Tabla 7.4 Selección del tipo de soldadura y metal de aporte

Fuente: Propia, Basado en AWS D 1.1

Dependiendo del espesor de las placas o tubería es recomendable usar para el primer pase un electrodo E 6010 para garantizar una buena penetración. Para los pasos restantes cumpliendo la especificación que para soldadura manual el material de aporte debe ser de bajo hidrógeno, se tiene las siguientes características de los electrodos:

	E7018	E6010
RESISTENCIA TENSIL:	77,14 A 88,73 KSI	72,86 - 84,36 KSI
LIMITE ELASTICO:	62,79 A 72,86 KSI	60-70 KSI
ALARGAMIENTO (5d):	25-29%	24-28%
PRUEBA DE IMPACTO :	120 A 160 N.m (-30 °C)	120 A 160 N.m (-30 °C)
POSICIONES:	TODAS EXCEPTO VERTICAL DESCENDENTE	VERTICAL ASCENDENTE Y DESCENDENTE
CORRIENTE:	90-140 [A] AC o DC (+)	75-120 [A] DC (+)
DIÁMETRO:	1/8"	1/8"

Tabla 7.5 Propiedades del electrodo E 7018

Fuente: <http://www.lincolnelectric.com.co/mod/pdf/gricon15.pdf>.

### **7.2.5 POSICIÓN DE SOLDADURA.**

Analizando las condiciones de fabricación de los elementos que forman parte de los distintos sistemas del teleférico se tienen cuatro juntas tipo importantes que se describen a continuación detallando su respectiva posición de soldadura.

Las soldaduras podrán ser calificadas como:

- Planas (F).
- Horizontal (H).
- Vertical (V).
- Sobre cabeza (OH).

En la posición vertical la progresión para todas las pasadas de soldaduras deberá considerarse en posición vertical ascendente, excepto que haya que reparar una socavación. En este último caso podrá indicarse la soldadura en posición vertical descendente, conforme el precalentamiento esté de acuerdo con la Tabla 3.2 de la norma, pero a una temperatura mayor o igual que 20 °C.

Para elementos estructurales tubulares, la progresión de soldaduras verticales puede ser tanto ascendente como descendente, pero sólo en la(s) dirección(es) para la(s) que el soldador esté calificado.

Los tipos de soldadura encontradas durante el desarrollo del diseño de los elementos se definen las posiciones mostradas en la tabla 7.5. En base a la especificaciones de calificación de la tabla 4.1 de la norma.

TIPO DE SOLDADURA	POSICIÓN	ESQUEMA
Juntas con bisel de penetración completa para uniones no tubulares	2F	
	3F	
Juntas de filete para uniones tubulares y no tubulares	5F	
Juntas de penetración completa para uniones tubulares	2G	
	5G	

**Tabla 7.6** Posiciones de soldadura.

**Fuente:** Propia, basado en AWS D 1.1



### 7.2.6 RANGO DE ESPESOR Y DIÁMETRO CALIFICADO

En base a los espesores obtenidos de diseño y con las especificaciones de la tabla 4.2 de la AWS se clasifica los tipos de juntas en un rango de espesores, debido a que es una variable esencial que no tiene opción a modificarse, el cual se describe a continuación:

JUNTA	DIÁMETRO NOMINAL	RANGO DE ESPESOR	UBICACIÓN
Juntas con bisel de penetración completa para uniones no tubulares	-----	$3 \leq T \leq 10$	Rueda motriz Tren de poleas
Juntas de filete para uniones tubulares y no tubulares	$\geq 600$	$3 \leq T \leq 10$	Torres
Juntas de penetración Completa para uniones tubulares	$< 600$	$3 \leq T \leq 10$	Estación de salida Estación de llegada Canastillas Sistema de unión

Tabla 7.7 Rango de espesores

Fuente: Propia, basado en AWS D 1.1

### 7.2.7 PASES DE SOLDADURA

Para determinar el número de pases de soldadura es necesario tomar en cuenta las consideraciones de la tabla 3.7 de la norma, las cuales se describen a continuación:

Variable	Posición	Tipo de soldadura	Dimensión [mm]
Máximo espesor de pasada de raíz	Vertical	T	12
	Plana	T	10
		L	10
Máximo espesor de pasada de relleno	Vertical	T	5
	Plana	T	5
		L	5
Máximo tamaño de pasada única de soldadura de filete	Vertical	T	12
	Plana	L	10

Tabla 7.8 Dimensiones recomendadas para pases de soldadura

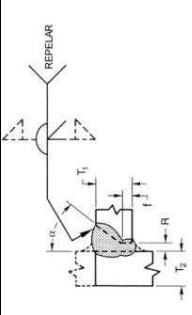
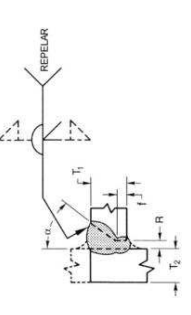
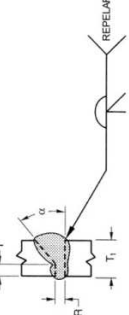
Fuente: Propia, basado en AWS D 1.1

### **7.2.8 DIMENSIONES DE LA JUNTA**

En el sistema se utiliza juntas de penetración completa por ello se obtiene los parámetros necesarios en base a las especificaciones del literal 3.13, que son:

- Forma del bisel.
- Separación de raíz.
- Tamaño del talón.

Las dimensiones de las soldaduras con bisel especificadas en el literal 3.13 de la norma pueden variar en el diseño o planos de detalle de acuerdo con las tolerancias indicadas en la tabla 7.7 de la norma. Las tolerancias de presentación pueden ser aplicadas a las dimensiones mostradas en los planos de detalle.

JUNTA	TIPO DE BISEL	TIPO DE JUNTA	DETALLE DE LA JUNTA	T1 [mm]	T2 [mm]	Abertura de raíz Talón Ángulo de bisel [mm]	Tolerancias de Detalle [mm]	Tolerancias de Presentación [mm]	Posición de soldadura
<b>JBPCUNT*</b>	1/2 V	T		$3 \leq T \leq 10$	$3 \leq T \leq 10$	R = 3 f = 2 $\alpha = 45^\circ$	R = +2, -0 f = +2, -0 $\alpha = +10^\circ, -0^\circ$	R = +2, -3 f = ilimitado $\alpha = +10^\circ, -5^\circ$	2 F 3 F
<b>JFUTNT**</b>	1/2 V	T		$3 \leq T \leq 10$	$3 \leq T \leq 10$	R = 3 f = 2 $\alpha = 45^\circ$	R = +2, -0 f = +2, -0 $\alpha = +10^\circ, -0^\circ$	R = +2, -3 f = ilimitado $\alpha = +10^\circ, -5^\circ$	5 F
<b>JPCUT***</b>	V	L		$3 \leq T \leq 10$	$3 \leq T \leq 10$	R = 3 f = 2 $\alpha = 60^\circ$	R = +2, -0 f = +2, -0 $\alpha = +10^\circ, -0^\circ$	R = +2, -3 f = ilimitado $\alpha = +10^\circ, -5^\circ$	2 G 5 G

**Tabla 7.9** Detalles de la junta precalificados

\* Juntas con bisel de penetración completa para uniones no tubulares.

\*\* Juntas de filete para uniones tubulares y no tubulares.

\*\*\* Juntas de penetración completa para uniones tubulares.

Fuente: Propia, Basado en AWS D 1.1

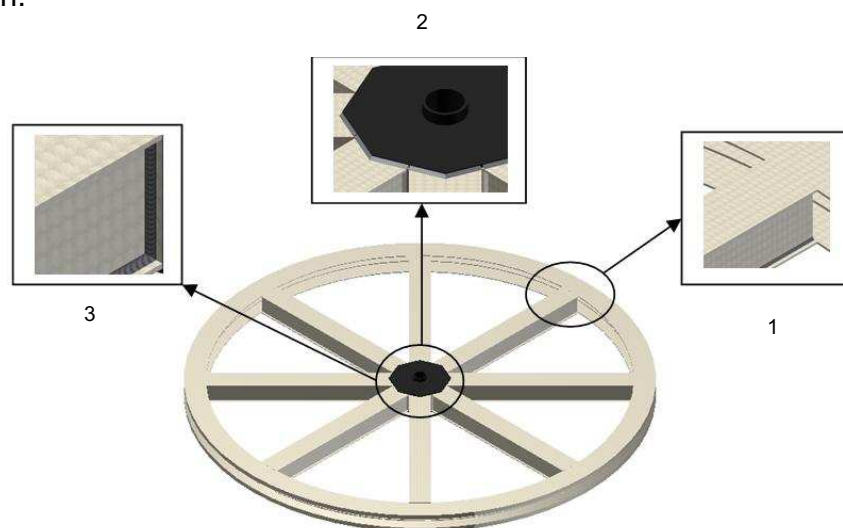
## 7.3 DISEÑO DE JUNTAS

### 7.3.1 DISEÑO DE JUNTAS CON BISEL DE PENETRACIÓN COMPLETA PARA UNIONES NO TUBULARES.

Los requerimientos específicos determinados para el diseño de juntas con bisel de penetración completa para uniones no tubulares, permiten el diseño bajo cargas estáticas y cargas cíclicas.

#### 7.3.1.1 Consideraciones de diseño.

Para determinar los requerimientos es necesario determinar las uniones no tubulares presentes en los diferentes sistemas del teleférico las cuales se muestran a continuación.

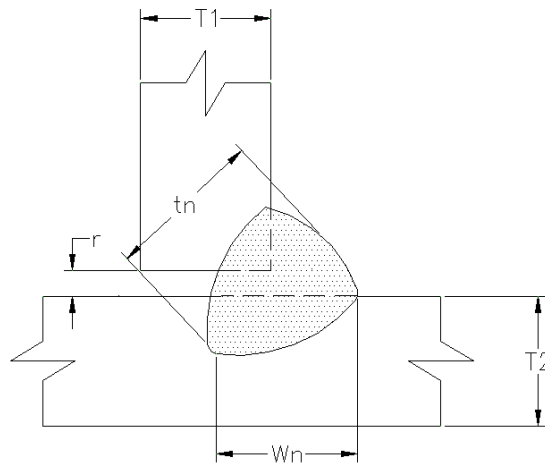


**Figura 7.1** Ubicación de juntas en la rueda motriz.

**Fuente:** Propia.

De los requerimientos establecidos en la sección 2.3.2 de la norma se toman los de mayor importancia que se detallan a continuación:

La soldadura de filete presenta una sección transversal aproximadamente triangular, en el aspecto constructivo se debe tener cuidado al rellenar las dimensiones de la garganta de una manera adecuada, en la mayoría de los casos se hacen iguales los catetos de soldadura, aunque se pueden usar de igual manera catetos desiguales.



**Figura 7.2** Sección transversal de la junta a filete.

**Fuente:** Propia.

Donde:

$\omega_n$ : Cateto de la sección.

$t_n$ : Garganta efectiva de la sección.

$r$ : Abertura de raíz.

$T_1$ : Espesor de material 1.

$T_2$ : Espesor de material 2.

#### 7.3.1.1.1 Cálculos de la garganta efectiva

Para determinar el valor de la garganta mínima se deben considerar:

- Uniones entre partes que se unan en ángulos entre  $80^\circ$  y  $100^\circ$ , la garganta efectiva deberá tomarse como la distancia más corta desde la raíz de la unión hasta la superficie de la soldadura de una soldadura de  $90^\circ$ .
- Para soldaduras en ángulos agudos entre  $60^\circ$  y  $80^\circ$  y para soldaduras en ángulos obtusos mayores a  $100^\circ$ , deberá calcularse el tamaño del lado requerida para proporcionar la garganta efectiva especificada para que responda por la geometría

- Para soldaduras en ángulos agudos, entre 60° y 30°, el tamaño del lado deberá aumentarse por la pérdida de dimensión Z para responder por la certeza del metal de soldadura en buen estado en el pasaje del ángulo de fondo angosto, para el proceso de soldadura que va a utilizarse.

Para el cálculo es necesario utilizar las expresiones que determinan la longitud de la garganta efectiva como se muestra a continuación:

Para soldaduras de filetes que tienen catetos medidos iguales ( $\omega_n$ ), la distancia desde la junta a la cara de la soldadura ( $t_n$ ) se expresa como:

- Para aberturas de raíz  $>2\text{mm}$  y  $\leq 5\text{mm}$ .

$$t_n = \frac{\omega_n - R_n}{2 \cdot \sin \frac{\Psi}{2}}$$

(Ec. 7.1)

- Para aberturas de raíz  $<2$ .

$$R_n = 0 \text{ y } t'_n = t_n$$

(Ec. 7.2)

Siendo el cateto medido de tal soldadura de filete  $\omega_n$ , la distancia perpendicular desde la superficie de la junta al pie opuesto, y (R) es la abertura de raíz, si la hay entre las partes.

En la tabla 7.10 se muestra una tabulación de los factores de equivalencia del tamaño de cateto para el rango de ángulos de diedro entre 60° y 135°, asumiendo que no hay abertura de raíz.

La abertura de raíz igual o mayor que 2 mm, pero menor o igual que 5mm, debe ser agregada al tamaño de soldadura. El tamaño de los catetos de soldaduras de filete en juntas oblicuas es calculado usando el factor de equivalencia de cateto para corregir el ángulo de diedro.

Ángulo diedro, $\psi$	60°	65°	70°	75°	80°	85°	90°	95°
Tamaño de la soldadura de filete comparable con la resistencia.	0.71	0.76	0.81	0.86	0.91	0.96	1.00	1.03
Ángulo diedro, $\psi$	100°	105°	110°	115°	120°	125°	130°	135°
Tamaño de la soldadura de filete comparable con la resistencia.	1.08	1.12	1.16	1.19	1.23	1.25	1.28	1.31

**Tabla 7.10** Factores de equivalencia de tamaño de soldadura de filete para juntas en T oblicuas.

**Fuente:** Norma AWS D1.1; Anexo 1; Pág. 285.

A continuación se muestra un ejemplo de cálculo para determinar la longitud de la garganta efectiva para la junta 1 de la figura 7.1. Se considera un cateto de longitud de 10 mm y una abertura de raíz de 3 mm.

Procedimiento:

Factor para 90° de la tabla 7.3: 1

Tamaño de cateto equivalente:  $\omega_n = 1 \times 10 [mm] = 10 [mm]$

Tamaño final de cateto:  $\omega_{n1} = 10 [mm] + 3[mm] = 13 [mm]$

$$t_n = \frac{13[mm] - 3[mm]}{2 \cdot \sin\left(\frac{90}{2}\right)} = 7.1 [mm]$$

Por lo tanto para las juntas mostradas se tiene:

Junta	Garganta efectiva [mm]
1	7.1
3	5.7

**Tabla 7.11** Garganta efectiva para las juntas presentes en la rueda.

**Fuente:** Propia.

**NOTA:** La junta 2 no se adapta a este criterio puesto que es una junta a traslape.

#### 7.3.1.1.2 Longitud efectiva en soldaduras de filete.

La longitud efectiva de un filete de soldadura recta deberá ser la longitud total del elemento, ninguna reducción en la longitud efectiva deberá asumirse en los cálculos del diseño. De la figura 7.1 se definen la longitud efectiva para las uniones 1-2-3.

Junta	Longitud efectiva [mm]
1	1850
2	240
3	180

**Tabla 7.12** Longitudes efectivas para las juntas presentes en la rueda.

**Fuente:** Propia.

Los valores mostrados en la tabla 7.10 correspondientes a la longitud efectiva del cordón de soldadura en filete se obtienen de diseño de los elementos.

#### 7.3.1.1.3 Longitud efectiva curvada.

La longitud efectiva de una soldadura de filete curvada deberá medirse por la línea central de la garganta efectiva.

#### 7.3.1.1.4 Longitud mínima en soldadura intermitente.

La longitud mínima de los filetes de una soldadura intermitente deberá ser de 1-1/2 pulgadas (38 mm).

#### 7.3.1.1.5 Tamaño máximo de soldadura de filete en uniones de traslape.

El tamaño máximo de una soldadura de filete detallado en los bordes del metal base en uniones de traslape deberá ser el siguiente:

- El espesor del metal base, para metales inferiores a ¼ pulgada de espesor [6mm].
- Para un espesor de metal base mayor o igual a ¼ pulgada [6mm] se debe proporcionar una separación de 1/6 pulgada [2mm] menos de espesor del metal base, a menos que la soldadura esté diseñada en taller para ser construida y obtener el espesor de una garganta efectiva para el tamaño de un lado igual al espesor del metal base. En una condición así soldada, la



distancia entre el borde del metal base y el reborde de la soldadura puede ser inferior a 1/16 pulgadas [2mm], siempre que el tamaño de la soldadura sea claramente verificable.

Para la junta 2 de la figura 7.1 se tiene placas de espesor de 8mm por lo que el tamaño máximo de la soldadura corresponde a 6 mm.

#### 7.3.1.1.6 *Area Efectiva de las Soldaduras de Filete.*

El área efectiva deberá ser la longitud efectiva de la soldadura multiplicada por la garganta efectiva.

Las áreas efectivas de soldadura para la figura 7.1 corresponden a:

Junta	Longitud efectiva [mm]	Garganta efectiva [mm]	Area[mm <sup>2</sup> ]
1	1850	7.1	13135
2	240	5.7	1368.0
3	180	6.0	1080.0

**Tabla 7.13** Áreas efectivas de las juntas presentes en la rueda.

**Fuente:** Propia.

#### 7.3.1.1.7 *Uniones en T inclinadas.*

Las uniones en T, en las cuales el ángulo entre las partes unidas sea mayor a 100° o menor a 80° deberán definirse como uniones en T inclinadas. Los detalles de la unión en T inclinadas pre-calificadas se muestran en la Figura 3.11 de la norma.

Los detalles de las uniones de los lados obtuso y agudo pueden utilizarse juntos o independientemente, dependiendo de las condiciones de servicio y diseño con la consideración apropiada para efectos de excentricidad.

#### 7.3.1.1.8 *Soldaduras en ángulos agudos entre 80°-60° y obtusos mayores que 100°.*

Cuando las soldaduras se depositan en ángulos entre 80° y 60° o en ángulos superiores a 100°, se deberá especificar la garganta efectiva requerida.

#### 7.3.1.1.9 Soldaduras en Ángulos entre 60° y 30°:

Cuando se requiera una soldadura en un ángulo agudo que sea inferior a 60° pero igual o mayor a 30°, la garganta efectiva deberá aumentarse por la tolerancia de la pérdida de Z (Tabla 2.2. de la norma).

#### 7.3.1.1.10 Soldaduras en Ángulos Menores a 30°:

Las soldaduras depositadas en ángulos agudos menores a 30° no deberán considerarse como efectivas para transmitir fuerzas aplicadas, excepto si están modificadas con los requerimientos en las estructuras tubulares. (Sección 4.12.4.2).

#### 7.3.1.1.11 Longitud efectiva en uniones en T inclinadas:

La longitud efectiva de las uniones en T inclinadas deberá ser la longitud total del tamaño de toda la soldadura. No se asumirá reducción en los cálculos del diseño para permitir el comienzo o la detención de la soldadura.

Una vez determinado los parámetros generales de una junta tubular o no tubular se consideran los aspectos específicos para el análisis de los esfuerzos presentes en cada tipo de uniones ya sean tubulares o no tubulares.

### 7.3.1.2 Cargas actuantes.

Para garantizar la seguridad del diseño es necesario determinar los parámetros establecidos por la norma para componentes sujetos a carga estática y dinámica.

#### 7.3.1.2.1 Esfuerzos en la soldadura de filete.

El esfuerzo en las soldaduras de filete deberá considerarse como el corte aplicado al área efectiva en cualquier dirección de la carga aplicada.

