

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

SEDE QUITO

FACULTAD DE INGENIERÍAS

CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA

**“DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UN TELEFÉRICO CON
CAPACIDAD DE TRANSPORTACIÓN PARA 8 PERSONAS Y
UN RECORRIDO DE 1 KM”**

**TESIS PREVIA A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERO MECÁNICO**

AUTORES: ANÍBAL FERNANDO PONCE SANTAMARÍA Y

ROBERTO EDUARDO PONCE SANTAMARÍA

DIRECTOR DE TESIS: ING. PABLO ALMEIDA

QUITO, 29 JULIO 2013

DEDICATORIA

A Dios.

Gracias por estar siempre ahí, y porque sin tu energía azul no podría, haber culminado mi vida profesional.

Fernando

A Aideé.

Por estar conmigo con tu gran voluntad, comprensión, apoyo, en los malos y buenos momentos, y en especial con tu cariño.

Fernando

A nuestros padres Martha y Oswaldo.

Que han sido el mejor ejemplo de inspiración, fuerza y amor, logrando así terminar con el mejor de los éxitos en los proyectos planteados en nuestras vidas.

Fernando y Roberto

A mi hijo Alejandro
De: Roberto

Tanto te estuve esperando
que aquel día prometí
pasarme la vida luchando
para que fueras feliz..

Cada paso tuyo en la vida
me harás sentir orgulloso,
porque siempre harás lo que pida
tú corazón generoso.

Eres mi sueño cumplido
y formas parte de mi
y hasta en mis sueños te cuido
cuando no estoy junto a ti

Autor: Anónimo

AGRADECIMIENTO

Un agradecimiento especial a nuestro Director de tesis el Ing. Pablo Almeida, que ha sido una guía en este proyecto, por su paciencia y sus consejos que nos permitieron culminar con éxito esta tesis.

Además un agradecimiento especial al Ing. Fernando Tuza por ser nuestro compañero, amigo, por ser la persona quien nos ayudó sin interés en la presente tesis.

Fernando y Roberto

AUTORIZACIÓN DE LA AUTORÍA INTELECTUAL

Nosotros, Aníbal Fernando Ponce Santamaría y Roberto Eduardo Ponce Santamaría en calidad de autores del trabajo de investigación o tesis realizada sobre “DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UN TELEFÉRICO CON CAPACIDAD DE TRANSPORTACIÓN PARA 8 PERSONAS Y UN RECORRIDO DE 1 KM”, por la presente autorizamos a la UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA, hacer uso de todos los contenidos que nos pertenecen o de parte de los que contienen esta Obra, con fines estrictamente académicos o de investigación.

Los derechos que como autores nos corresponden, con excepción de la presente autorización, seguirán vigentes a nuestro favor, de conformidad con lo establecido en los artículos 5, 6, 8; 19 y demás pertinentes de la Ley de Propiedad Intelectual y su Reglamento.

Quito, a 29 julio de 2013

FERNANDO PONCE

ROBERTO PONCE

ÍNDICE DE CONTENIDOS

CAPITULO I	1
1. FUNDAMENTOS TEÓRICOS	1
1.1.- TRANSPORTES COMUNES	1
1.1.1.- GENERALIDADES.	1
1.1.2.- EL TRANSPORTE COMO FENÓMENO Y SU IMPORTANCIA ECONÓMICA	1
1.1.3.- FUNCIONES DEL TRANSPORTE.	1
1.1.4.- CLASIFICACIÓN DEL TRANSPORTE	2
1.1.4.1- TRANSPORTE ACUÁTICO.	2
1.1.4.2.- TRANSPORTE POR CARRETERA.	3
1.1.4.3.- TRANSPORTE AÉREO.	3
1.2.- ESTUDIO DE ALTERNATIVAS	4
1.2.2.1.- Alternativa I: Automotor anfibio	4
1.2.2.2.- Alternativa II: Teleférico	5
1.2.2.3.- Alternativa III: Tarabita	6
1.2.3.-SELECCIÓN DE LA MEJOR ALTERNATIVA.	7
1.3.- TRANSPORTE POR TELEFÉRICO	9
1.3.1.- Definición de teleférico.	9
1.3.2.- CLASIFICACIÓN DE TELEFÉRICOS	10
1.3.2.1.- SEGÚN EL TIPO DE CABINA	10
1.3.2.1.1- Telecabina	10
1.3.2.1.2.- Telebén	11
1.3.2.13.- Telesilla	11
1.3.3.- SEGÚN EL NÚMERO Y DISPOSICIÓN DE SUS CABLES.	11
1. 3.3.1.- Monocables	11
1.3.3.2.- Multicables	12
1.3.4.- SEGÚN EL SISTEMA DE SUJECIÓN DE LAS CABINAS AL CABLE MÓVIL	13
1. 3.4.1.- Instalación de pinza fija	13
1. 3.4.2.- Instalaciones de pinza con embrague	13
1.3.5.- SEGÚN EL SISTEMA DE MOVIMIENTO	13