#### 7.3.1.2.2 Tensión permisible en la soldadura.

El esfuerzo de corte permisible en una soldadura de filete cargada en un plano a través del centro de gravedad se determina mediante la expresión:

$$F_v = 0.30 F_{EXX}(1.0 + 0.50 \times \text{sen}\theta)$$

Donde

$F_v$ : Esfuerzo de unidad permisible

$F_{EXX}$ : Número de clasificación del electrodo; es decir la resistencia del electrodo.

$\theta$ : Ángulo entre la dirección de la fuerza y el eje del elemento de soldadura, en grados.

### 7.3.1.3 Cálculo de la junta.

#### 7.3.1.3.1 Esfuerzos permisibles.

Las Tensiones calculadas de la unidad en soldaduras no deberán exceder las tensiones permisibles mostradas a continuación:

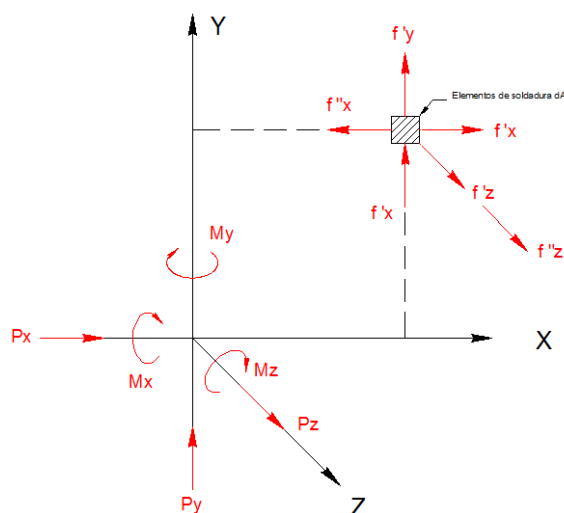
TIPO DE ESFUERZO APLICADO	ESFUERZO PERMITIDO	NIVEL DE RESISTENCIA DE APORTE REQUERIDO
<b>SOLDADURAS RANURADAS DE PENETRACION COMPLETA</b>		
Tensión normal para el área efectiva.	Igual al metal base.	Se deberá usar un metal de aporte calificado.
Compresión normal para el área efectiva	Igual al metal base.	Se puede utilizar un metal de aporte con un nivel de resistencia igual o inferior al metal de aporte calificado.
Tensión o compresión paralela en el eje de soldadura	No hay consideración en cuanto al diseño de la unión soldada.	
Corte en el área efectiva	0.30 x clasificación de la carga límite de rotura del material rellenado, excepto que el corte	
<b>SOLDADURAS DE FILETE</b>		
Corte paralelo a la superficie de empalme en el área efectiva	0.30 x clasificación de la carga límite de rotura del metal de aporte	0.30 x clasificación de la carga límite de rotura del metal de aporte calificado.

**Tabla 7.14** Tensiones permisibles de acuerdo al tipo de esfuerzo aplicado.

**Fuente:** Norma AWS D1.1; Anexo 1; Pág. 25.

### 7.3.1.3.2 Esfuerzos en las conexiones soldadas.

Para el cálculo de los esfuerzos nominales en conexiones soldadas se utiliza el siguiente procedimiento.



**Figura 7.3** Componentes de esfuerzos en un elemento.

**Fuente:** Propia.

Del análisis de la figura se determinan que los esfuerzos producidos por las fuerzas y momentos corresponden a:

$$f_x' = \frac{P_x}{A}; \quad f_y' = \frac{P_y}{A}; \quad f_z' = \frac{P_z}{A}$$

(Ec. 7.3)

$$f_x'' = \frac{M_z}{I_z} y; \quad f_y'' = \frac{M_z}{I_z} x; \quad f_z'' = \frac{M_z}{I_z} y + \frac{M_z}{I_z} x$$

(Ec. 7.4)

Los componentes resultantes de los esfuerzos, con la debida consideración de sus signos serán:

$$f_x = f_x' - f_x''; \quad f_y = f_y' + f_y''; \quad f_z = f_z' + f_z''$$

(Ec. 7.5)

Por lo tanto la carga resultante corresponde a:

$$f_r = \sqrt{f_x + f_y + f_z}$$

(Ec. 7.6)

Considerando que la junta 1-3, forman parte del brazo de la rueda soportan en conjunto el estado de carga presente en este elemento se determina las características de cordón detallados en la tabla 7.15.

Junta	Longitud efectiva [mm]	Garganta efectiva [mm]	Área efectiva [cm <sup>2</sup> ]	I <sub>x-x</sub> [cm <sup>4</sup> ]	I <sub>y-y</sub> [cm <sup>4</sup> ]	I <sub>z-z</sub> [cm <sup>4</sup> ]	P <sub>x</sub> [N]	P <sub>z</sub> [N]
1	1850	7.1	131.35	2.1	91.4	93.5	5560.3	22241.1
3	240	6.0	13.68					
2	180	5.7	10.80	6.5	6.5	13.0		

**Tabla 7.15** Cargas y características del cordón de soldadura.

**Fuente:** Propia.

En base a las fórmulas mostradas anteriormente se determinan los esfuerzos presentes en la soldadura. Se presenta un ejemplo de cálculo para la junta 1-3.

$$f_x' = \frac{5560.3[N]}{145.03 [cm^2]} = 38.34 \left[ \frac{N}{cm^2} \right]$$

$$f_z' = \frac{22241.1[N]}{145.03 [cm^2]} = 153.36 \left[ \frac{N}{cm^2} \right]$$

Determinando la resultante de estas dos fuerzas se obtiene el valor del esfuerzo cortante presente en el cordón.

$$f_r = \sqrt{38.34^2 + 153.36^2} = 158.079 \left[ \frac{N}{cm^2} \right]$$

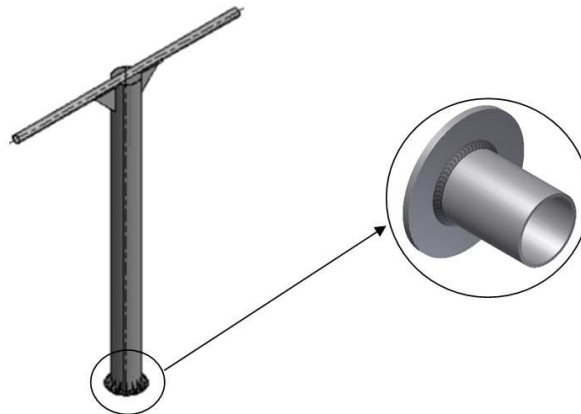
De la tabla 7.14 se puede deducir que el efecto crítico en una soldadura corresponde al corte, razón por la cual los esfuerzos normales producidos por flexión tienen una resistencia equivalente al material base que anteriormente se diseño cumpliendo los

parámetros de seguridad requerida, entonces se aprecia que la soldadura tiene la capacidad para soportar el efecto cortante.

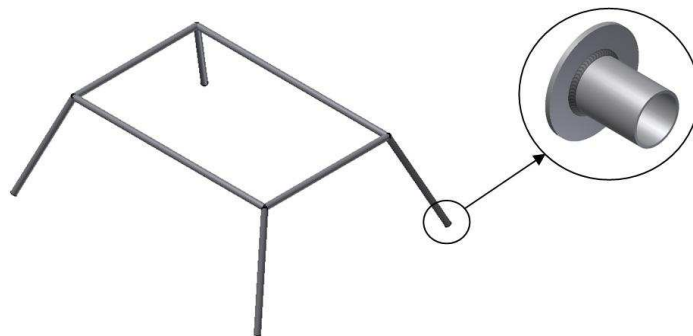
## 7.3.2 JUNTAS DE FILETE PARA UNIONES TUBULARES Y NO TUBULARES

### 7.3.2.1 Consideraciones diseño

Para el diseño de este tipo de juntas primero se detalla la ubicación de las mismas en los sistemas del teleférico determinando las fuerzas que actúan sobre este como se detalla a continuación:



**Figura 7.4** Ubicación de la junta en las torres



**Figura 7.5** Ubicación de la junta en las estaciones.

**Fuente:** Propia.

Una vez detallada la ubicación de la junta se analiza todos los parámetros necesarios para el cálculo que influyen en el diseño de la junta de acuerdo a las especificaciones de la norma AWS D1.1.

### 7.3.2.1.1 Cálculos de la garganta efectiva

Para soldaduras de filete entre partes que se unan en ángulos entre  $80^\circ$  y  $100^\circ$ , la garganta efectiva deberá tomarse como la distancia más corta desde la raíz de la unión hasta la superficie de la soldadura de una soldadura diagramática de  $90^\circ$ , para ello se usa el anexo I de la norma y se calcula la garganta efectiva de la junta en las torres.

Dado: Junta T, ángulo  $\psi$ :  $90^\circ$ ; abertura de raíz:  $3 \text{ mm}$ .

Para un espesor de  $T_1 = 6 \text{ mm}$

Procedimiento:

Tamaño final de cateto,  $d = R + T_1 = 9 \text{ mm}$ .

Para soldaduras de filete que tienen catetos medidos iguales ( $w_n$ ), la distancia desde la raíz de la junta a la cara de la soldadura ( $t_n$ ) puede calcularse de la siguiente forma:

Para aberturas de raíz  $> 2 \text{ mm}$  y  $\leq 5 \text{ mm}$  se usa:

$$t_n = \frac{w_n - R_n}{2 \sin \frac{\psi}{2}}$$

$$t_n = \frac{(9) - (3)}{2 \sin\left(\frac{90^\circ}{2}\right)}$$

$$t_n = 4,24 \text{ mm}$$

Se analiza de igual manera para la estación de salida, como se tiene un ángulo entre la tubería y la placa de  $60^\circ$ , se realiza el cálculo mediante la especificaciones del anexo 1 de la norma:

Dado: Junta T, ángulo:  $60^\circ$ ; abertura de raíz:  $3 \text{ mm}$ .

Para un espesor de  $T_1 = 8,62 \text{ mm}$

Procedimiento:

Factor para 60° de Tabla -1: 0,71 (Anexo I, AWS D 1.1)

Tamaño de cateto equivalente,  $w$ , de la junta oblicua, sin abertura de raíz:

$$w = 0,71 \times 8,62 \text{ mm} = 6,12 \text{ mm.}$$

Tamaño final de cateto,  $d = R + T_1 = 8,25 \text{ mm.}$

Se aproxima al número inmediato superior con ello se obtiene  $w = 9 \text{ mm.}$

Para aberturas de raíz  $> 2 \text{ mm}$  y  $\leq 5 \text{ mm}$  se usa las siguientes fórmulas:

$$t_n = \frac{w_n - R_n}{2 \sin \frac{\Psi}{2}}$$

$$t_n = \frac{(9) - (3)}{2 \sin\left(\frac{60^\circ}{2}\right)}$$

$$t_n = 6 \text{ mm}$$

#### 7.3.2.1.2 Longitud Efectiva (Curvada)

En este caso se calcula la longitud efectiva para las torres en base al diámetro exterior de la sección y la garganta efectiva.

$$L = 3200 \text{ mm}$$

De igual manera para la estación de salida se calcula la longitud efectiva:

$$L = 700 \text{ mm}$$

#### 7.3.2.1.3 Longitud mínima

Se calcula que la longitud mínima para las torres es de 36 mm, mientras que para la estación de salida será de 33 mm.



#### 7.3.2.1.4 Área Efectiva de las Soldaduras de Filete

El área efectiva deberá ser la longitud efectiva de la soldadura multiplicada por la garganta efectiva, por lo cual se calcula este parámetro para la torre y la estación de salida:

SISTEMA	GARGANTA EFECTIVA [mm]	LONGITUD EFECTIVA [mm]	ÁREA EFECTIVA [mm <sup>2</sup> ]
TORRE	4,24	3200	13560
ESTACIÓN DE SALIDA	6	700	4200

Tabla 7.16 Cálculo del área efectiva

Fuente: Propia

#### 7.3.2.2 Cargas actuantes

Las cargas actuantes sobre la estructura se obtienen del análisis realizado en el capítulo 2 y se resumen a continuación:

$$f_a = 8,64 \text{ [MPa]}$$

$$f_b = 47,87 \text{ [MPa]}$$

#### 7.3.2.3 Cálculo de la junta

De acuerdo a la sección 2.23.3 de la norma AWS D1.1 cuando es necesario calcular los esfuerzos de tensión permitidos en las soldaduras para secciones circulares, la tensión nominal de la soldadura que se bifurca mediante una conexión simple T, K o Y puede ser calculada como:

$$f_s = \frac{t_b}{t_w} \left[ \frac{f_a}{K_a} \left( \frac{r_m}{r_w} \right) + \frac{f_b}{K_b} \left( \frac{r_m^2}{r_w^2} \right) \right]$$

(Ec. 7.7)

Donde:

$t_b$ : Espesor del miembro brazo

$t_w$ : Garganta efectiva de la soldadura

$f_a$ : Fuerza nominal axial

$f_b$ : Fuerza de flexión en la unión

$r_m, r_w$ : Ver figura 2.16 (Norma AWS D1.1)

$K_a$  y  $K_b$ : Son la longitud efectiva y los factores de la sección dados en 2.23.4 y 2.23.5 de la norma.

Se analiza el ejemplo de cálculo para el caso de la torre cuya junta se considera crítica, y se describe el mismo a continuación:

$$f_s = \frac{6}{4,24} \left[ \frac{8,64}{3200} \left( \frac{505}{509,5} \right) + \frac{47,87}{1} \left( \frac{(505)^2}{(509,5)^2} \right) \right]$$

$$f_s = 66,55 \text{ [MPa]}$$

Con lo cual se puede determinar el factor de seguridad con el que se trabaja en la junta, conociendo que el esfuerzo de fluencia del electrodo E7018 es 468 MPa:

$$n = \frac{F_s}{f_s} = \frac{468 \text{ [MPa]}}{66,55 \text{ [MPa]}}$$

$$n = 7,03$$

Aplicado el análisis se tiene las siguientes fuerzas y secciones resumidas a continuación, analizadas en los capítulos respectivos para cada caso:

SISTEMA	$t_b$ [mm]	$t_w$ [mm]	$f_a$ [MPa]	$f_b$ [MPa]	$r_m$ [mm]	$r_w$ [mm]	$k_a$	$k_b$	$f_s$ [MPa]	$F_s$ [MPa]	$\frac{F_s}{f_s}$
TORRE	6	4,24	8,64	47,87	505	509,5	3200	1	66,55	468	7,03
ESTACIÓN DE SALIDA	8,62	6	4,97	49,98	105,2	111,7	700	1	63,70	468	7,35

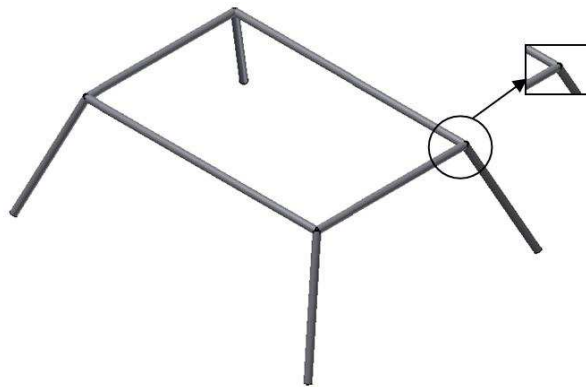
**Tabla 7.17** Factores de seguridad dados en la junta

Fuente: Propia.

### 7.3.3 JUNTAS DE PENETRACIÓN COMPLETA PARA UNIONES TUBULARES

#### 7.3.3.1 Consideraciones diseño

Para el diseño de juntas de penetración completa para uniones tubulares se utiliza la parte D de la norma AWS D1.1, así como los requerimientos aplicables de la parte A. Para ello se analiza las uniones críticas de la estación de salida, las cuales se detallan a continuación:



**Figura 7.6** Detalle de soldadura en la estación de salida.

**Fuente:** Propia.

#### 7.3.3.1.1 Limitaciones de la sección circular

De acuerdo a este apartado de la norma deberán considerarse las limitaciones en cuanto al diámetro/espesor para secciones circulares, como se explica para el caso de análisis:

- Tubos circulares:  $D/t < 3300/F_y$  [para  $F_y$  en ksi]

$$\frac{D}{t} < \frac{478}{F_y}$$

$$\frac{0,2191 [m]}{8,62e^{-3} [m]} < \frac{3300 [ksi]}{35 [ksi]}$$

$$25,42 < 94,28$$

Por lo cual se cumple con el requisito de la norma para secciones circulares.

Se procede de igual manera que el apartado anterior y se determinan las dimensiones importantes que influyen en el cálculo:

### 7.3.3.1.2 Determinación de la longitud efectiva

Para la determinación de la longitud efectiva se determinan mediante la ecuación  $2\pi r K_a$  se aplican las siguientes ecuaciones:

$$K_a = x + y + 3\sqrt{x^2 + y^2} \quad (\text{Ec. 7.8})$$

$$x = \frac{1}{2\pi \sin \theta} \quad (\text{Ec. 7.9})$$

$$y = \frac{1}{3\pi} \left( \frac{3 - \beta^2}{2 - \beta^2} \right) \quad (\text{Ec. 7.10})$$

Donde:

$\theta$ : Ángulo agudo entre componentes de dos ejes

$\beta$ : Relación del diámetro, componente secundario-principal

Se reemplaza de acuerdo a los datos obtenidos:

$$x = \frac{1}{2\pi \sin(56^\circ)} = 0,192$$

$$y = \frac{1}{3\pi} \left( \frac{3 - (1)^2}{2 - (1)^2} \right) = 0,2122$$

$$K_a = 0,192 + 0,2122 + 3\sqrt{(0,192)^2 + (0,2122)^2}$$

$$K_a = 1,26$$

$$L = 2\pi r K_a = 2\pi(0,10955)(1,26) [m]$$

$$L = 0,867 [m] = 867 [mm]$$

#### 7.3.3.1.3 *Calculo de a garganta de soldadura*

Se analiza para la estación de salida, como se tiene un ángulo entre las tuberías de aproximadamente  $60^\circ$ , se realiza el cálculo mediante la especificaciones del anexo 1 de la norma:

Dado: Junta T, ángulo:  $60^\circ$ ; abertura de raíz:  $3 \text{ mm}$ .

Para un espesor de  $T_1 = 8,62 \text{ mm}$

Procedimiento:

Factor para  $60^\circ$  de Tabla -1:  $0.71$  (Anexo I, AWS D 1.1)

Tamaño de cateto equivalente,  $w$ , de la junta oblicua, sin abertura de raíz:

$$w = 0,71 \times 8,62 \text{ mm} = 6,12 \text{ mm}.$$

Tamaño final de Cateto,  $d = R + T_1 = 8,25 \text{ mm}$ .

Se aproxima al número inmediato superior con ello se obtiene  $w = 9 \text{ mm}$ .

Para aberturas de raíz  $> 2 \text{ mm}$  y  $\leq 5 \text{ mm}$  se usa las siguientes fórmulas:

$$t_n = \frac{w_n - R_n}{2 \sin \frac{\Psi}{2}}$$

$$t_n = \frac{(9) - (3)}{2 \sin\left(\frac{60^\circ}{2}\right)}$$

$$t_n = 6 \text{ mm}$$

#### 7.3.3.1.4 *Área Efectiva de las Soldaduras*

El área efectiva deberá ser la longitud efectiva de la soldadura multiplicada por la garganta efectiva, por lo cual se calcula este parámetro para la estación de salida:

SISTEMA	GARGANTA EFECTIVA [mm]	LONGITUD EFECTIVA [mm]	ÁREA EFECTIVA [mm <sup>2</sup> ]
ESTACIÓN DE SALIDA	6	867	5202

Tabla 7.18 Cálculo de área efectiva

Fuente: Propia

### 7.3.3.2 Cargas actuantes

Las cargas actuantes sobre la estructura se obtienen del análisis realizado en el capítulo 2 y se resumen a continuación:

$$f_a = 4,97 \text{ [MPa]}$$

$$f_b = 50,23 \text{ [MPa]}$$

### 7.3.3.3 Cálculo de las junta

Se analiza el ejemplo de cálculo para el caso de la torre cuya junta se considera crítica, y se describe el mismo a continuación:

$$f_s = \frac{8,64}{6} \left[ \frac{4,97}{867} \left( \frac{105,24}{112,55} \right) + \frac{49,98}{1} \left( \frac{(105,24)^2}{(112,55)^2} \right) \right]$$

$$f_s = 62,93 \text{ [MPa]}$$

Con lo cual se puede determinar el factor de seguridad con el que se trabaja en la junta, conociendo que el esfuerzo de fluencia del electrodo E7018 es 468 MPa:

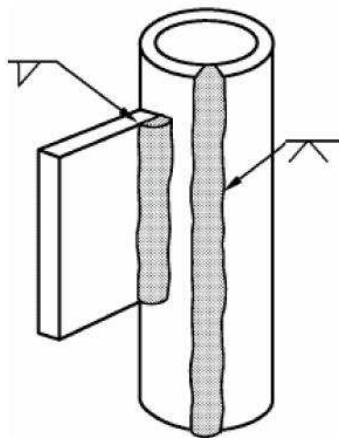
$$n = \frac{F_s}{f_s} = \frac{468 \text{ [MPa]}}{62,93 \text{ [MPa]}}$$

$$n = 7,44$$

### 7.3.4 JUNTAS EN CAÑERÍA

Durante el diseño se encuentran juntas que presentan una característica común que corresponde a una placa soldada sobre la tubería, como por ejemplo las ménsulas a colocarse en la base de las torres, estación de llegada y salida. De acuerdo a la

norma D1.1 (Tabla 4.8) se establece que este tipo de juntas no requiere calificación y es aceptable para posiciones 3G, 3F, 4G, 4F y para 1F, 1G, 2F y 2G.



**Figura 7.7** Juntas que no requieren calificación.

**Fuente:** Norma AWS D1.1, Pág. 448

#### **7.4 INSPECCIÓN DE SOLDADURA.**

Muchas características de una unión soldada pueden ser evaluadas en el proceso de inspección, algunas relacionadas con las dimensiones, y otras relativas a la presencia de discontinuidades. El tamaño de una soldadura es muy importante, ya que se relaciona directamente con la resistencia mecánica de la unión y sus relativas consecuencias. Tamaños de soldaduras inferiores a los requeridos no podrán resistir las cargas aplicadas durante su servicio.

Hay varias razones para realizar la inspección de una unión soldada, quizás la razón más importante es determinar si dicha unión es de la calidad adecuada para su aplicación. Para determinar la calidad de una unión soldada, es necesario tener alguna forma de evaluar y comparar sus características. Es poco práctico tratar de evaluar una soldadura, sin algún criterio de aceptación específico por lo que se utiliza los requerimientos establecidos en la norma AWS D1.1 (Sección 4.8).

#### **7.4.1 Métodos de prueba y criterios de aceptación para la calificación de los WPS.**

El armado estructural para las pruebas de soldadura para ensayos no destructivos deberá tener especímenes para ensayos preparados cortando la plancha de ensayo, cañería o tubería en base a las especificaciones dados por la norma

##### **7.4.1.1 Inspección visual.**

Para una calificación aceptable, las soldaduras deberán cumplir con los siguientes requerimientos:

- La soldadura deberá estar libre de grietas.
- Todos los cráteres deberán llenarse en todo el corte transversal de la soldadura.
- La cara de la soldadura deberá quedar rasante con la superficie del metal base, y la soldadura deberá unirse suavemente con el metal base. El socavamiento no deberá exceder 1/32 pulgada [1 mm]. El refuerzo de la soldadura no deberá exceder 1/8 pulgada [3 mm].
- La raíz de la soldadura deberá ser inspeccionada, y no deberá haber evidencia de grietas, fusión incompleta penetración inadecuada de la unión.
- Se permite una superficie de raíz cóncava dentro de los límites que se muestran a continuación, siempre que el espesor total de la soldadura sea igual que o mayor a la del metal base.
- La concavidad máxima de la cara de la raíz deberá ser de 1/6 pulgadas [2 mm] y la fusión máxima completa deberá ser 1/8 pulgada [3 mm]. Para las conexiones tubulares en T, Y y K, la fusión total en la raíz es considerada deseable y no deberá ser causa de rechazo.

##### **7.4.1.2 Ensayos no destructivos.**

Para la calificación de las probetas para ensayos mecánicos extraídas de los elementos se deberán someter a los siguientes ensayos no destructivos (END), y con las especificaciones dadas en la norma.



Los ensayos no destructivos serán verificados en aspectos como parámetros generales, número de ensayos, número de probetas, criterios de aceptación etc.

- Ensayo radiográfico o ultrasónico (Sección 4.8.2.1).
- Pruebas de macrografía (Sección 4.8.4).

### **7.5 PRECALIFICACIÓN DE WPS.**

Todos los WPS precalificados deberán estar por escrito. Para que un WPS esté precalificado, deberá requerirse la total conformidad con todos los requerimientos establecidos en las secciones correspondientes de la norma (Sección 3 y 4).

El uso de una unión precalificada no deberá liberar la obligación del Ingeniero de hacer uso de su juicio de ingeniería para determinar la conveniencia de la aplicación de estas uniones a un conjunto o conexión estructural soldada.

### **7.6 WPS**

Ver anexos.

## CAPÍTULO 8

### 8 ANÁLISIS DE COSTOS

#### 8.1 COSTOS DE UN PROYECTO<sup>47</sup>

Se define usualmente a la producción como la creación de utilidad, entendiendo por tal “la capacidad de un bien o de un servicio para satisfacer una necesidad humana”. Esta definición es demasiado amplia para tener gran contenido específico. Pero por otra parte establece sin lugar a dudas que la producción abarca una amplia gama de actividades y no sólo la fabricación de bienes materiales.

La producción analiza la forma en que el productor, dado el estado de la tecnología, combina varios insumos para producir una cantidad estipulada en forma económicamente eficiente; en virtud de que el concepto de producción es más claro cuando se aplica a los bienes que cuando nos ocupamos de los servicios.

#### 8.2 DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

Debido al potencial turístico del cantón San Miguel de los Bancos la construcción de un sistema teleférico se constituye en el corazón de todos los proyectos turísticos emprendidos en el lugar.

Cerca de sus instalaciones se generan muchos negocios de diversas índoles, algunos de ellos interesantes para inversionistas independientes, lo cual garantiza que el teleférico de los Bancos no sea un monopolio sino un punto de desarrollo.

El proyecto es instalar un teleférico, el mismo que permitirá al turista recorrer un impresionante trayecto que lo llevará a una de las espectaculares cascadas con que cuenta la ciudad, esto desde el aire, recorriendo aproximadamente una distancia de 700 m, con una diferencia de altura de 230 m; hasta unir la carretera con el sitio denominado cascada de la Sucia.

---

<sup>47</sup> <http://www.angelfire.com/bc3/valle/capitulo6.htm>

### 8.3 ESTUDIO ECONÓMICO DEL PROYECTO

El objetivo de realizar un estudio económico es obtener parámetros que permitan establecer la rentabilidad aproximada del proyecto. Los valores mostrados de la estimación de ingresos y egresos para el teleférico se desarrollaron realizando un análisis comparativo con el sistema existente en Tandayapa.

#### 8.3.1 ESTIMACIÓN DE INGRESOS.

Para el análisis se plantea un escenario optimista y conservador considerando que el mayor ingreso estará dado por el turismo de personas de los alrededores a Pedro Vicente Maldonado, Mindo, Puerto Quito y otras ciudades cercanas en fechas importantes, feriados, fiestas del cantón, etc.

AÑO	ESCENARIO OPTIMISTA	ESCENARIO CONSERVADOR	CRECIMIENTO %
2013	230400.00	115200.00	---
2014	314880.00	157440.00	36.67
2015	383472.00	191736.00	21.78
2016	433176.00	216588.00	12.96
2017	457224.00	228612.00	5.55
2018	459792.00	229896.00	0.56

**Tabla 8.1** Estimación de ingresos proyecto teleférico San Miguel de los Bancos.

**Fuente:** Proyecto de inversión teleférico de los Bancos.

#### 8.3.2 ESTIMACIÓN DE EGRESOS

Los egresos corresponden a un periodo de cinco años, los mismos que se obtuvieron de los gastos promedio reales de los ingresos, en los cuales se consideran:

- Sueldos y salarios del personal.
- Seguros de vida y accidentes.
- Gastos de materiales.
- Insumos de mantenimiento.
- Combustibles, otros,

Planteando un escenario optimista se tienen los siguientes egresos para el proyecto:

AÑO	INGRESOS BRUTOS	IVA	TOTAL	COSTOS VARIABLES	COSTOS FIJOS	IVA	EGRESOS TOTAL	UTILIDAD NETA
2013	205714.29	24685.71	230400.00	21168.00	10800.00	1296.00	20160.00	173746.29
2014	281142.86	33737.14	314880.00	28929.60	14700.00	1764.00	27552.00	237513.26
2015	342385.71	41086.29	383472.00	34715.10	17500.00	2100.00	33062.00	290170.61
2016	386764.29	46411.71	433176.00	38190.60	19000.00	2280.00	36372.00	329573.69
2017	408235.71	48988.29	457224.00	40095.30	20000.00	2400.00	38186.00	348140.41
2018	410528.57	49263.43	459792.00	40095.30	21000.00	2520.00	38186.00	349433.27

**Tabla 8.2** Estimación de egresos proyecto teleférico San Miguel de los Bancos.

**Fuente:** Proyecto de inversión teleférico de los Bancos.

Planteando un escenario conservador se tienen los siguientes egresos para el proyecto:

AÑO	INGRESOS BRUTOS	IVA	TOTAL	COSTOS VARIABLES	COSTOS FIJOS	IVA	TOTAL EGRESOS	UTILIDAD NETA
2013	102,857.14	12,342.86	115,200.00	31,752.00	10,800.00	1,296.00	20,160.00	60,305.14
2014	140,571.43	16,868.57	157,440.00	43,394.40	14,700.00	1,764.00	27,552.00	82,477.03
2015	171,192.86	20,543.14	191,736.00	52,072.65	17,500.00	2,100.00	33,062.00	101,620.21
2016	193,382.14	23,205.86	216,588.00	57,285.90	19,000.00	2,280.00	36,372.00	117,096.24
2017	204,117.86	24,494.14	228,612.00	60,142.95	20,000.00	2,400.00	38,186.00	123,974.91
2018	205,264.29	24,631.71	229,896.00	60,142.95	21,000.00	2,520.00	38,186.00	124,121.34

**Tabla 8.3** Estimación de egresos proyecto teleférico San Miguel de los Bancos.

**Fuente:** Proyecto de inversión teleférico de los Bancos.

### 8.3.3 DESCRIPCIÓN ECONÓMICA DEL PROYECTO

#### 8.3.3.1 Duración del proyecto.

En el primer año se destinara al montaje y construcción del sistema, la Municipalidad no recibirá utilidades, hasta que entre en funcionamiento.

En todo medio de transporte existe riesgo de que se produzcan accidentes, por ello se contratará un seguro de vida y accidentes para las 24 personas que usarán el teleférico en cada ciclo. Con un costo de 60 dólares por persona el seguro costará máximo \$ 1500 dólares por año que frente a la estimación de los ingresos, el gasto de seguro es un promedio menor al 1% anual.

### 8.3.3.2 Costo de la inversión.

El costo del teleférico de Tandayapa ascendió a los 150.000.00 mil dólares (sin IVA). El proyecto de Los Bancos tendrá un costo de 300.000, 00 dólares (sin IVA), es decir el doble.

### 8.3.3.3 Ingresos no contemplados.

En el proyecto no se tomo en cuenta ingresos que se pueden obtener a través de la implementación de restaurante, cyber café, diversiones, etc.

## 8.4 RESUMEN GENERAL DE TIEMPO DE RECUPERACIÓN DE CAPITAL DE INVERSIÓN DEL PROYECTO TELEFÉRICO LOS BANCOS

	ESCENARIO OPTIMISTA	ESCENARIO CONSERVADOR
Tiempo de recuperación capital	19 Meses	42 Meses
Valor de inversión inicial total	300,000.00	300,000.00
Implementación del proyecto	7 Meses	7 Meses
Tiempo de explotación efectivo	180 Meses	180 Meses
Explotación luego de recuperación del capital	161 Meses	138 Meses.

Tabla 8.4 Tiempo de recuperación del capital de inversión.

Con los datos obtenidos se puede estar seguros que la inversión del teleférico se recuperará en menos de 36 meses y por tanto es un excelente proyecto de inversión para el Gobierno Municipal y sus ciudadanos.

A continuación se detallan los costos unitarios presentes en la implementación del proyecto del sistema teleférico en el sector.

### 8.3.5 ANÁLISIS DE COSTOS UNITARIOS.

**CÓDIGO:** 1 (TSMB.001)

**RUBRO:** CONSTRUCCIÓN Y MONTAJE RUEDA MOTRIZ (ESTACIÓN DE SALIDA) **UNIDAD:** u

<b>EQUIPOS</b>					
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	TARIFA	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
	A	B	C=AxB	R	D=CxR
Cortadora	2.00	5.00	10.0	31.2	312.5
Oxicorte	2.00	15.0	30.0	7.81	234.4
Moladora	4.00	5.00	20.0	15.6	312.5
Esmeril	2.00	4.00	8.00	7.81	62.50
Soldadora	2.00	30.0	60.0	31.2	1875.0
Torno	1.00	30.0	30.0	7.81	234.4
Taladro Pedestal	1.00	20.0	20.0	15.6	312.5
Compresor	1.00	10.0	10.0	7.81	78.13
Tecele	1.00	5.00	5.00	7.81	39.06
Equipo de Ensamble	1.00	5.00	5.00	31.2	156.3
Granalladora	1.00	60.0	60.0	1.87	112.5
Grúa	1.00	200.0	200.0	1.00	200.0
Herramienta menor					57.8
SUBTOTAL M					4001.5
<b>MANO DE OBRA</b>					
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	JORNAL/HR	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
	A	B	C=AxB	R	D=CxR
Soldador ASME	2.00	8.00	16.0	31.25	500.0
Tornero	1.00	6.00	6.00	31.25	187.5
Ayudante (construcción)	4.00	2.00	8.00	31.25	250.0
Pintor	2.00	5.00	10.0	1.875	18.75
Ayudante (pintura)	2.00	2.00	4.00	1.875	7.50
Operario grúa	2.00	8.00	16.0	8.00	128.0
Ayudante (montaje)	4.00	2.00	8.00	8.00	64.0
SUBTOTAL N					1155.8
<b>MATERIALES</b>					
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	P. UNITARIO	COSTO	
		A	B	C=AxB	
Acero ASTM A588 GR A	kg		1.40	3500.0	
Pernos 3/4 plg	u	2500.0	0.90	180.0	
Electrodos	kg	200.0	3.00	1500.0	
Anticorrosivo	gl	500.0	20.0	200.0	
Pintura	gl	10.00	20.0	200.0	
Otros		10.00	560.0	560.0	
SUBTOTAL O					6140.0
<b>TRANSPORTE</b>					
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	TARIFA	COSTO	
		A	B	C=AxB	
Camión	u	120	1.6	192.0	
SUBTOTAL P					192.0
TOTAL COSTOS DIRECTO (M+N+O+P)					11488.0
GASTOS ADMINISTRATIVOS					876.0
COSTOS INDIRECTOS (10%)					1236.0
COSTO TOTAL DEL RUBRO					13600.0

**Tabla 8.5** Costos unitarios rueda motriz

**CÓDIGO:** 2 (TSMB.002)  
**RUBRO:** SOPORTE RUEDA MOTRIZ (ESTACIÓN DE SALIDA)  
**DETALLE:** CONSTRUCCIÓN Y MONTAJE

**UNIDAD:** u

<b>EQUIPOS</b>					
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	TARIFA	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
	A	B	C=AxB	R	D=CxR
Cortadora	1.00	5.00	5.00	21.0	105.0
Oxicorte	1.00	15.0	15.0	5.25	78.75
Moladora	2.00	5.00	10.0	10.5	105.0
Esmeril	1.00	4.00	4.00	5.25	21.00
Soldadora	1.00	30.0	30.0	15.8	472.5
Taladro Pedestal	1.00	20.0	20.0	10.5	210.0
Compresor	1.00	10.0	10.0	5.25	52.50
Tecla	1.00	5.00	5.00	5.25	26.25
Grúa	1.00	200.0	200.0	0.50	100.0
Granalladora	1.00	60.0	60.0	5.25	315.0
Equipo de Ensamble	1.00	5.00	5.00	21.0	105.0
Herramienta menor					22.05
SUBTOTAL M					1613.05
<b>MANO DE OBRA</b>					
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	JORNAL/HR	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
	A	B	C=AxB	R	D=CxR
Soldador ASME	1.00	8.00	8.00	21.00	168.00
Pintor	1.00	5.00	5.00	21.00	105.00
Ayudante	4.00	2.00	8.00	21.00	168.00
SUBTOTAL N					441.0
<b>MATERIALES</b>					
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	P. UNITARIO	COSTO	
		A	B	C=AxB	
Acero ASTM A588 GR A	kg	610	1.40	854.0	
Pernos 3/4 plg	u	8.0	0.90	7.20	
Electrodos	kg	10.0	2.80	28.0	
Anticorrosivo	kg	4.0	20.0	80.0	
Rueda directora	u	8.0	28.0	224.0	
Pintura	gl	4.0	20.0	80.0	
Otros				88.52	
SUBTOTAL O					1357.7
<b>TRANSPORTE</b>					
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	TARIFA	COSTO	
		A	B	C=AxB	
Camión	u	120	0.2	24.0	
SUBTOTAL P					24.0
TOTAL COSTOS DIRECTO (M+N+O+P)					3435.77
GASTOS ADMINISTRATIVOS					220.92
COSTOS INDIRECTOS (10%)					343.57
COSTO TOTAL DEL RUBRO					4000.0

**Tabla 8.6** Costos unitarios de la rueda motriz

**CÓDIGO:** 3 (TSMB.003)  
**RUBRO:** ESTRUCTURA GENERAL DE SOPORTE (ESTACION DE SALIDA) **UNIDAD:** u  
**DETALLE:** CONSTRUCCIÓN Y MONTAJE

<b>EQUIPOS</b>					
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	TARIFA	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
	A	B	C=AxB	R	D=CxR
Cortadora	2.0	5.00	10.0	12.00	120.0
Oxicorte	2.0	15.0	30.0	3.00	90.00
Moladora	2.0	5.00	10.0	6.00	60.00
Esmeril	1.0	4.00	4.00	3.00	12.00
Soldadora	2.0	30.0	60.0	9.00	540.0
Taladro Pedestal	1.0	20.0	20.0	6.00	120.0
Compresor	1.0	10.0	10.0	3.00	30.00
Tecele	1.0	5.00	5.00	3.00	15.00
Granalladora	1.0	60.0	60.0	12.00	720.0
Equipo de ensamble	1.0	30.0	30.0	12.00	360.0
Herramienta menor					19.80
SUBTOTAL M					2086.80
<b>MANO DE OBRA</b>					
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	JORNAL/HR	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
	A	B	C=AxB	R	D=CxR
Soldador ASME	2.0	8.0	16.0	12.0	192.0
Pintor	1.0	5.0	5.00	12.0	60.0
Ayudante	6.0	2.0	12.0	12.0	144.0
SUBTOTAL N					396.0
<b>MATERIALES</b>					
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	P. UNITARIO	COSTO	
		A	B	C=AxB	
Acero ASTM A588 GR A	kg	4000.0	1.40	5610.0	
Pernos 3/4 plg	u	48.0	8.00	384.0	
Electrodos	kg	160.0	6.00	960.0	
Anticorrosivo	gl	10.0	20.0	200.0	
Pintura	gl	10.0	20.0	200.0	
Otros				695.4	
SUBTOTAL O					8049.4
<b>TRANSPORTE</b>					
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	TARIFA	COSTO	
		A	B	C=AxB	
Camión	u	120.0	2.00	240	
SUBTOTAL P					240
TOTAL COSTOS DIRECTO (M+N+O+P)					10772.2
GASTOS ADMINISTRATIVOS					719.58
COSTOS INDIRECTOS (10%)					107.72
COSTO TOTAL DEL RUBRO					11600.0