1. 3.5.1.- De vaivén.....	13
1. 3.5.2.- Unidireccionales.....	13
1.3.6.- SEGÚN EL TIPO DE OPERACIÓN.	13
1. 3.6.1.- Manual.....	13
1. 3.6.2.- Automático	14
1.3.7.- SEGÚN LA SITUACIÓN DEL PUESTO DE MANDO.....	14
1. 3.8.- VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LOS SISTEMAS TELEFÉRICOS.	14
1.4.- ESTUDIO DEL SUELO.....	15
1.4.1.- INTRODUCCIÓN.....	15
1.4.2.- CIMENTACIÓN.....	15
1.4.2.1.- GENERALIDADES	15
1.5.- ESTUDIO DEL VIENTO.	16
1.5.1.- GENERALIDADES.	16
1.5.2.-ESTUDIO DEL EFECTO DEL VIENTO.....	17
1.5.3.- CARGAS DE VIENTO.	17
1.5.3.1.- DEFINICIÓN.....	17
1.6.- SISTEMAS QUE CONFORMA EL TELEFÉRICO.....	19
1.6.1.- SISTEMA DE CARGA	19
1.6.2.- SISTEMA DE SOPORTE.....	20
1.6.2.1.- Torres.....	20
1.6.2.2.- Anclajes.....	21
1.6.3.- SISTEMA DE TRACCIÓN.	21
1.6.3.1.- Cable.....	21
1.6.3.2.- Motor impulsor.....	22
1.6.3.3.-Polea retorno.....	23
1.6.4.-OTROS SISTEMAS.....	23
1.6.4.1.- Sistema de frenado.....	24
1.6.4.2.- Sistema de tension del cable.....	24
1.6.4.2.1.- Contrapeso.....	24
1.6.4.2.2.-Sistema de seguridad.....	25
1.6.4.2.3.-Motores secundarios.....	25
1.6.4.3.- Estaciones.....	25

1.7.- IMPLANTACIÓN DEL SISTEMA	25
1.7.1.- Funcionalidad.....	25
1.7.1.1.- Trazado con apoyos intermedios.....	26
1.7.1.2.- Cable de circuito completo.....	26
1.7.2.- COMPORTAMIENTO DE LOS COMPONENTES DE UN TELEFÉRICO.	26
1.7.3.- PARÁMETROS DE DISEÑO.....	27
1.7.3.1.- Altura de estaciones y torres.....	27
1.7.3.2.- Luces y pendientes.	27
1.7.3.3.- Velocidad del sistema.	27
1.7.3.4.- Tiempo aproximado de recorrido.	27
1.7.3.5.- Capacidad de carga.	28
1.7.3.6.- Distribución de la carga.	28
1.7.3.6.1.- Análisis costo beneficio de la carga	28
CAPITULO II	30
2.- DISEÑO DE LOS ELEMENTOS MECÁNICOS	30
2.1.- REQUISITOS GENERALES.....	30
2.1.1.- SISTEMA DE CARGA	31
2.1.1.1.- CONSIDERACIONES PARA EL DISEÑO DE CABLES.....	31
2.1.1.2.- FACTORES A SER CONSIDERADOS PARA LA SELECCIÓN DEL CABLE.....	33
2.1.1.3.- CABLE COLGANTE.....	33
2.1.1.4.-MODELACION MATEMATICA.....	34
2.1.1.5.- DETERMINACION DE CARGAS PRESENTES EN EL CABLE.....	38
2.1.1.5.1.-Carga de viento.....	38
2.1.1.5.2.-Factor de seguridad.....	44
2.1.1.5.3.- Calculo de las cargas presentes en el cable.....	45
2.1.1.5.4.- Calculo de tensiones en cada tramo.....	47
2.1.1.2.- SISTEMA DE POTENCIA.....	50
2.1.1.2.1.- Determinación de la potencia del sistema.....	50
2.1.1.2.2.- Potencia de funcionamiento	50
2.1.1.2.3.- Fuerza de funcionamiento F_f.....	51