**Tabla 8.7** Costos unitarios estructura general de soporte



**CÓDIGO:** 4 (TSMB.004)  
**RUBRO:** RUEDAS GUÍAS (Construcción)  
**DETALLE:** ESTACIÓN DE SALIDA

**UNIDAD:** u

<b>EQUIPOS</b>					
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	TARIFA	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
	A	B	C=AxB	R	D=CxR
Cortadora	1.0	5.00	5.00	0.500	2.50
Oxicorte	1.0	15.0	15.0	0.125	1.88
Moladora	2.0	5.00	10.0	0.250	2.50
Esmeril	1.0	4.00	4.00	0.125	0.50
Soldadora	1.0	30.0	30.0	0.375	11.25
Taladro Pedestal	1.0	20.0	20.0	0.250	5.00
Compresor	1.0	10.0	10.0	0.125	1.25
Sierra mecánica	1.0	30.0	30.0	0.125	3.75
Torno	1.0	60.0	60.0	0.125	7.50
Herramienta menor					0.45
SUBTOTAL M					36.58
<b>MANO DE OBRA</b>					
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	JORNAL/HR	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
	A	B	C=AxB	R	D=CxR
Soldador	1.0	8.0	8.00	0.50	4.00
Pintor	1.0	6.0	6.00	0.50	3.00
Ayudante	2.0	2.0	4.00	0.50	2.00
SUBTOTAL N					9.00
<b>MATERIALES</b>					
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	P. UNITARIO	COSTO	
		A	B	C=AxB	
Acero ASTM A588 GR A	kg	25.0	1.40	35.0	
Pernos 1/4 plg	u	6.00	0.20	1.20	
Electrodos	kg	0.062	3.00	0.188	
Anticorrosivo	gl	0.062	20.0	1.25	
Pintura	gl	0.062	20.0	1.25	
Pernos 3/4 plg	u	1.25	0.50	0.625	
Rueda duralón	u	1.00	180	180	
Otros				3.54	
SUBTOTAL O					222.1
<b>TRANSPORTE</b>					
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	TARIFA	COSTO	
		A	B	C=AxB	
Camión	u	0.0625	0.85	6.38	
SUBTOTAL P					6.38
TOTAL COSTOS DIRECTO (M+N+O+P)					274.0
GASTOS ADMINISTRATIVOS					27.48
COSTOS INDIRECTOS (10%)					28.08
COSTO TOTAL DEL RUBRO					330.0

**Tabla 8.8** Costos unitarios ruedas guías

**CÓDIGO:** 5 (TSMB.005)  
**RUBRO:** SISTEMA DE TRANSMISIÓN  
**DETALLE:** CONSTRUCCIÓN Y MONTAJE

**UNIDAD:** u

<b>EQUIPOS</b>					
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	TARIFA	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
	A	B	C=AxB	R	D=CxR
Cortadora	2.0	5.00	10.0	30.0	300.0
Oxicorte	2.0	15.0	30.0	7.50	225.0
Moladora	4.0	5.00	20.0	15.0	300.0
Esmeril	2.0	5.00	10.0	7.50	75.00
Soldadora	2.0	30.0	60.0	30.0	1800.0
Torno	1.0	30.0	30.0	7.50	225.0
Fresadora	1.0	30.0	30.0	30.0	900.0
Compresor	1.0	10.0	10.0	15.0	150.0
Tecla	1.0	5.00	5.00	15.0	75.00
Grúa	1.0	200.0	200.0	1.00	200.0
Equipo de ensamble	1.0	5.00	5.00	30.0	150.0
Herramienta menor					66.0
SUBTOTAL M					4466.00
<b>MANO DE OBRA</b>					
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	JORNAL/HR	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
	A	B	C=AxB	R	D=CxR
Soldador	2.0	8.0	16.0	30.0	480.0
Pintor	1.0	6.0	6.00	30.0	180.0
Fresador	1.0	6.0	6.00	30.0	180.0
Tomero	1.0	6.0	6.00	30.0	180.0
Ayudante	5.0	2.0	10.0	30.0	300.0
SUBTOTAL N					1320.00
<b>MATERIALES</b>					
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	P. UNITARIO	COSTO	
		A	B	C=AxB	
Acero AISI 4340	kg	640.0	2.00	1280.0	
Pernos de acople 3/4 plg	u	200.0	0.50	100.0	
Aceite	gl	4.00	30.0	120.0	
Cadena de transmisión	u	1.00	245.0	245.0	
Electrodos	kg	16.00	6.00	96.00	
Otros				184.1	
SUBTOTAL O					2015.1
<b>TRANSPORTE</b>					
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	TARIFA	COSTO	
		A	B	C=AxB	
Camión	u	120.0	2.0	240	
SUBTOTAL P					240
TOTAL COSTOS DIRECTO (M+N+O+P)					8051.0
GASTOS ADMINISTRATIVOS					644.00
COSTOS INDIRECTOS (10%)					805.00
COSTO TOTAL DEL RUBRO					9500.0

**Tabla 8.9** Costos unitarios del sistema de transmisión

**CÓDIGO:** 6 (TSMB.006)  
**RUBRO:** SISTEMA DE MOTOR DIESEL  
**DETALLE:** SUMINISTRO E INSTALACIÓN

**UNIDAD:** u

<b>EQUIPOS</b>					
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	TARIFA	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
	A	B	C=AxB	R	D=CxR
Tecele	1.0	5.0	5.0	1.0	5.0
SUBTOTAL M					5.0
<b>MANO DE OBRA</b>					
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	JORNAL/HR	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
	A	B	C=AxB	R	D=CxR
Técnico eléctrico	1.0	25.0	25.0	10.0	250.0
SUBTOTAL N					250.0
<b>MATERIALES</b>					
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	P. UNITARIO	COSTO	
		A	B	C=AxB	
Motor Diesel	u	1.0	10000.0	10000.0	
Protecciones de seguridad	u	1.0	1000.0	1000.0	
SUBTOTAL O					12100
<b>TRANSPORTE</b>					
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	TARIFA	COSTO	
		A	B	C=AxB	
Camión	u	300	1.2	360	
SUBTOTAL P					360
TOTAL COSTOS DIRECTO (M+N+O+P)					12715.00
GASTOS ADMINISTRATIVOS					1013.99
COSTOS INDIRECTOS (10%)					1271.50
COSTO TOTAL DEL RUBRO					15000.0

**Tabla 8.10** Costos Unitarios sistema de motor diesel

**CÓDIGO:** 7 (TSMB.007)  
**RUBRO:** SISTEMA HIDRÁULICO  
**DETALLE:** SUMINISTRO E INSTALACIÓN

**UNIDAD:** u

<b>EQUIPOS</b>					
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	TARIFA	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
	A	B	C=AxB	R	D=CxR
Teclé	1.0	5.0	5.0	4.0	20.0
SUBTOTAL M					20.0
<b>MANO DE OBRA</b>					
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	JORNAL/HR	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
	A	B	C=AxB	R	D=CxR
Técnico Hidráulico	1.0	40.0	40.0	10.0	400.0
SUBTOTAL N					400.0
<b>MATERIALES</b>					
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	P. UNITARIO	COSTO	
		A	B	C=AxB	
Sistema Hidráulico	u	1.0	8500.0	8500.0	
Protecciones de seguridad	u	1.0	2000.0	2000.0	
SUBTOTAL O					11550
<b>TRANSPORTE</b>					
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	TARIFA	COSTO	
		A	B	C=AxB	
Camión	u	300	2.0	600.0	
SUBTOTAL P					600.0
TOTAL COSTOS DIRECTO (M+N+O+P)					12570.0
GASTOS ADMINISTRATIVOS					1013.14
COSTOS INDIRECTOS (10%)					1257.00
COSTO TOTAL DEL RUBRO					14840.0

**Tabla 8.11** Costo unitario sistema hidráulico

**CÓDIGO:** 8 (TSMB.008)  
**RUBRO:** SISTEMA DE CONTROL  
**DETALLE:** SUMINISTRO E INSTALACIÓN

**UNIDAD:** u

<b>EQUIPOS</b>					
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	TARIFA	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
	A	B	C=AxB	R	D=CxR
Herramienta menor					5.0
SUBTOTAL M					5.0
<b>MANO DE OBRA</b>					
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	JORNAL/HR	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
	A	B	C=AxB	R	D=CxR
Técnico electrónico	1.0	30.0	30.0	10.0	300.0
SUBTOTAL N					300.0
<b>MATERIALES</b>					
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	P. UNITARIO	COSTO	
		A	B	C=AxB	
Equipo de control	u	1.0	1500.0	1500.0	
Protecciones de seguridad	u	1.0	265.0	265.0	
SUBTOTAL O					1941.5
<b>TRANSPORTE</b>					
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	TARIFA	COSTO	
		A	B	C=AxB	
Camión	u	300	1.0	300.0	
SUBTOTAL P					300.0
TOTAL COSTOS DIRECTO (M+N+O+P)					2546.50
GASTOS ADMINISTRATIVOS					198.63
COSTOS INDIRECTOS (10%)					254.65
COSTO TOTAL DEL RUBRO					3000.0

**Tabla 8.12** Costo unitario sistema de control

**CÓDIGO:** 9 (TSMB.009)  
**RUBRO:** PARARAYOS  
**DETALLE:** SUMINISTRO E INSTALACIÓN

**UNIDAD:** u

<b>EQUIPOS</b>					
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	TARIFA	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
	A	B	C=AxB	R	D=CxR
Teclé	1.0	5.0	5.0	1.0	5.0
SUBTOTAL M					5.0
<b>MANO DE OBRA</b>					
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	JORNAL/HR	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
	A	B	C=AxB	R	D=CxR
Técnico eléctrico	1.0	30.0	30.0	10.0	300.0
SUBTOTAL N					300.0
<b>MATERIALES</b>					
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	P. UNITARIO	COSTO	
		A	B	C=AxB	
Equipo de pararrayo	u	1200.0	1200.0	1200.0	
Protecciones de seguridad	u	180.0	180.0	180.0	
Otros				138.0	
SUBTOTAL O					1518.0
<b>TRANSPORTE</b>					
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	TARIFA	COSTO	
		A	B	C=AxB	
Camión	u	300	1.0	300.0	
SUBTOTAL P					300.0
TOTAL COSTOS DIRECTO (M+N+O+P)					2123.0
GASTOS ADMINISTRATIVOS					165.17
COSTOS INDIRECTOS (10%)					212.30
COSTO TOTAL DEL RUBRO					2500.0

**Tabla 8.13** Costo unitario pararrayos

CÓDIGO: 10 (TSMB.010)

RUBRO: OBRA CIVIL ESTACIÓN DE SALIDA

UNIDAD: u

DETALLE:

EQUIPOS					
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	TARIFA	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
	A	B	C=AxB	R	D=CxR
Retroexcavadora	1.0	40.0	40.0	5.0	200.0
Mezcladora de concreto	2.0	15.0	30.0	5.0	150.0
Compactadora	4.0	20.0	80.0	5.0	400.0
Volqueta	2.0	35.0	70.0	5.0	350.0
Herramienta menor					22.40
SUBTOTAL M					1122.4
MANO DE OBRA					
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	JORNAL/HR	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
	A	B	C=AxB	R	D=CxR
Peones	8.0	4.0	12.0	14.0	448.0
SUBTOTAL N					448.0
MATERIALES					
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	P. UNITARIO	COSTO	
		A	B	C=AxB	
Hormigón Fc'=210	m <sup>3</sup>	80.0	180.0	14440.0	
Malla electro soldada	kg	55.0	8.0	440.0	
Hierro	kg	80.0	1.5	120.0	
Otros				1496.0	
SUBTOTAL O					16456.0
TRANSPORTE					
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	TARIFA	COSTO	
		A	B	C=AxB	
Camión	u	120	2.0	240.0	
SUBTOTAL P					240.0
TOTAL COSTOS DIRECTO (M+N+O+P)					18266.4
GASTOS ADMINISTRATIVOS					1457.29
COSTOS INDIRECTOS (10%)					1826.64
COSTO TOTAL DEL RUBRO					21550

Tabla 8.14 Costo unitario obra civil de la estación de salida

CÓDIGO: 11 (TSMB.011)

RUBRO: TORRE 1 DIRECCIONAL (6 METROS DE LONGITUD)

UNIDAD: u

DETALLE: CONSTRUCCION Y SUMINISTRO ELEMENTOS DE MONTAJE

EQUIPOS					
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	TARIFA	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
	A	B	C=AxB	R	D=CxR
Cortadora	1.0	5.0	5.0	25.0	125.0
Oxicorte	1.0	15.0	15.0	6.25	93.75
Moladora	1.0	5.0	5.0	12.5	125.0
Esmeril	2.0	4.0	8.0	6.25	25.00
Soldadora	1.0	30.0	30.0	18.75	1125.0
Baroladora	2.0	20.0	40.0	6.25	125.0
Taladro de pedestal	1.0	20.0	20.0	12.5	250.0
Compresor	1.0	10.0	10.0	6.25	62.50
Equipo de montaje	1.0	25.0	25.0	25.0	625.0
Tecla	1.0	5.0	5.0	6.25	31.25
Herramienta menor					42.50
SUBTOTAL M					2630.0
MANO DE OBRA					
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	JORNAL/HR	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
	A	B	C=AxB	R	D=CxR
Soldador ASME	2.0	8.0	16.0	25.0	400.0
Operario	1.0	6.0	6.0	25.0	150.0
Ayudante	6.0	2.0	12.0	25.0	300.0
SUBTOTAL N					850.0
MATERIALES					
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	P. UNITARIO	COSTO	
		A	B	C=AxB	
Acero ASTM A588 GRA	kg	850.0	1.4	1130.0	
Pernos 3/4 pulg	u	16.0	4.0	64.0	
Pernos 1/2 pulg	u	10.0	1.0	10.0	
Electrodos	kg	42.5	3.0	127.5	
Otros				139.15	
SUBTOTAL O					1530.65
TRANSPORTE					
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	TARIFA	COSTO	
		A	B	C=AxB	
Camión	u	120	1.0	120.0	
SUBTOTAL P					120.0
TOTAL COSTOS DIRECTO (M+N+O+P)					5130.65
GASTOS ADMINISTRATIVOS					356.58
COSTOS INDIRECTOS (10%)					513.07
COSTO TOTAL DEL RUBRO					6000.0

Tabla 8.15 Costo unitario torre direccional 1



CÓDIGO: 12 (TSMB.012)

RUBRO: TORRE 2 ELEVACIÓN (6 METROS DE LONGITUD)

UNIDAD: u

DETALLE: CONSTRUCCION Y SUMINISTRO ELEMENTOS DE MONTAJE

EQUIPOS					
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	TARIFA	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
	A	B	C=AxB	R	D=CxR
Cortadora	1.0	5.0	5.0	25.0	125.0
Oxicorte	1.0	15.0	15.0	6.25	93.75
Moladora	1.0	5.0	5.0	12.5	125.0
Esmeril	2.0	4.0	8.0	6.25	25.00
Soldadora	1.0	30.0	30.0	18.75	1125.0
Baroladora	2.0	20.0	40.0	6.25	125.0
Taladro de pedestal	1.0	20.0	20.0	12.5	250.0
Compresor	1.0	10.0	10.0	6.25	62.50
Equipo de montaje	1.0	25.0	25.0	25.0	625.0
Tecele	1.0	5.0	5.0	6.25	31.25
Herramienta menor					42.50
SUBTOTAL M					2630.0
MANO DE OBRA					
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	JORNAL/HR	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
	A	B	C=AxB	R	D=CxR
Soldador ASME	2.0	8.0	16.0	25.0	400.0
Operario	1.0	6.0	6.0	25.0	150.0
Ayudante	6.0	2.0	12.0	25.0	300.0
SUBTOTAL N					850.0
MATERIALES					
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	P. UNITARIO	COSTO	
		A	B	C=AxB	
Acero ASTM A588 GRA	kg	850.0	1.4	1130.0	
Pernos 3/4 pulg	u	16.0	4.0	64.0	
Pernos 1/2 pulg	u	10.0	1.0	10.0	
Electrodos	kg	42.5	3.0	127.5	
Otros				139.15	
SUBTOTAL O					1530.65
TRANSPORTE					
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	TARIFA	COSTO	
		A	B	C=AxB	
Camión	u	120	1.0	120.0	
SUBTOTAL P					120.0
TOTAL COSTOS DIRECTO (M+N+O+P)					5130.65
GASTOS ADMINISTRATIVOS					356.58
COSTOS INDIRECTOS (10%)					513.07
COSTO TOTAL DEL RUBRO					6000.0

Tabla 8.16 Costo unitario torre direccional 2

CÓDIGO: 13 (TSMB.013)

RUBRO: TORRE 3 ELEVACIÓN (6 METROS DE LONGITUD)

UNIDAD: u

DETALLE: CONSTRUCCION Y SUMINISTRO ELEMENTOS DE MONTAJE

EQUIPOS					
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	TARIFA	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
	A	B	C=AxB	R	D=CxR
Cortadora	1.0	5.0	5.0	25.0	125.0
Oxicorte	1.0	15.0	15.0	6.25	93.75
Moladora	1.0	5.0	5.0	12.5	125.0
Esmeril	2.0	4.0	8.0	6.25	25.00
Soldadora	1.0	30.0	30.0	18.75	1125.0
Baroladora	2.0	20.0	40.0	6.25	125.0
Taladro de pedestal	1.0	20.0	20.0	12.5	250.0
Compresor	1.0	10.0	10.0	6.25	62.50
Equipo de montaje	1.0	25.0	25.0	25.0	625.0
Tecla	1.0	5.0	5.0	6.25	31.25
Herramienta menor					42.50
SUBTOTAL M					2630.0
MANO DE OBRA					
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	JORNAL/HR	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
	A	B	C=AxB	R	D=CxR
Soldador ASME	2.0	8.0	16.0	25.0	400.0
Operario	1.0	6.0	6.0	25.0	150.0
Ayudante	6.0	2.0	12.0	25.0	300.0
SUBTOTAL N					850.0
MATERIALES					
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	P. UNITARIO	COSTO	
		A	B	C=AxB	
Acero ASTM A588 GRA	kg	850.0	1.4	1130.0	
Pernos 3/4 pulg	u	16.0	4.0	64.0	
Pernos 1/2 pulg	u	10.0	1.0	10.0	
Electrodos	kg	42.5	3.0	127.5	
Otros				139.15	
SUBTOTAL O					1530.65
TRANSPORTE					
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	TARIFA	COSTO	
		A	B	C=AxB	
Camión	u	120	1.0	120.0	
SUBTOTAL P					120.0
TOTAL COSTOS DIRECTO (M+N+O+P)					5130.65
GASTOS ADMINISTRATIVOS					356.58
COSTOS INDIRECTOS (10%)					513.07
COSTO TOTAL DEL RUBRO					6000.0

Tabla 8.17 Costo unitario torre direccional 3

CÓDIGO: 14 (TSMB.014)

RUBRO: TORRE 4 DIRECCIONAL (3 METROS DE LONGITUD)

UNIDAD: u

DETALLE: CONSTRUCCION Y SUMINISTRO ELEMENTOS DE MONTAJE

EQUIPOS					
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	TARIFA	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
	A	B	C=AxB	R	D=CxR
Cortadora	1.0	5.0	5.0	12.5	62.50
Oxicorte	1.0	15.0	15.0	3.125	46.88
Moladora	1.0	5.0	5.0	6.25	62.50
Esmeril	2.0	4.0	8.0	3.125	12.50
Soldadora	1.0	30.0	30.0	9.375	562.5
Baroladora	2.0	20.0	40.0	3.125	62.50
Taladro de pedestal	1.0	20.0	20.0	6.25	125.0
Compresor	1.0	10.0	10.0	3.125	31.25
Equipo de montaje	1.0	25.0	25.0	12.5	312.5
Tecla	1.0	5.0	5.0	3.125	15.63
Herramienta menor					21.25
SUBTOTAL M					1315.0
MANO DE OBRA					
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	JORNAL/HR	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
	A	B	C=AxB	R	D=CxR
Soldador ASME	2.0	8.0	16.0	12.5	200.0
Operario	1.0	6.0	6.0	12.5	75.00
Ayudante	6.0	2.0	12.0	12.5	150.0
SUBTOTAL N					425.0
MATERIALES					
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	P. UNITARIO	COSTO	
		A	B	C=AxB	
Acero ASTM A588 GRA	kg	500.0	1.4	700.0	
Pernos 3/4 pulg	u	16.0	4.0	64.0	
Pernos 1/2 pulg	u	10.0	1.0	10.0	
Electrodos	kg	20.0	3.0	60.0	
Otros				83.4	
SUBTOTAL O					917.4
TRANSPORTE					
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	TARIFA	COSTO	
		A	B	C=AxB	
Camión	u	120	0.5	60.0	
SUBTOTAL P					60.0
TOTAL COSTOS DIRECTO (M+N+O+P)					2717.4
GASTOS ADMINISTRATIVOS					210.6
COSTOS INDIRECTOS (10%)					271.74
COSTO TOTAL DEL RUBRO					3200.0

Tabla 8.18 Costo unitario torre direccional 4

**CÓDIGO:** 15 (TSMB.015)  
**RUBRO:** TREN DE POLEAS (8 RUEDAS)  
**DETALLE:** CONSTRUCCION Y MONTAJE

**UNIDAD:** u

<b>EQUIPOS</b>					
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	TARIFA	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
	A	B	C=AxB	R	D=CxR
Cortadora	2.0	5.0	10.0	6.25	62.50
Oxicorte	2.0	15.0	30.0	1.562	46.88
Moladora	4.0	5.0	20.0	3.125	62.50
Esmeril	2.0	4.0	8.00	1.562	12.50
Soldadora	4.0	30.0	120.0	4.687	562.5
Tomo	1.0	30.0	30.0	3.125	93.75
Taladro de pedestal	1.0	20.0	20.0	3.125	62.50
Compresor	1.0	10.0	10.0	1.562	15.63
Equipo de montaje	1.0	15.0	15.0	6.25	156.25
Tecele	1.0	5.0	5.00	1.562	7.81
Herramienta menor					13.13
SUBTOTAL M					1095.94
<b>MANO DE OBRA</b>					
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	JORNAL/HR	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
	A	B	C=AxB	R	D=CxR
Soldador ASME	3.0	8.0	24.0	6.25	150.0
Operario	1.0	6.0	6.0	6.25	37.50
Ayudante	6.0	2.0	12.0	6.25	75.00
SUBTOTAL N					262.5
<b>MATERIALES</b>					
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	P. UNITARIO	COSTO	
		A	B	C=AxB	
Acero ASTM A588 GRA	kg	250.0	1.4	350.0	
Rueda	u	8.0	30.0	240.0	
Pernos 1/2 pulg	u	12.0	1.0	12.0	
Electrodos	kg	12.0	3.0	36.0	
Otros				63.8	
SUBTOTAL O					701.8
<b>TRANSPORTE</b>					
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	TARIFA	COSTO	
		A	B	C=AxB	
Camión	u	120	0.5	60.0	
SUBTOTAL P					60.0
TOTAL COSTOS DIRECTO (M+N+O+P)					2120.24
GASTOS ADMINISTRATIVOS					167.50
COSTOS INDIRECTOS (10%)					212.02
COSTO TOTAL DEL RUBRO					2500.0

**Tabla 8.19** Costo unitario tren de poleas

**CÓDIGO:** 16 (TSMB.016)  
**RUBRO:** OBRA CIVIL (4 TORRES)  
**DETALLE:** SUMINISTRO Y CONSTRUCCIÓN

**UNIDAD:** u

<b>EQUIPOS</b>					
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	TARIFA	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
	A	B	C=AxB	R	D=CxR
Retroexcavadora	1.0	40.0	40.0	3.7	148.0
Mezcladora de concreto	2.0	15.0	30.0	3.7	111.0
Compactadora	4.0	20.0	80.0	3.7	296.0
Volqueta	2.0	35.0	70.0	3.7	259.0
Herramienta menor					22.4
SUBTOTAL M					836.40
<b>MANO DE OBRA</b>					
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	JORNAL/HR	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
	A	B	C=AxB	R	D=CxR
Peones	8.0	4.0	32.0	4.0	448
SUBTOTAL N					262.5
<b>MATERIALES</b>					
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	P. UNITARIO	COSTO	
		A	B	C=AxB	
Hormigón Fc'=210	m <sup>3</sup>	25.0	180.0	4500.0	
Malla electro soldada	kg	50.0	8.0	400.0	
Hierro	kg	30.0	1.5	45.0	
Otros				494.5	
SUBTOTAL O					5439.5
<b>TRANSPORTE</b>					
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	TARIFA	COSTO	
		A	B	C=AxB	
Camión	u	120	4	480.0	
SUBTOTAL P					480.0
TOTAL COSTOS DIRECTO (M+N+O+P)					7204.0
GASTOS ADMINISTRATIVOS					576.0
COSTOS INDIRECTOS (10%)					720.0
COSTO TOTAL DEL RUBRO					8500.0

**Tabla 8.20** Costo unitario obra civil 4 torres

CÓDIGO: 17 (TSMB.017)

RUBRO: CONSTRUCCIÓN Y MONTAJE RUEDA MOTRIZ

UNIDAD: u

<b>EQUIPOS</b>					
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	TARIFA	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
	A	B	C=AxB	R	D=CxR
Cortadora	2.00	5.00	10.0	31.2	312.5
Oxicorte	2.00	15.0	30.0	7.81	234.4
Moladora	4.00	5.00	20.0	15.6	312.5
Esmeril	2.00	4.00	8.00	7.81	62.50
Soldadora	2.00	30.0	60.0	31.2	1875.0
Torno	1.00	30.0	30.0	7.81	234.4
Taladro Pedestal	1.00	20.0	20.0	15.6	312.5
Compresor	1.00	10.0	10.0	7.81	78.13
Tecele	1.00	5.00	5.00	7.81	39.06
Equipo de Ensamble	1.00	5.00	5.00	0.5	100.0
Grúa	1.00	200.0	200.0	31.25	156.2
Herramienta menor					56.25
					3773.4
<b>MANO DE OBRA</b>					
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	JORNAL/HR	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
	A	B	C=AxB	R	D=CxR
Soldador ASME	2.00	8.00	16.0	31.25	500.0
Tomero	1.00	6.00	6.00	31.25	187.5
Ayudante	4.00	2.00	8.00	31.25	250.0
Pintor	1.00	6.00	6.00	31.25	187.5
SUBTOTAL N					1125
<b>MATERIALES</b>					
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	P. UNITARIO	COSTO	
		A	B	C=AxB	
Acero ASTM A588 GR A	kg	2500.0	1.40	3750	
Pernos 3/4 plg	u	216.0	0.70	151.2	
Electrodos	kg	250.0	3.00	750.0	
Anticorrosivo	gl	10.0	20.0	200.0	
Pintura	gl	10.0	20.0	200.0	
Otros				200.0	
SUBTOTAL O					5251.2
<b>TRANSPORTE</b>					
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	TARIFA	COSTO	
		A	B	C=AxB	
Camión	u	120	1.6	192.0	
SUBTOTAL P					192.0
TOTAL COSTOS DIRECTO (M+N+O+P)					10341.6
GASTOS ADMINISTRATIVOS					624.24
COSTOS INDIRECTOS (10%)					1034.16
COSTO TOTAL DEL RUBRO					12000.0

Tabla 8.21 Costo unitario rueda motriz

**CÓDIGO:** 18 (TSMB.018)  
**RUBRO:** SOPORTE RUEDA MOTRIZ **UNIDAD:** u  
**DETALLE:** CONSTRUCCIÓN Y MONTAJE (UBICACIÓN ESTACIÓN DE SALIDA)

<b>EQUIPOS</b>					
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	TARIFA	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
	A	B	C=AxB	R	D=CxR
Cortadora	1.00	5.00	5.00	12.0	60.0
Oxicorte	1.00	15.0	15.0	3.0	45.0
Moladora	2.00	5.00	10.0	6.0	60.0
Esmeril	1.00	4.00	4.00	3.0	12.0
Soldadora	1.00	30.0	30.0	9.0	270.0
Taladro Pedestal	1.00	20.0	20.0	3.0	120.0
Compresor	1.00	10.0	10.0	3.0	30.0
Tecele	1.00	5.00	5.00	3.0	15.0
Granalladora	1.00	60.0	60.0	3.0	180.0
Equipo de Ensamble	1.00	5.00	5.00	12.0	60.0
Herramienta menor					12.60
SUBTOTAL M					864.60
<b>MANO DE OBRA</b>					
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	JORNAL/HR	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
	A	B	C=AxB	R	D=CxR
Soldador ASME	1.00	8.00	8.00	12.0	96.0
Pintor	1.00	5.00	5.00	12.0	60.0
Ayudante	4.00	2.00	8.00	12.0	96.0
SUBTOTAL N					252.0
<b>MATERIALES</b>					
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	P. UNITARIO	COSTO	
		A	B	C=AxB	
	kg	200.0	1.50	300.0	
	u	8.0	0.90	7.2	
Acero ASTM A588 GR A	kg	10.0	3.0	30.0	
Pernos 3/4 plg	gl	4.0	20.0	80.0	
Electrodos	u	8.0	28.0	240.0	
Anticorrosivo	u	4.0	150.0	600.0	
Rueda directora	gl	4.0	20.0	80.0	
Rodamientos autoalineante				33.72	
Pintura					
Otros					
SUBTOTAL O					1370.92
<b>TRANSPORTE</b>					
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	TARIFA	COSTO	
		A	B	C=AxB	
Camión	u	120	0.5	60.0	
SUBTOTAL P					60.0
TOTAL COSTOS DIRECTO (M+N+O+P)					2547.52
GASTOS ADMINISTRATIVOS					197.43
COSTOS INDIRECTOS (10%)					254.75
COSTO TOTAL DEL RUBRO					3000.0

**Tabla 8.22** Costo unitario sooporte rueda motriz

**CÓDIGO:** 19 (TSMB.019)  
**RUBRO:** ESTRUCTURA GENERAL DE SOPORTE (ESTACION DE LLEGADA) **UNIDAD:** u  
**DETALLE:** CONSTRUCCIÓN Y MONTAJE

<b>EQUIPOS</b>					
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	TARIFA	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
	A	B	C=AxB	R	D=CxR
Cortadora	2.0	5.00	10.0	15.0	150.0
Oxicorte	2.0	15.0	30.0	3.75	112.5
Moladora	2.0	5.00	10.0	7.5	75.0
Esmeril	1.0	4.00	4.00	3.75	15.0
Soldadora	3.0	30.0	90.0	11.25	1012.5
Taladro Pedestal	1.0	20.0	20.0	7.5	150.0
Compresor	1.0	10.0	10.0	3.75	37.5
Tecele	1.0	5.00	5.00	3.75	18.75
Granalladora	1.0	60.0	60.0	15.0	900.0
Equipo de ensamble	1.0	30.0	30.0	15.0	450.0
Herramienta menor					30.75
SUBTOTAL M					2952.0
<b>MANO DE OBRA</b>					
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	JORNAL/HR	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
	A	B	C=AxB	R	D=CxR
Soldador ASME	3.0	8.0	24.0	15.0	360.0
Pintor	1.0	5.0	5.00	15.0	75.0
Ayudante	6.0	2.0	12.0	15.0	180.0
SUBTOTAL N					615.0
<b>MATERIALES</b>					
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	P. UNITARIO	COSTO	
		A	B	C=AxB	
Acero ASTM A588 GR A	kg	1000.0	1.40	1400.0	
Pernos 3/4 plg	u	50.0	5.00	250.0	
Electrodos	kg	100.0	3.00	300.0	
Anticorrosivo	gl	4.0	20.0	80.0	
Pintura	gl	4.0	20.0	80.0	
Otros				195.0	
SUBTOTAL O					2305.0
<b>TRANSPORTE</b>					
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	TARIFA	COSTO	
		A	B	C=AxB	
Camión	u	120.0	2.00	240	
SUBTOTAL P					240
TOTAL COSTOS DIRECTO (M+N+O+P)					7204.0
GASTOS ADMINISTRATIVOS					480.0
COSTOS INDIRECTOS (10%)					611.0
COSTO TOTAL DEL RUBRO					7200.0

**Tabla 8.23** Costo unitario estructura general de soporte (Estación de llegada)



**CÓDIGO:** 20 (TSMB.020)  
**RUBRO:** RUEDAS GUÍAS (ESTACIÓN DE LLEGADA)  
**DETALLE:** CONSTRUCCIÓN

**UNIDAD:** u

<b>EQUIPOS</b>					
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	TARIFA	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
	A	B	C=AxB	R	D=CxR
Cortadora	1.0	5.00	5.00	0.500	2.50
Oxicorte	1.0	15.0	15.0	0.125	1.88
Moladora	2.0	5.00	10.0	0.250	2.50
Esmeril	1.0	4.00	4.00	0.125	0.50
Soldadora	1.0	30.0	30.0	0.375	11.25
Taladro Pedestal	1.0	20.0	20.0	0.250	5.00
Compresor	1.0	10.0	10.0	0.125	1.25
Sierra mecánica	1.0	30.0	30.0	0.125	3.75
Torno	1.0	60.0	60.0	0.125	7.50
Herramienta menor					0.45
SUBTOTAL M					36.58
<b>MANO DE OBRA</b>					
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	JORNAL/HR	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
	A	B	C=AxB	R	D=CxR
Soldador	1.0	8.0	8.00	0.50	4.00
Pintor	1.0	6.0	6.00	0.50	3.00
Ayudante	2.0	2.0	4.00	0.50	2.00
SUBTOTAL N					9.00
<b>MATERIALES</b>					
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	P. UNITARIO	COSTO	
		A	B	C=AxB	
Acero ASTM A588 GR A	kg	25.0	1.40	35.0	
Pernos 1/4 plg	u	6.00	0.20	1.20	
Electrodos	kg	0.062	3.00	0.188	
Anticorrosivo	gl	0.062	20.0	1.25	
Pintura	gl	0.062	20.0	1.25	
Pernos 3/4 plg	u	1.25	0.50	0.625	
Rueda duralón	u	1.00	180	180	
Otros				3.54	
SUBTOTAL O					222.1
<b>TRANSPORTE</b>					
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	TARIFA	COSTO	
		A	B	C=AxB	
Camión	u	0.0625	0.85	6.38	
SUBTOTAL P					6.38
TOTAL COSTOS DIRECTO (M+N+O+P)					274.0
GASTOS ADMINISTRATIVOS					27.48
COSTOS INDIRECTOS (10%)					28.08
COSTO TOTAL DEL RUBRO					330.0

**Tabla 8.24** Costo unitario ruedas guías (Estación de llegada)

CÓDIGO: 21 (TSMB.021)

RUBRO: PARARAYOS (ESTACIÓN DE LLEGADA)

UNIDAD: u

DETALLE: SUMINISTRO E INSTALACIÓN

EQUIPOS					
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	TARIFA	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
	A	B	C=AxB	R	D=CxR
Tecele	1.0	5.0	5.0	1.0	5.0
SUBTOTAL M					5.0
MANO DE OBRA					
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	JORNAL/HR	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
	A	B	C=AxB	R	D=CxR
Técnico eléctrico	1.0	30.0	30.0	10.0	300.0
SUBTOTAL N					300.0
MATERIALES					
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	P. UNITARIO	COSTO	
		A	B	C=AxB	
Equipo de pararrayo	u	1200.0	1200.0	1200.0	
Protecciones de seguridad	u	180.0	180.0	180.0	
Otros				138.0	
SUBTOTAL O					1518.0
TRANSPORTE					
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	TARIFA	COSTO	
		A	B	C=AxB	
Camión	u	300	1.0	300.0	
SUBTOTAL P					300.0
TOTAL COSTOS DIRECTO (M+N+O+P)					2123.0
GASTOS ADMINISTRATIVOS					165.17
COSTOS INDIRECTOS (10%)					212.30
COSTO TOTAL DEL RUBRO					2500.0

Tabla 8.25 Costo unitario pararrayos (Estación de llegada)

CÓDIGO: 22 (TSMB.022)

RUBRO: OBRA CIVIL ESTACIÓN DE SALIDA

UNIDAD: u

DETALLE:

EQUIPOS					
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	TARIFA	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
	A	B	C=AxB	R	D=CxR
Retroexcavadora	1.0	40.0	40.0	5.0	200.0
Mezcladora de concreto	2.0	15.0	30.0	5.0	150.0
Compactadora	4.0	20.0	80.0	5.0	400.0
Volqueta	2.0	35.0	70.0	5.0	350.0
Herramienta menor					22.40
SUBTOTAL M					1122.4
MANO DE OBRA					
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	JORNAL/HR	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
	A	B	C=AxB	R	D=CxR
Peones	8.0	4.0	12.0	14.0	448.0
SUBTOTAL N					448.0
MATERIALES					
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	P. UNITARIO	COSTO	
		A	B	C=AxB	
Hormigón Fc'=210	m <sup>3</sup>	54.0	180.0	9720	
Malla electro soldada	kg	40.0	8.0	320.0	
Hierro	kg	60.0	1.4	80.0	
Otros				781.0	
SUBTOTAL O					10901.0
TRANSPORTE					
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	TARIFA	COSTO	
		A	B	C=AxB	
Camión	u	120	2.0	240.0	
SUBTOTAL P					240.0
TOTAL COSTOS DIRECTO (M+N+O+P)					12711.4
GASTOS ADMINISTRATIVOS					1017.04
COSTOS INDIRECTOS (10%)					1271.14
COSTO TOTAL DEL RUBRO					15000.0

Tabla 8.26 Costo unitario obra civil estación de salida

CÓDIGO: 23 (TSMB.023)

RUBRO: CABLE

UNIDAD: u

DETALLE: SUMINISTRO Y MONTAJE

<b>EQUIPOS</b>					
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	TARIFA	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
	A	B	C=AxB	R	D=CxR
Equipo de amarre	1.0	100.0	100.0	45.0	4500.0
Equipo de templado	1.0	40.0	40.0	30.0	1200.0
Equipo de montaje	1.0	50.0	50.0	30.0	1500.0
SUBTOTAL M					7200.0
<b>MANO DE OBRA</b>					
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	JORNAL/HR	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
	A	B	C=AxB	R	D=CxR
Operario equipo de montaje	2.0	10.0	20.0	10.0	60.0
Operario equipo de amarre	4.0	10.0	40.0	10.0	60.0
Ayudantes	4.0	2.0	8.0	2.0	60.0
SUBTOTAL N					4080.0
<b>MATERIALES</b>					
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	P. UNITARIO	COSTO	
		A	B	C=AxB	
Cable galvanizado 1 1/8 plg.	m	1600	17.0	27200.0	
SUBTOTAL O					27200.0
<b>TRANSPORTE</b>					
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	TARIFA	COSTO	
		A	B	C=AxB	
Camión	u	1600	0.002	384.0	
SUBTOTAL P					384.0
TOTAL COSTOS DIRECTO (M+N+O+P)					38864.0
GASTOS ADMINISTRATIVOS					2914.80
COSTOS INDIRECTOS (10%)					4222.11
COSTO TOTAL DEL RUBRO					46000

Tabla 8.27 Costo unitario cable

**CÓDIGO:** 24 (TSMB.024)  
**RUBRO:** SILLAS DOBLES  
**DETALLE:** CONSTRUCCION Y MONTAJE

**UNIDAD:** u

<b>EQUIPOS</b>					
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	TARIFA	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
	A	B	C=AxB	R	D=CxR
Cortadora	1.0	5.0	5.0	4.05	20.25
Moladora	1.0	5.0	5.0	2.70	13.50
Esmeril	1.0	4.0	4.0	1.35	5.40
Soldadora	2.0	50.0	100.0	4.05	405.0
Taladro pedestal	1.0	20.0	20.0	2.70	54.0
Dobladora de tubería	2.0	80.0	80.0	4.05	648.0
Compresor	1.0	10.0	10.0	4.05	40.5
Herramienta menor					7.83
SUBTOTAL M					1194.48
<b>MANO DE OBRA</b>					
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	JORNAL/HR	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
	A	B	C=AxB	R	D=CxR
Soldador	2.0	8.0	16.0	5.40	86.40
Pintor	1.0	5.0	5.0	5.40	27.00
Ayudantes	4.0	2.0	8.0	5.40	43.20
SUBTOTAL N					156.60
<b>MATERIALES</b>					
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	P. UNITARIO	COSTO	
		A	B	C=AxB	
Tubería 2 plg.	kg	100.0	3.00	300.0	
Sistema de sujeción	u	1.0	500.0	500.0	
Sistema de seguridad	u	1.0	10.0	10.0	
Electrodos	kg	5.0	3.0	15.0	
Anticorrosivo	gl	2.0	20.0	40.0	
Pintura	gl	2.0	20.0	40.0	
Sillas	u	4.0	20.0	80.0	
Otros				90.5	
SUBTOTAL O					1075.5
<b>TRANSPORTE</b>					
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	TARIFA	COSTO	
		A	B	C=AxB	
Camión	u	120.0	1.0	120.0	
SUBTOTAL P					120.0
TOTAL COSTOS DIRECTO (M+N+O+P)					2546.58
GASTOS ADMINISTRATIVOS					204.49
COSTOS INDIRECTOS (10%)					199.91
COSTO TOTAL DEL RUBRO					2950.98

**Tabla 8.28** Costo unitario sillas dobles

**CÓDIGO:** 25 (TSMB.025)  
**RUBRO:** SISTEMA DE COMUNICACIÓN  
**DETALLE:** SUMINISTRO

**UNIDAD:** u

<b>EQUIPOS</b>					
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	TARIFA	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
	A	B	C=AxB	R	D=CxR
SUBTOTAL M					
<b>MANO DE OBRA</b>					
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	JORNAL/HR	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
	A	B	C=AxB	R	D=CxR
SUBTOTAL N					
<b>MATERIALES</b>					
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	P. UNITARIO	COSTO	
		A	B	C=AxB	
Sistema de comunicación	u	1.0	2000.0	2000.0	
SUBTOTAL O					2000.0
<b>TRANSPORTE</b>					
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	TARIFA	COSTO	
		A	B	C=AxB	
SUBTOTAL P					
TOTAL COSTOS DIRECTO (M+N+O+P)					2000.0
GASTOS ADMINISTRATIVOS					
COSTOS INDIRECTOS (10%)					
COSTO TOTAL DEL RUBRO					2000.0

**Tabla 8.29** Costo unitario sistema de comunicación

CÓDIGO: 26 (TSMB.026)

RUBRO: GALVANIZADO

UNIDAD: kg

DETALLE: TORRES, ESTACIONES, SILLAS, TREN DE POLEAS

EQUIPOS					
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	TARIFA	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
	A	B	C=AxB	R	D=CxR
SUBTOTAL M					
MANO DE OBRA					
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	JORNAL/HR	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
	A	B	C=AxB	R	D=CxR
SUBTOTAL N					
MATERIALES					
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	P. UNITARIO	COSTO	
		A	B	C=AxB	
Galvanizado	kg	1.0	1.20	1.2	
SUBTOTAL O					1.2
TRANSPORTE					
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	TARIFA	COSTO	
		A	B	C=AxB	
SUBTOTAL P					
TOTAL COSTOS DIRECTO (M+N+O+P)					1.2
GASTOS ADMINISTRATIVOS					
COSTOS INDIRECTOS (10%)					
COSTO TOTAL DEL RUBRO					1.2

Tabla 8.30 Costo unitario galvanizado

### 8.3.6 PRESUPUESTO DEL PROYECTO.

CÓDIGO	RUBRO	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO [USD]	PRECIO TOTAL [USD]
<b>ESTACIÓN DE SALIDA</b>					
TSMB.001	RUEDA MOTRIZ	u	1.0	13600.0	13600.0
TSMB.002	SOPORTE DE RUEDA MOTRIZ	u	1.0	4000.0	4000.0
TSMB.003	ESTRUCTURA GENERAL DE SOPORTE	u	1.0	11600.0	11600.0
TSMB.004	RUEDAS GUÍAS (ESTACIÓN DE SALIDA)	u	16.0	330.0	5280.0
TSMB.005	SISTEMA DE TRANSMISIÓN	u	1.0	9500.0	9500.0
TSMB.006	SISTEMA MOTOR A DIESEL	u	1.0	15000.0	15000.0
TSMB.007	SISTEMA HIDRÁULICO	u	1.0	14840.0	14840.0
TSMB.008	SISTEMA DE CONTROL	u	1.0	3000.0	3000.0
TSMB.009	PARARRAYOS	u	1.0	2500.0	2500.0
TSMB.010	OBRA CIVIL DE LA ESTACIÓN DE SALIDA	u	1.0	21550.0	21550.0
<b>TORRES</b>					
TSMB.011	PRIMERA TORRE DIRECCIONAL (6m)	u	1.0	6000.0	6000.0
TSMB.012	SEGUNDA TORRE DIRECCIONAL (6m)	u	1.0	6000.0	6000.0
TSMB.013	TERCERA TORRE DIRECCIONAL (6m)	u	1.0	6000.0	6000.0
TSMB.014	CUARTA TORRE DIRECCIONAL (3m)	u	1.0	3200.0	3200.0
TSMB.015	TRENES DE POLEAS (8 RUEDAS)	u	8.0	2500.0	20000.0
TSMB.016	OBRA CIVIL DE LAS 4 TORRES	u	1.0	8500.0	8500.0
<b>ESTACIÓN DE LLEGADA</b>					
TSMB.017	RUEDA LOCA ESTACIÓN DE LLEGADA	u	1.0	12000.0	12000.0
TSMB.018	SOPORTE MÓVIL DE RUEDA LOCA	u	1.0	3000.0	3000.0
TSMB.019	ESTRUCTURA GENERAL DE SOPORTE	u	1.0	7200.0	7200.0
TSMB.020	RUEDAS GUÍAS (ESTACIÓN DE LLEGADA)	u	16.0	330.0	5280.0
TSMB.021	PARARRAYOS	u	1.0	2500.0	2500.0
TSMB.022	OBRA CIVIL ESTACIÓN DE LLEGADA	u	1.0	15000.0	15000.0
<b>SISTEMA DE SUJECCIÓN, SILLAS Y TELECOMUNICACIONES</b>					
TSMB.023	CABLE	u	1.0	46000.9	46000.9
TSMB.024	SILLAS DOBLES	u	8.0	2950.98	23607.84
TSMB.025	SISTEMA DE COMUNICACIONES	u	1.0	2000.0	2000.00
<b>GALVANIZADO DE SISTEMA ESTRUCTURAL</b>					
TSMB.026	GALVANIZADO	kg	13500	1.20	16200.00
				<b>TOTAL</b>	<b>295009.1</b>

Tabla 8.31 Presupuesto detallado del proyecto teleférico los bancos.



## CAPÍTULO 9

### 9 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 9.1 CONCLUSIONES

- La realización de la calificación de las juntas de soldadura es vital ya que las mismas están sometidas a grandes esfuerzos de trabajo, por lo que debe establecerse los procesos necesarios que garanticen la seguridad de las mismas.
- En base a recomendaciones técnicas se establece la velocidad de funcionamiento del sistema de un metro por segundo y una aceleración no mayor a un metro por segundo al cuadrado garantizando una vida útil del cable de ocho años, funcionando ocho horas diarias y trescientos días al año.
- Utilizando programas de diseño computacional se verifica el estado de carga simulando el funcionamiento estructural de los principales elementos constituyentes del teleférico, bajo las condiciones reales de trabajo.
- El dimensionamiento del cable garantiza la seguridad estática producida por las cargas de peso propio, de vehículos y de personas, así como la seguridad dinámica producido por el efecto de flexión al enrollarse en las ruedas de giro y cambio de dirección dado en los trenes de poleas.
- El diseño de los sistemas estructurales se realiza bajo el criterio de los esfuerzos admisibles, el mismo que es más conservador con respecto a otros métodos, pero que se adapta de mejor manera a los requerimientos de diseño necesarios para la construcción del teleférico.
- Durante el desarrollo del proyecto se puede apreciar que este tipo de sistemas está compuesto con una gran variedad elementos mecánicos vitales para el funcionamiento, por lo cual se analizaron en base a los estudios desarrollados durante el transcurso de la carrera.
- Las combinaciones de carga utilizadas en el análisis de los distintos sistemas constituyentes del teleférico se basan en hipótesis de diseño desarrolladas para cada estructura, debido a la variedad de forma y estados de carga

aplicados en cada caso, y con lo cual se determina la combinación de fuerzas de mayor criticidad en cada caso específico.

- Todas las partes constituyentes de los vehículos de transporte de personas, incluidos los sistemas de unión con el cable, se diseñan con factores de seguridad superiores a cuatro, de acuerdo con normativas internacionales para el diseño de teleféricos.
- El diseño del tren de poleas se realiza para garantizar la seguridad en caso de un evento de descarrilamiento del cable, internamente se evita mediante la forma del tren y externamente se cuenta con un sistema lateral de soporte que evita la caída del cable.
- Los materiales utilizados en el diseño se basan en catálogos de distribuidores nacionales facilitando su adquisición para la construcción.
- El diseño de las cimentaciones se realizó mediante la asesoría de un ingeniero civil, debido a la importancia que tienen estas estructuras en el sistema, garantizando la estabilidad de todos los componentes.
- El diseño del contrapeso conjuntamente con el carro móvil, se realiza para evitar que exista fatiga en el cable, por ciclos continuados de carga y descarga, de manera que se mantenga la tensión de trabajo.

## **9.2 RECOMENDACIONES**

- En el diseño de sistemas teleféricos debe tomarse en cuenta factores de seguridad elevados debido a las condiciones de funcionamiento y el grado de responsabilidad que este tipo de sistemas conlleva.
- En el análisis de elementos curvos mediante el programa SAP 2000, se debe realizar la simulación utilizando los elementos dados para tal fin, ya que realizar aproximaciones induce un error considerable en los resultados.
- Para garantizar el correcto funcionamiento y la seguridad del teleférico, se debe organizar un cronograma de inspección y mantenimiento.
- Con el fin de garantizar la funcionalidad y seguridad del sistema los procesos de soldadura deben estar de acuerdo con la norma D1.1, cumpliendo los parámetros establecidos en la misma.

- Detectada una Velocidad de Viento mayor a los 30Km/hora, el sistema teleférico deberá quedar inactivo, o se parará su operación en el caso de encontrarse funcionando, pese a que está diseñado para operar a velocidades mayores.
- Debe existir las protecciones e indicaciones de seguridad necesarias en todos los sistemas de transmisión, sistemas de motores eléctrico y emergente, sistema generador emergente, sistema de control, en los elementos y partes que presenten un alto riesgo, para operadores, mantenimiento y usuarios

## ANEXOS

## ANEXO 1. PROPIEDADES DEL CABLE SELECCIONADO



ORIGINAL

SALES OFFICE : Woosin Bldg. 7F, 646-15, Yeoksam-dong, Gangnam-gu, Seoul, 135-911, Korea  
 TEL : 82-2-3420-3500, FAX : 82-2-3420-3600, E-mail : sales@dsrcorp.com, http : //www.dsrcorp.com

FACTORY : TEL : 82-61-729-3500, FAX : 82-61-729-3600

## MILL TEST CERTIFICATE / CERTIFICATE OF INSPECTION

Certificate No:	201010 - 5702 - 14	DATE:	OCT. 26. 2010
Purchaser:	GOPELSA S.A.	P.O.No:	-
Reel No/Coil No:	62-63	L/C No:	P/I NO : GC5702
		INVOICE NO:	GC5702

## 1. TYPE &amp; GRADE

Construction:	6X19(S)+HWRC	Coating:	GALVANIZED
Diameter:	1 1/8 INCH	Grade:	EIPS
Length:	2,500 MTRS x 2R/L	Lay:	RHRL
Specification:	FS.RR-W-410F	Lubrication:	CLEAR/LIGHT LUBE( A-2 )

## 2. ROPE TEST RESULTS

Item	Nominal or Specified	Actual
Diameter	1 1/8 INCH	1.157 INCH
Breaking Strength	130,000 LBS	135,980 LBS
Lay Length	MAX 8 5/32 INCH	7 7/13 INCH
Preforming	GOOD	GOOD

## 3. WIRE TEST RESULTS

Item	Nominal or Specified	Actual
Diameter	0.0907 INCH	0.0907 INCH
Tensile Strength	253,000 PSI	262,686 PSI
Torsion	18	35
Weight of Coating	0.40 OZ/FT2	0.48 OZ/FT2

We hereby certify that the above results are true and correct in every detail.

## CHEMICAL ANALYSIS OF WIRE ROD

Charge No	Chemical Composition(%)				
	C	Si	Mn	P	S
SA 52585	0.72	0.21	0.46	0.01	0.005

Approval or Inspection Possibility

Quality Management Dept.



*S. Jung*  
Chief Inspector

## ANEXO 2. PROPIEDADES DEL ACERO A-588

### ASTM A588 HSLA Steel Grade A, Thickness < 100 mm (4 in.)

Categories: [Metal](#); [Ferrous Metal](#); [Alloy Steel](#); [Low Alloy Steel](#); [ASTM Steel](#)

**Material Notes:** HSLA (High-strength low-alloy) steels are used for their higher strength and atmospheric corrosion resistance. They can be considered to be microalloyed steel and are designed for mechanical rather than compositional specs. ASTM A588 has atmospheric corrosion resistance quadruple that of carbon steel. Used in welded, bolted, or riveted structures, especially bridges and buildings in which its strength and durability is required.

**Key Words:** UNS K11430

**Vendors:** No vendors are listed for this material. Please [click here](#) if you are a supplier and would like information on how to add your listing to this material.

Physical Properties	Metric	English	Comments
Density	7.87 g/cc	0.284 lb/in <sup>3</sup>	Typical of steel
Mechanical Properties	Metric	English	Comments
Tensile Strength at Break	>= 483 MPa	>= 70000 psi	Varies with size and form
Tensile Strength, Yield	>= 345 MPa	>= 50000 psi	Varies with size and form
Elongation at Break	>= 18.0 %	>= 18.0 %	in 200 mm (8 in.); Varies with size and form
	>= 21.0 %	>= 21.0 %	in 50 mm (2 in.); Varies with size and form
Modulus of Elasticity	205 GPa	29700 ksi	Typical of steel
Poissons Ratio	0.280	0.280	Calculated
Shear Modulus	80.0 GPa	11600 ksi	Typical of steel
Component Elements Properties	Metric	English	Comments
Carbon, C	0.10 - 0.19 %	0.10 - 0.19 %	
Chromium, Cr	0.40 - 0.65 %	0.40 - 0.65 %	
Copper, Cu	0.25 - 0.40 %	0.25 - 0.40 %	
Iron, Fe	97.0 - 98.2 %	97.0 - 98.2 %	As Balance
Manganese, Mn	0.90 - 1.25 %	0.90 - 1.25 %	
Phosphorous, P	<= 0.040 %	<= 0.040 %	
Silicon, Si	0.15 - 0.30 %	0.15 - 0.30 %	
Sulfur, S	<= 0.050 %	<= 0.050 %	
Vanadium, V	0.020 - 0.10 %	0.020 - 0.10 %	

[References](#) for this datasheet.

**Fuente:** <http://www.matweb.com/search/QuickText.aspx?SearchText=steel%20Astm%20588>

## ANEXO 3. PROPIEDADES DE LAS SECCIONES

### TUBERIA PARA VAPOR TUBERIA SIN COSTURA Y ACCESORIOS CEDULA 40

#### Especificaciones Generales

<b>Norma</b>	ASTM A53 GrB para conducción de fluidos
<b>Recubrimiento</b>	Negro o galvanizado
<b>Largo normal</b>	6.00m
<b>Otros largos</b>	Previa Consulta
<b>Acabado</b>	Natural
<b>Otro acabado</b>	Previa Consulta

#### Resistencia Mecánica

<b>Resistencia a la tracción</b>	60000 psi ( 42,2 Kg F/mm2)
<b>Límite de elasticidad</b>	35000 psi ( 24,6 Kg F/mm2)
<b>Alargamiento</b>	0.5%



DIAMETRO NOMINAL	EXTERIOR		ESPESOR		PRESION/PRUEBA		PESO
	mm	pulg	e	pulg	kg/cm2	lb/pulg2	kg/mt
			mm				
1/4"	13.70	0.54	2.24	0.08	49	700	0.63
3/8"	17.10	0.37	2.81	0.09	49	700	0.85
1/2"	21.30	0.84	2.77	0.10	49	700	1.27
3/4"	26.70	1.05	2.87	0.11	49	700	1.68
1"	33.40	1.31	3.38	0.13	49	700	2.50
1 1/4"	42.20	1.66	3.56	0.14	91	1300	3.38
1 1/2"	48.30	1.90	3.68	0.14	91	1300	4.05
2"	60.30	2.37	3.91	0.15	176	2500	5.44
2 1/2"	73.00	2.87	5.16	0.20	176	2500	8.62
3"	88.90	3.50	5.49	0.21	176	2500	11.29
4"	114.30	4.50	6.02	0.23	155	2210	16.07
5"	141.30	5.56	6.55	0.25	137	1950	21.78
6"	168.30	6.62	7.11	0.28	125	1780	28.26
8"	219.10	8.62	8.18	0.32	110	1570	42.53
10"	273.00	10.75	9.27	0.36	101	1430	60.29
12"	323.80	12.75	10.31	0.40	94	1340	79.65

Composición Química	Máximo porcentaje
Carbono	0.3
Manganeso	1.2
Fósforo	0.05
Azufre	0.06

Fuente: [http://www.dipacmanta.com/images/pdf/descargas/catalogo\\_completo\\_dipac.pdf](http://www.dipacmanta.com/images/pdf/descargas/catalogo_completo_dipac.pdf)



## ANEXO 4. ESPECIFICACIONES GENERALES DE ÁNGULO EN L (PERFIL ESTRUCTURAL)

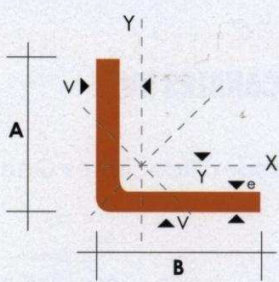
**DISERVICIOS**

**DIPAC®**  
PRODUCTOS DE ACERO

**ANGULOS "L" DOBLADO**

**PERFILES ESTRUCTURALES**  
**ANGULOS "L" DOBLADO**  
Especificaciones Generales

Otras calidades: Previa consulta  
 Largo normal: 6,0m  
 Otros largos: Previa consulta  
 Espesores: Desde 1,5mm hasta 12,0mm  
 Acabado: Natural  
 Otro acabado: Previa consulta






DIMENSIONES			PESOS			SECCION	EJE X-X		EJE Y-Y		EJE U-U	EJE V-V
A	B	e	6 metros	1 metro	I		W	i	X=Y	i	i	
mm	mm	mm	Kg	Kg	cm <sup>2</sup>	cm <sup>4</sup>	cm <sup>3</sup>	cm	cm	cm	cm	
25	25	2	4.38	0.73	0.93	0.57	0.32	0.78	0.72	0.99	0.47	
25	25	3	6.36	1.06	1.35	0.79	0.44	0.76	0.77	0.98	0.44	
30	30	2	5.34	0.89	1.13	1.00	0.46	0.94	0.84	1.20	0.58	
30	30	3	7.80	1.30	1.65	1.41	0.67	0.92	0.89	1.18	0.55	
30	30	4	10.08	1.68	2.14	1.80	0.88	0.92	0.94	1.17	0.52	
40	40	2	7.20	1.20	1.53	2.44	0.84	1.26	1.09	1.61	0.78	
40	40	3	10.62	1.77	2.25	3.50	1.22	1.25	1.14	1.59	0.76	
40	40	4	13.86	2.31	2.94	4.46	1.58	1.23	1.19	1.58	0.78	
40	40	5	19.62	2.82	3.59	5.31	1.91	1.22	1.23	0.73	0.73	
50	50	2	9.12	1.52	1.93	4.86	1.33	1.58	1.34	2.01	0.98	
50	50	3	13.44	2.24	2.85	7.03	1.95	1.57	1.39	2.00	0.96	
50	50	4	17.64	2.94	3.74	9.04	2.53	1.56	1.43	1.98	0.94	
50	50	5	21.60	3.60	4.59	10.88	3.09	1.54	1.48	1.97	0.93	
50	50	6	25.92	4.32	5.40	12.57	3.62	1.53	1.53	1.96	0.90	
60	60	3	16.26	2.71	3.45	12.37	2.84	1.89	1.64	2.41	1.16	
60	60	4	21.36	3.56	4.54	16.00	3.71	1.88	1.68	2.39	1.15	
60	60	5	26.34	4.39	5.59	19.40	4.54	1.86	1.73	2.38	1.13	
60	60	6	31.68	5.28	6.60	22.56	5.35	1.85	1.78	2.37	1.11	
60	60	8	41.04	6.84	8.55	28.21	6.85	1.82	1.88	2.34	1.05	
75	75	3	19.56	3.26	4.35	24.60	4.48	2.38	2.01	3.02	1.48	
75	75	4	27.06	4.51	5.74	32.02	5.88	2.36	2.06	3.00	1.45	
75	75	5	33.42	5.57	7.09	39.08	7.25	2.35	2.11	2.99	1.43	
75	75	6	40.32	6.72	8.40	45.76	8.57	2.33	2.16	2.97	1.40	
75	75	8	52.56	8.76	10.95	58.03	11.05	2.30	2.25	2.95	1.37	
75	75	10	64.92	10.82	13.36	68.89	13.38	2.27	2.35	2.92	1.32	
80	80	4	28.92	4.82	6.14	39.10	6.72	2.52	2.18	3.21	1.56	
80	80	5	35.76	5.96	7.59	47.79	8.28	2.51	2.23	3.20	1.54	
80	80	6	43.20	7.20	9.00	56.05	9.80	2.49	2.28	3.18	1.51	
80	80	8	56.40	9.40	11.75	71.32	12.67	2.46	2.37	3.16	1.46	
80	80	10	68.94	11.49	14.36	84.94	15.36	2.43	2.47	3.13	1.43	
80	80	12	81.78	13.63	16.83	97.05	17.87	2.40	2.57	3.10	1.38	

También en galvanizado e inoxidable - Medidas Especiales Bajo Pedido.



## ANEXO 5. ESPECIFICACIONES GENERALES PARA MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN.

### PLANCHAS LAMINADAS AL CALIENTE


#### Especificaciones Generales

**Norma** Ver tabla

**Espesores** 1.20mm a 100.00mm

**Rollos** Ancho 1000mm,1220mm,1500mm,1800mm

**Planchas** 4 x 8 pies y a medida



PLANCHAS

#### Calidad Comercial

NORMA	COMPOSICION QUIMICA							PROPIEDADES MECANICAS				NORMA EQUIVALENTE
	% C	%MN	%P	%S	%SI	%AL	%CU	Esfuerzo Máximo (Mpa)	Alargamiento %	Doblado 180°		
JIS G3131 SPHC	0,08 0,13	0,3 0,6	0,02 max	0,025 max	0,05 max	0,02 0,08	0,2 max	270 min	29 min	0= Oe	SAE 1010 ASTM A-569	
SAE 1008	0,03 0,1	0,25 0,5	0,02 max	0,025 max	0,04 max	0,02 0,08	0,2 max				JIS G3132 SPHT1	
SAE 1012	0,1 0,15	0,3 0,6	0,02 max	0,025 max	0,03 max	0,02 0,08	0,2 max				ASTM A-635 ASTM A-570 GRADO 33	

#### Calidad Estructural

NORMA	COMPOSICION QUIMICA							PROPIEDADES MECANICAS					NORMA EQUIVALENTE
	% C	%MN	%P	%S	%SI	%CU	OTROS	Fluencia (Mpa)	Esfuerzo Máximo (Mpa)	Alargamiento %	Doblado 180°		
ASTM A-588M GRADO A	0,19 max	0,8 1,25	0,04 max	0,05 max	0,3 0,6	0,25 0,40	Ni 0,15-0,35 Cr 0,40-0,65 V 0,02-0,10	345 min	485 min	18 min			
ASTM A-283 GRADO C	0,12 0,18	0,3 0,6	0,025 max	0,03 max	0,04 max	0,2 max		205 min	380 516 max	25 min	0=1,5e	SAE 1015	
JIS G-3101 SS41 M	0,17 0,23	0,3 0,6	0,025 max	0,025 max	0,04 max	0,25 max		250 min	400 min 550 max	21 min		SAE 1020 ASTM A-36 ASTM A-570 GRADO 36	
A 36	0,25 0,29	0,80 1,2	0,04 max	0,05 max	0,4 max	0,20 max		250 min	400 min 550 max	20 min			
A570-GR50	0,25	1,35 max	0,035 max	0,04 max				340 min	450 min 550 max	17 min	1-1/2e		



## ANEXO 6. ESFUERZOS PERMISIBLES PARA MIEMBROS EN COMPRESIÓN EN ACERO A-36.

		Allowable Stress For Compression Members of 36-ksi Specified Yield Stress Steel <sup>a</sup>									
		$\frac{Kl}{r}$	$F_c$ (ksi)	$\frac{Kl}{r}$	$F_c$ (ksi)	$\frac{Kl}{r}$	$F_c$ (ksi)	$\frac{Kl}{r}$	$F_c$ (ksi)	$\frac{Kl}{r}$	$F_c$ (ksi)
<b><math>F_y = 36</math> ksi</b>	1	21.56	41	19.11	81	15.24	121	10.14	161	5.76	
	2	21.52	42	19.03	82	15.13	122	9.99	162	5.69	
	3	21.48	43	18.95	83	15.02	123	9.85	163	5.62	
	4	21.44	44	18.86	84	14.90	124	9.70	164	5.55	
	5	21.39	45	18.78	85	14.79	125	9.55	165	5.49	
	6	21.35	46	18.70	86	14.67	126	9.41	166	5.42	
	7	21.30	47	18.61	87	14.56	127	9.26	167	5.35	
	8	21.25	48	18.53	88	14.44	128	9.11	168	5.29	
	9	21.21	49	18.44	89	14.32	129	8.97	169	5.23	
	10	21.16	50	18.35	90	14.20	130	8.84	170	5.17	
	11	21.10	51	18.26	91	14.09	131	8.70	171	5.11	
	12	21.05	52	18.17	92	13.97	132	8.57	172	5.05	
	13	21.00	53	18.08	93	13.84	133	8.44	173	4.99	
	14	20.95	54	17.99	94	13.72	134	8.32	174	4.93	
	15	20.89	55	17.90	95	13.60	135	8.19	175	4.88	
	16	20.83	56	17.81	96	13.48	136	8.07	176	4.82	
	17	20.78	57	17.71	97	13.35	137	7.96	177	4.77	
	18	20.72	58	17.62	98	13.23	138	7.84	178	4.71	
	19	20.66	59	17.53	99	13.10	139	7.73	179	4.66	
	20	20.60	60	17.43	100	12.98	140	7.62	180	4.61	
	21	20.54	61	17.33	101	12.85	141	7.51	181	4.56	
	22	20.48	62	17.24	102	12.72	142	7.41	182	4.51	
	23	20.41	63	17.14	103	12.59	143	7.30	183	4.46	
	24	20.35	64	17.04	104	12.47	144	7.20	184	4.41	
	25	20.28	65	16.94	105	12.33	145	7.10	185	4.36	
	26	20.22	66	16.84	106	12.20	146	7.01	186	4.32	
	27	20.15	67	16.74	107	12.07	147	6.91	187	4.27	
	28	20.08	68	16.64	108	11.94	148	6.82	188	4.23	
	29	20.01	69	16.53	109	11.81	149	6.73	189	4.18	
	30	19.94	70	16.43	110	11.67	150	6.64	190	4.14	
	31	19.87	71	16.33	111	11.54	151	6.55	191	4.09	
	32	19.80	72	16.22	112	11.40	152	6.46	192	4.05	
	33	19.73	73	16.12	113	11.26	153	6.38	193	4.01	
	34	19.65	74	16.01	114	11.13	154	6.30	194	3.97	
	35	19.58	75	15.90	115	10.99	155	6.22	195	3.93	
	36	19.50	76	15.79	116	10.85	156	6.14	196	3.89	
	37	19.42	77	15.69	117	10.71	157	6.06	197	3.85	
	38	19.35	78	15.58	118	10.57	158	5.98	198	3.81	
	39	19.27	79	15.47	119	10.43	159	5.91	199	3.77	
	40	19.19	80	15.36	120	10.28	160	5.83	200	3.73	

Fuente: AISC; Manual of Steel Construction; Octava edición; USA; 1980; Appendix A Pág. 5-74.

## ANEXO 7. ESPECIFICACIONES DEL PIÑÓN.

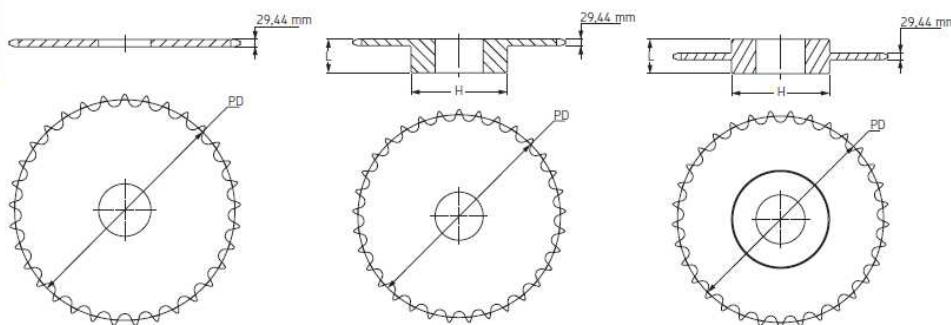


### Piñones métricos

Sencillos  
Agujero en bruto



ISO 28B-1 Paso de 44,45 mm



Tipo A

Tipo B

Tipo C

Agujero en bruto, Tipo B/C – Acero/Fundición Tipo A - Acero

Nº de dientes	Diámetro primitivo (PD) mm	Tipo	Agujero		Cubo		Peso kg	Designación	Nº de dientes	Diámetro primitivo (PD) mm	Tipo	Agujero		Peso kg	Designación
			Mín. mm	Máx. mm	H mm	L mm						Estándar mm			
11	157,77	B	25	73	112	70	5,27	PHS 28B-1B11	11	157,77	A	20	3,18	PHS 28B-1A11	
12	171,74	B	25	84	125	70	6,40	PHS 28B-1B12	12	171,74	A	20	3,95	PHS 28B-1A12	
13	185,74	B	25	93	125	70	8,22	PHS 28B-1B13	13	185,74	A	20	4,31	PHS 28B-1A13	
14	199,76	B	25	93	125	70	9,13	PHS 28B-1B14	14	199,76	A	20	4,77	PHS 28B-1A14	
15	213,79	B	25	108	125	70	11,40	PHS 28B-1B15	15	213,79	A	20	5,45	PHS 28B-1A15	
16	227,84	B	30	108	160	75	12,76	PHS 28B-1B16	16	227,84	A	30	6,81	PHS 28B-1A16	
17	241,91	B	30	108	160	75	13,65	PHS 28B-1B17	17	241,91	A	30	7,71	PHS 28B-1A17	
18	255,98	B	30	108	160	75	13,65	PHS 28B-1B18	18	255,98	A	30	8,63	PHS 28B-1A18	
19	270,06	B	30	108	160	75	15,01	PHS 28B-1B19	19	270,06	A	30	9,53	PHS 28B-1A19	
20	284,14	B	30	108	160	75	16,84	PHS 28B-1B20	20	284,14	A	30	10,44	PHS 28B-1A20	
21	298,24	B	30	108	160	75	18,19	PHS 28B-1B21	21	298,24	A	30	11,79	PHS 28B-1A21	
22	312,34	B	30	108	160	75	19,11	PHS 28B-1B22	22	312,34	A	30	13,17	PHS 28B-1A22	
23	326,44	B	30	108	160	75	20,46	PHS 28B-1B23	23	326,44	A	30	14,06	PHS 28B-1A23	
24	340,54	B	30	108	160	75	21,84	PHS 28B-1B24	24	340,54	A	30	15,44	PHS 28B-1A24	
25	354,65	B	30	108	160	75	22,73	PHS 28B-1B25	25	354,65	A	30	16,78	PHS 28B-1A25	
26	368,77	B	30	108	160	75	26,83	PHS 28B-1B26	26	368,77	A	30	18,61	PHS 28B-1A26	
27	382,88	B	30	108	160	75	27,74	PHS 28B-1B27	27	382,88	A	30	20,43	PHS 28B-1A27	
28	397,00	B	30	108	160	75	30,29	PHS 28B-1B28	28	397,00	A	30	20,88	PHS 28B-1A28	
30	425,24	B	30	108	160	75	32,73	PHS 28B-1B30	30	425,24	A	30	25,17	PHS 28B-1A30	
32	453,49	B	30	134	180	75	34,84	PHS 28B-1B32	32	453,49	A	30	31,02	PHS 28B-1A32	
38	538,27	B	30	134	180	75	51,25	PHS 28B-1B38	38	538,27	A	30	48,58	PHS 28B-1A38	
40	566,54	C	30	134	180	75	52,84	PHS 28B-1C40	40	566,54	A	30	52,80	PHS 28B-1A40	
42	594,81	C	30	134	180	90	54,43	PHS 28B-1C42	42	594,81	A	30	57,02	PHS 28B-1A42	
45	637,22	C	30	134	180	90	60,55	PHS 28B-1C45	45	637,22	A	30	63,35	PHS 28B-1A45	
48	679,63	C	30	134	180	90	62,72	PHS 28B-1C48	48	679,63	A	30	69,68	PHS 28B-1A48	
54	764,47	C	30	134	180	100	74,60	PHS 28B-1C54	54	764,47	A	30	82,34	PHS 28B-1A54	
57	806,89	C	30	134	180	100	81,77	PHS 28B-1C57	57	806,89	A	40	88,67	PHS 28B-1A57	
60	849,32	C	30	134	180	100	88,94	PHS 28B-1C60	60	849,32	A	40	97,97	PHS 28B-1A60	
68	962,47	C	30	137	180	100	108,05	PHS 28B-1C68	68	962,47	A	40	122,79	PHS 28B-1A68	
72	1019,04	C	30	137	180	100	117,61	PHS 28B-1C72	72	1019,04	A	40	135,19	PHS 28B-1A72	
76	1075,62	C	30	137	180	100	127,17	PHS 28B-1C76	76	1075,62	A	40	147,60	PHS 28B-1A76	
95	1344,39	C	30	137	180	100	172,57	PHS 28B-1C95	95	1344,39	A	40	206,53	PHS 28B-1A95	

Los agujeros máximos pueden incorporar chavetas estándar. Existen agujeros más grandes para chavetas superficiales o cuando no se requiere una chaveta.

Para los dientes de piñones templados, añada una "H" después de la identificación del diseño del piñón, p.e.i. PHS 08B-1AH8.

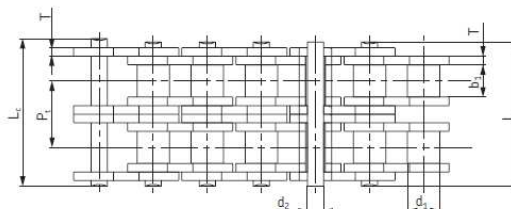
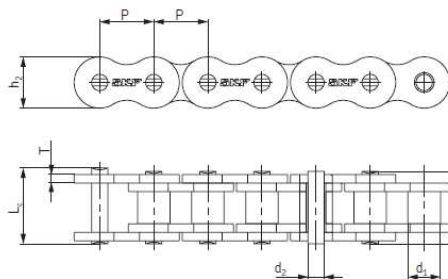
Fuente: <http://www.skf.com/files/870049.pdf>

## ANEXO 8. ESPECIFICACIONES DE LA CADENA DE RODILLOS PARA LA TRANSMISIÓN.



### Cadenas de rodillos

ANSI para trabajos pesados



Nº de cadena ANSI	Nº de cadena BS/ISO	Paso P	Diámetro de los rodillos		Anchura entre las placas interiores b <sub>1</sub> Máx.	Diámetro del pasador		Longitud del pasador		Longitud del pasador enchavetado L <sub>1</sub> Máx.	Altura de la placa interior h <sub>2</sub> Máx.	Grosor de la placa T Máx.	Paso transversal Pt	Resistencia última a tracción Q Min.	Resistencia media a tracción Q <sub>0</sub>	Peso por metro q	Designación
			d <sub>1</sub> Máx.	d <sub>2</sub> Máx.		L Máx.	L <sub>2</sub> Máx.										
35H-1*	-	9,525	5,08	4,77	3,58	13,3	14,3	-	9,0	1,50	-	7,9	10,8	0,41	PHC 35H-1...		
40H-1	08AH-1	12,700	7,95	7,85	3,96	18,8	19,9	-	12,00	2,03	-	14,1	19,1	0,82	PHC 40H-1...		
50H-1	10AH-1	15,875	10,16	9,40	5,08	22,1	23,4	24,4	15,09	2,42	-	22,2	30,2	1,25	PHC 50H-1...		
60H-1	12AH-1	19,050	11,91	12,57	5,94	29,2	31,0	31,6	18,00	3,25	-	31,8	42,7	1,87	PHC 60H-1...		
80H-1	16AH-1	25,400	15,88	15,75	7,92	36,2	37,7	39,4	24,00	4,00	-	56,7	71,4	3,10	PHC 80H-1...		
100H-1	20AH-1	31,750	19,05	18,90	9,53	43,6	46,9	46,9	30,00	4,80	-	88,5	112,4	4,52	PHC 100H-1...		
120H-1	24AH-1	38,100	22,23	25,22	11,10	53,5	57,5	57,5	35,70	5,60	-	127,0	160,9	6,60	PHC 120H-1...		
140H-1	28AH-1	44,450	25,40	25,22	12,70	57,6	62,2	62,2	41,00	6,40	-	172,4	217,3	8,30	PHC 140H-1...		
160H-1	32AH-1	50,800	28,58	31,55	14,27	68,2	73,0	73,0	47,80	7,20	-	226,8	285,8	10,30	PHC 160H-1...		
180H-1	36AH-1	57,150	35,71	35,48	17,46	75,9	81,6	-	53,60	8,0	-	281,0	341,8	14,83	PHC 180H-1...		
200H-1	40AH-1	63,500	39,68	37,85	19,85	86,6	93,5	93,5	60,00	9,50	-	353,8	444,5	19,16	PHC 200H-1...		
240H-1	48AH-1	76,200	47,63	47,35	23,81	109,6	115,9	-	72,30	12,70	-	510,3	622,5	30,4	PHC 240H-1...		
60H-2	12AH-2	19,050	11,91	12,57	5,94	55,3	57,1	57,7	18,00	3,25	26,11	63,6	84,5	3,71	PHC 60H-2...		
80H-2	16AH-2	25,400	15,88	15,75	7,92	68,8	70,3	72,0	24,00	4,00	32,59	113,4	145,3	6,15	PHC 80H-2...		
100H-2	20AH-2	31,750	19,05	18,90	9,53	82,7	86,0	86,0	30,00	4,80	39,09	177,0	225,9	9,03	PHC 100H-2...		
120H-2	24AH-2	38,100	22,23	25,22	11,10	102,4	106,4	106,4	35,70	5,60	48,87	254,0	322,7	13,13	PHC 120H-2...		
140H-2	28AH-2	44,450	25,40	25,22	12,70	109,8	114,4	114,4	41,00	6,40	52,20	344,8	437,7	16,60	PHC 140H-2...		
160H-2	32AH-2	50,800	28,58	31,55	14,27	130,1	134,9	134,9	47,80	7,20	61,90	453,6	571,6	20,20	PHC 160H-2...		
200H-2	40AH-2	63,500	39,68	37,85	19,85	164,9	171,8	171,8	60,00	9,50	78,31	707,6	894,9	38,11	PHC 200H-2...		
60H-3	12AH-3	19,050	11,91	12,57	5,94	81,4	83,2	83,8	18,00	3,25	26,11	95,4	113,9	5,54	PHC 60H-3...		
80H-3	16AH-3	25,400	15,88	15,75	7,92	101,4	102,9	104,6	24,00	4,00	32,59	170,1	203,5	9,42	PHC 80H-3...		
100H-3	20AH-3	31,750	19,05	18,90	9,53	121,8	125,1	125,1	30,00	4,80	39,09	265,5	314,8	12,96	PHC 100H-3...		
120H-3	24AH-3	38,100	22,23	25,22	11,10	151,2	155,2	155,2	35,70	5,60	48,87	381,0	444,7	19,64	PHC 120H-3...		
140H-3	28AH-3	44,450	25,40	25,22	12,70	162,0	166,6	166,6	41,00	6,40	52,20	517,2	598,4	24,90	PHC 140H-3...		
160H-3	32AH-3	50,800	28,58	31,55	14,27	192,0	196,8	196,8	47,80	7,20	61,90	680,4	787,3	30,10	PHC 160H-3...		
200H-3	40AH-3	63,500	39,68	37,85	19,85	243,2	250,1	250,1	60,00	9,50	78,31	1061,4	1228,2	57,06	PHC 200H-3...		

\* Casquillo del pasador; d<sub>2</sub> indica el diámetro externo del casquillo.

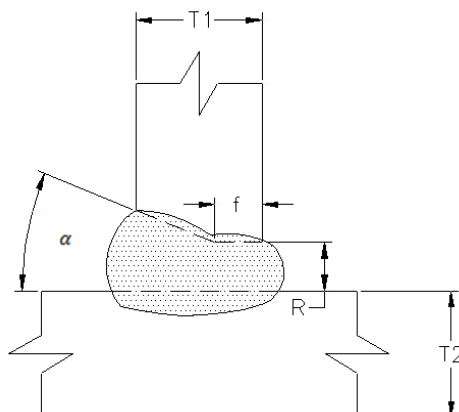
Para cadenas enchavetadas añadida una "C" después del número de hileras. Por ejemplo 160H-1 con un pasador enchavetado lleva la designación PHC 160H-1C... Las longitudes estándar son de 10 pies/5 m. Para completar la designación, añadida la longitud de la cadena. Por ejemplo, una caja de 5 m de tipo 160H-1 sería PHC 160H-1X5MTR. Para los eslabones, añadida "C/L" para los de "unión" y "O/L" para las "medias mallas cortas" a la designación que se muestra en la tabla.

## ANEXO 9. PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA (WPS)

<p><b>Nombre de la compañía:</b> EPN  <b>Proyecto:</b> Tesis Teleférico San Miguel de los Bancos  <b>WPS Precalificado</b> Si: X No:</p>	<p><b>No Identificación:</b> 001-07-2012  <b>Realizado por:</b>  Cristhian Loayza  Daniel Zapata</p>
<p><b>Junta Utilizada</b>  Soldadura a: Un lado X Dos lados  Respaldo: Si No X  Preparar Junta: Si X No  Método: Oxicorte y/o Amoladora  Bisel: ½ V  Abertura raíz: 3 mm (+2,-0)  Ángulo de bisel: 45°(+10°,-0°)  Talón: 2mm(+2,-0)</p>	<p><b>Técnica de Soldadura</b>  Procesos de Soldadura: SMAW  Tipo de Soldadura:  Manual X Automática  Posición de Soldadura: 2F  Técnica:  Un pase Varios pases X  Tiempo entre pases:  Limpieza:  Pase de raíz: Amoladora  Pases siguientes: Cepillo Metálico</p>
<p><b>Metal Base</b>  Especificación: ASTM A36  Espesor: T1 = 3 – 10 mm, T2 = 3 - 10 mm</p>	<p><b>Notas</b></p> <p>La soldadura se realiza desde un solo lado</p> <p>La soldadura debe aplicarse en todo el eje longitudinal.</p> <p>Firma:</p>
<p><b>Metal de Aporte</b>  Marca electrodo: LINCOLN.  Denominación Comercial: GRICON 15</p> <p>Denominación AWS: SFA-5.1  E7018</p> <p>Diámetros: 3.25 mm</p>	
<p><b>Precalentamiento</b>  Si No X  Temp. de precalentamiento:  Temp. entre pases: Min Max</p>	

# de Pases	Metal de aporte		Corriente		Tensión de Trabajo [V]	Vel. De avance en m/min
	Clase	Diámetro [mm]	Tipo y Polaridad	Amp. [A]		
1	E6010	3.25	DC+	75-120	25	0.6
2-n	E7018	3.25	AC, DC+	90-140	25	0.6

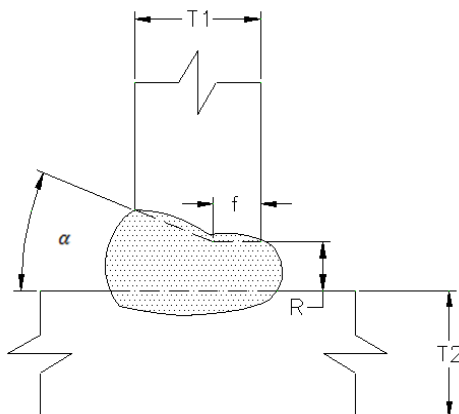
### Detalle de la Junta



<b>Nombre de la compañía:</b> EPN <b>Proyecto:</b> Tesis Teleférico San Miguel de los Bancos <b>WPS Precalificado Si:</b> X <b>No:</b>	<b>No Identificación:</b> 002-07-2012 <b>Realizado por:</b> Cristhian Loayza Daniel Zapata
<b>Junta Utilizada</b> Soldadura a: Un lado X    Dos lados Respaldo: Si    No X Preparar Junta: Si X    No Método: Oxicorte y/o Amoladora Bisel: $\frac{1}{2} V$ Abertura raíz: 3 mm (+2,-0) Ángulo de bisel: $45^{\circ}(+10^{\circ},-0^{\circ})$ Talón: 2mm(+2,-0)	<b>Técnica de Soldadura</b> Procesos de Soldadura: SMAW Tipo de Soldadura: Manual X    Automática Posición de Soldadura: 3F, Vertical Ascendente Técnica: Un pase    Varios pases X Tiempo entre pases: Limpieza: Pase de raíz: Amoladora Pases siguientes: Cepillo Metálico
<b>Metal Base</b> Especificación: ASTM A36 Espesor: T1 = 3 – 10 mm, T2 = 3 - 10 mm	<b>Notas</b>  La soldadura se realiza desde un solo lado  La soldadura debe aplicarse en todo el eje longitudinal.  Firma:
<b>Metal de Aporte</b> Marca electrodo: LINCOLN. Denominación Comercial: GRICON 15  Denominación AWS: SFA-5.1 E7018 Diámetros: 3.25 mm	
<b>Precalentamiento</b> Si    No    X Temp. de precalentamiento: Temp. entre pases: Min    Max	

# de Pases	Metal de aporte		Corriente		Tensión de Trabajo [V]	Vel. De avance en m/min
	Clase	Diámetro [mm]	Tipo y Polaridad	Amp. [A]		
1	E6010	3.25	DC+	75-120	25	0.6
2-n	E7018	3.25	AC, DC+	90-140	25	0.6

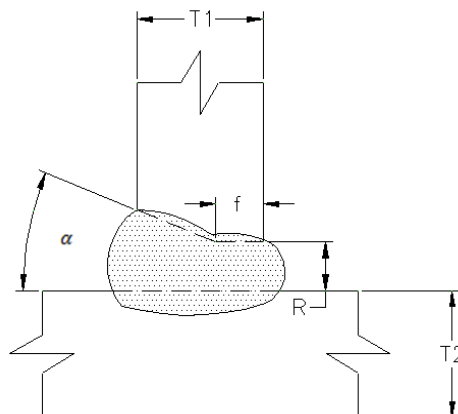
### Detalle de la Junta



<b>Nombre de la compañía:</b> EPN <b>Proyecto:</b> Tesis Teleférico San Miguel de los Bancos <b>WPS Precalificado</b> Si: X No:	<b>No Identificación:</b> 003-07-2012 <b>Realizado por:</b> Cristhian Loayza Daniel Zapata
<b>Junta Utilizada</b> Soldadura a: Un lado X Dos lados Respaldo: Si No X Preparar Junta: Si X No Método: Oxicorte y/o Amoladora Bisel: $\frac{1}{2} V$ Abertura raíz: 3 mm (+2,-0) Ángulo de bisel: $45^{\circ}(+10^{\circ},-0^{\circ})$ Talón: 2mm(+2,-0)	<b>Técnica de Soldadura</b> Procesos de Soldadura: SMAW Tipo de Soldadura: Manual X Automática Posición de Soldadura: 5F Técnica: Un pase Varios pases X Tiempo entre pases: Limpieza: Pase de raíz: Amoladora Pases siguientes: Cepillo Metálico
<b>Metal Base</b> Especificación: ASTM A588 Espesor: T1 = 3 – 10 mm, T2 = 3 - 10 mm Diámetro: >600 mm	<b>Notas</b>  La soldadura se realiza desde un solo lado  La soldadura debe aplicarse en todo el eje longitudinal.  Firma:
<b>Metal de Aporte</b> Marca electrodo: LINCOLN. Denominación Comercial: GRICON 15  Denominación AWS: SFA-5.1 E7018 Diámetros: 3.25 mm	
<b>Precalentamiento</b> Si No X Temp. de precalentamiento: Temp. entre pases: Min Max	

# de Pases	Metal de aporte		Corriente		Tensión de Trabajo [V]	Vel. De avance en m/min
	Clase	Diámetro [mm]	Tipo y Polaridad	Amp. [A]		
1	E6010	3.25	DC+	75-120	25	0.6
2-n	E7018	3.25	AC, DC+	90-140	25	0.6

### Detalle de la Junta

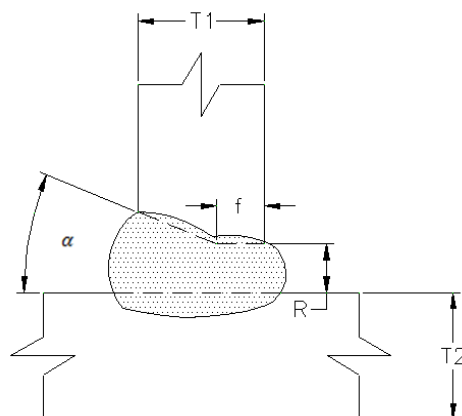




<b>Nombre de la compañía:</b> EPN <b>Proyecto:</b> Tesis Teleférico San Miguel de los Bancos <b>WPS Precalificado Si:</b> X <b>No:</b>	<b>No Identificación:</b> 004-07-2012 <b>Realizado por:</b> Cristhian Loayza Daniel Zapata
<b>Junta Utilizada</b> Soldadura a: Un lado X    Dos lados Respaldo: Si    No X Preparar Junta: Si X    No Método: Oxicorte y/o Amoladora Bisel: $\frac{1}{2} V$ Abertura raíz: 3 mm (+2,-0) Ángulo de bisel: $45^{\circ}(+10^{\circ},-0^{\circ})$ Talón: 2mm(+2,-0)	<b>Técnica de Soldadura</b> Procesos de Soldadura: SMAW Tipo de Soldadura: Manual X    Automática Posición de Soldadura: 5F Técnica: Un pase    Varios pases X Tiempo entre pases: Limpieza: Pase de raíz: Amoladora Pases siguientes: Cepillo Metálico
<b>Metal Base</b> Especificación: ASTM A588 Espesor: T1 = 3 – 10 mm, T2 = 3 - 10 mm Diámetro: <600 mm	<b>Notas</b>  La soldadura se realiza desde un solo lado  La soldadura debe aplicarse en todo el eje longitudinal.  Firma:
<b>Metal de Aporte</b> Marca electrodo: LINCOLN. Denominación Comercial: GRICON 15  Denominación AWS: SFA-5.1 E7018 Diámetros: 3.25 mm	
<b>Precalentamiento</b> Si    No    X Temp. de precalentamiento: Temp. entre pases: Min    Max	

# de Pases	Metal de aporte		Corriente		Tensión de Trabajo [V]	Vel. De avance en m/min
	Clase	Diámetro [mm]	Tipo y Polaridad	Amp. [A]		
1	E6010	3.25	DC+	75-120	25	0.6
2-n	E7018	3.25	AC, DC+	90-140	25	0.6

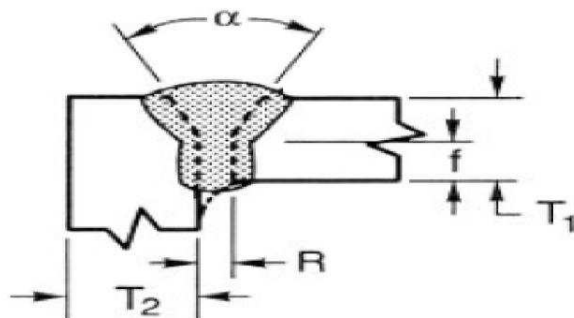
### Detalle de la Junta



<b>Nombre de la compañía:</b> EPN <b>Proyecto:</b> Tesis Teleférico San Miguel de los Bancos <b>WPS Precalificado</b> Si: X No:	<b>No Identificación:</b> 005-07-2012 <b>Realizado por:</b> Cristhian Loayza Daniel Zapata
<b>Junta Utilizada</b> Soldadura a: Un lado X Dos lados Respaldo: Si No X Preparar Junta: Si X No Método: Oxicorte y/o Amoladora Bisel: V Abertura raíz: 3 mm (+2,-0) Ángulo de bisel: 60° (+10°,-0°) Talón: 2mm (+2,-0)	<b>Técnica de Soldadura</b> Procesos de Soldadura: SMAW Tipo de Soldadura: Manual X Automática Posición de Soldadura: 5G Técnica: Un pase Varios pases X Tiempo entre pases: Limpieza: Pase de raíz: Amoladora Pases siguientes: Cepillo Metálico
<b>Metal Base</b> Especificación: ASTM A53 Gr B Espesor: T1 = 3 – 10 mm, T2 = 3 - 10 mm Diámetro: < 600 mm	<b>Notas</b>  La soldadura se realiza desde un solo lado  La soldadura debe aplicarse en todo el eje longitudinal.  Firma:
<b>Metal de Aporte</b> Marca electrodo: LINCOLN. Denominación Comercial: GRICON 15  Denominación AWS: SFA-5.1 E7018 Diámetros: 3.25 mm	
<b>Precalentamiento</b> Si No X Temp. de precalentamiento: Temp. entre pases: Min Max	

# de Pases	Metal de aporte		Corriente		Tensión de Trabajo [V]	Vel. De avance en m/min
	Clase	Diámetro [mm]	Tipo y Polaridad	Amp. [A]		
1	E6010	3.25	DC+	75-120	25	0.6
2-n	E7018	3.25	AC, DC+	90-140	25	0.6

### Detalle de la Junta





## BIBLIOGRAFÍA

### TESIS

- PARRA, LUIS; “Diseño de un Sistema de cabinas Teleféricas para Recorrido Turístico”; EPN.
- ARMIJOS M., RAMÍREZ R; “Diseño de un teleférico turístico de 2000m de longitud ubicado en la colonia de los Llanganates de la parroquia rio negro, Cantón Baños, provincia de Tungurahua”; Tesis EPN; 2009.
- MOROCHZ C; “Estudio de impacto ambiental y levantamiento de línea base biológico del barrio 6 de diciembre y balneario de La Sucia, ubicado en el cantón San Miguel de los Bancos”; 2011.
- SARAUZ J., TIRIRA A.; “Diseño y construcción de una máquina para la elaboración de tortillas de harina de trigo para la empresa taquito’s”; Tesis FIM-EPN; 2011.
- FLORES M., LARA O.; “Diseño y construcción de un teleférico turístico en la ciudad de Montecristi”; Tesis FIM-EPN; 2008.

### LIBROS

- RODAMIENTOS FAG; Catálogo WL 41 520/3 SB; Edición 2000; España.
- Normas técnicas complementarias para diseño por viento; INIFED; México; 2011
- Código Ecuatoriano de la Construcción
- Code of practice on the design, manufacture and installation of aerial ropeways, 2002 edition
- SHIGLEY JOSEPH; “Manual de diseño mecánico”; Editorial Limusa; Octava edición, México, 2008.
- LEONTOVICH VALERIAN; “Pórticos y arcos”; Editorial Continental S.A.; Sexta Edición; México; 1974.
- AISC; “Manual of Steel Construction”; Octava edición; USA; 1980.

**INTERNET**

- <http://superiortramway.com/parts/sb-54.pdf>
- <http://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/827/3/CAPITULO2.pdf>
- <http://blog.travelpod.com/travel-photo/nadineandduncan/1/1251632566/el-teleferico.jpg/tpod.html>
- <http://www.skyscrapercity.com/showthread.php?t=1045579>
- [http://www.espe.edu.ec/portal/files/sitiocongreso/congreso/2007/C\\_TIERRA/DCT12.pdf](http://www.espe.edu.ec/portal/files/sitiocongreso/congreso/2007/C_TIERRA/DCT12.pdf)
- [http://www.mapfre.com/documentacion/publico/i18n/catalogo\\_imagenes/grupo.cmd?path=1036794](http://www.mapfre.com/documentacion/publico/i18n/catalogo_imagenes/grupo.cmd?path=1036794)
- <http://www.castem.com.pe/manual-de-anclaje.pdf>
- [http://www.lancuyen.cl/web/index.php?option=com\\_content&view=article&id=87&Itemid=2](http://www.lancuyen.cl/web/index.php?option=com_content&view=article&id=87&Itemid=2)
- <http://www.panoramio.com/photo/32713584>
- [http://www.panoramio.com/photo\\_explorer](http://www.panoramio.com/photo_explorer)
- [http://caminos.udc.es/grupos/ferroca/orro/documentos/Transporte\\_por\\_cable.pdf](http://caminos.udc.es/grupos/ferroca/orro/documentos/Transporte_por_cable.pdf)
- <http://www.mosp.gba.gov.ar/sitios/energia2/pdf/doc/Anexo%201.pdf>
- <http://es.scribd.com/doc/66735501/42/Factor-de-Longitud-Efectiva-K>
- [http://www.emsd.gov.hk/emsd/e\\_download/pps/ar/ar\\_cop\(2002\\_edition\)\(first\\_revision\)E.pdf](http://www.emsd.gov.hk/emsd/e_download/pps/ar/ar_cop(2002_edition)(first_revision)E.pdf)
- <http://www.geociencias.unam.mx/~ramon/mecsol/Tema5.pdf>
- [http://www.inifed.gob.mx/doc/NORMAS\\_TECNICAS/VOLUMEN\\_4/Volumen\\_4\\_Tomo\\_III\\_Disenio\\_por\\_Viento.pdf](http://www.inifed.gob.mx/doc/NORMAS_TECNICAS/VOLUMEN_4/Volumen_4_Tomo_III_Disenio_por_Viento.pdf)