2.1.1.2.3.1.- Fuerza tangencial del peso de las cabinas.....	51
2.1.1.2.3.2.- Fuerza de rozamiento por rodadura entre las poleas de los trenes de poleas y el cable.	52
2.1.1.2.3.3.- Momento flector del cable.....	54
2.1.1.2.4.-POTENCIA DE ARRANQUE.....	55
2.1.1.2.4.1.-Torque para el arranque de la ruedas de traccion y reenvio.....	56
2.1.1.2.4.2.- Torque para el arranque del cable.....	58
2.1.1.2.4.3.- Torque para mover el cable en las ruedas de traccion y reenvio...59	
2.1.1.2.4.4.- Torque para el arranque de las cabinas.....	60
2.1.1.2.5.- Potencia total de arranque.....	61
2.1.2.- SISTEMA DE TRACCIÓN.	62
2.1.2.1.- DISEÑO DE LA RUEDA MOTRIZ.	62
2.1.2.2.- Determinacion del radio optimo de la rueda.....	62
2.1.2.3.- Diseño de la rueda.....	62
2.1.2.3.1.- Determinacion de las cargas de diseño.....	65
2.1.2.3.2.- Diseño de la llanta de la rueda.....	62
2.1.2.3.3.-Brazos de la rueda motriz	74
2.1.2.3.4.- Diseño del cubo de fijación de la rueda motriz.	79
2.1.2.3.5.- Verificación de las juntas empernadas	83
2.1.2.3.5.1.- Verificación de la junta empernada por corte	84
2.1.2.3.5.2.- Verificación por aplastamiento	85
2.1.2.3.6.- EJE MOTRIZ	87
2.1.2.3.6.1.- Diseño estático	87
2.1.2.3.6.2.- Diseño dinámico	90
2.1.2.3.6.2.1.- Caso uniaxial	90
2.1.2.4.- TREN DE POLEAS.....	94
2.1.2.4.1.- GEOMETRÍA Y CALCULO DEL TREN DE POLEAS	95
2.1.2.4.1.1.- Cálculo de la placa central	98
2.1.2.4.1.1.1.- Cálculo de la soldadura en la placa central del tren de poleas	98
2.1.2.4.1.1.2.- Cálculo del elemento de union del tren de poleas en el tubo horizontal de la torre	101
2.1.2.4.1.2.- Diseño de los soportes de las poleas.....	104
2.1.2.4.1.3.- Diseño de soporte menor	105

2.1.2.4.1.4.- Cálculo del cilindro sujetador de la placa menor	109
2.1.2.4.1.5.- Diseño de la placa central del soporte menor	112
2.1.2.4.1.6.- Diseño de soporte mayor	114
2.1.2.4.1.6.1.- Cálculo del cilindro de la placas	114
2.1.2.4.1.7.- Cálculo para fuerza vertical mas critica de 13 Ton en las placa mayores	114
2.1.2.4.1.8.- Diseño de la placa central.....	120
2.1.2.4.1.9.- Cálculo de los pernos del tren de poleas	121
2.1.2.4.1.10.- Diseño de los trenes de poleas presentes en cada torre	126
2.1.2.4.1.10.1.- Cálculo del numero de pernos del tren de poleas	126
2.1.2.5.- DISEÑO DE LAS SILLAS Y CABINAS.....	132
2.1.2.5.1.- Calculo del tubo critico.....	133
2.1.2.5.1.1.- Calculo de las partes curvas.....	138
2.1.2.5.2.- Calculo del elemento sujetador de la cabina	144
2.1.2.5.2.1- Calculo del esfuerzo a compresión	144
2.1.2.5.2.2- Calculo de la soldadura en el elemento sujetador de la cabina	146
2.1.2.5.2.3.- Calculo de la soldadura en el union de los tubos de la cabina.....	148
2.1.2.5.2.4.- Diseño de la base de sujecion de la cabina.....	149
2.1.2.5.3.- Diseño del sistema del union cable-cabina.....	151
2.1.2.5.3.1.- Diseño de la pinza de sujecion del cable motriz	151
2.1.2.5.3.2.- Diseño de la junta empernada	154
2.1.2.5.3.3.-Elemento de unión (perno).....	156
2.1.2.5.3.4.- Elemento 3 (tubo cuadrado)	158
2.1.2.5.3.5.- Elemento 4 (perno)	160
2.1.2.5.4.- Placa intermedia unión chumacera-brazo.....	162
2.1.2.6.- Placa inferior	164
2.1.2.7.- Diseño de brazo	165
2.1.2.7.1.- Diseño de la placa de unión entre el brazo soporte y el eje de la cabina	167
2.1.2.8.- Cálculo del eje de unión con la cabina	168
2.1.2.8.1.- Esfuerzo de rosca	168
2.1.2.8.2.- Cálculo del esfuerzo a traccion	168

2.1.2.9.- Cilindro inferior	170
2.1.2.8.- Cálculo del perno de unionfrl cilindro inferior con la oreja de la cabina.....	172
2.1.3.- SISTEMA DE SOPORTE.....	174
2.1.3.1.-ESTRUCTURA DE SOPORTE (TORRES)	174
2.1.3.1.1- Analisis.....	174
2.1.3.1.1.1- Torres.....	174
2.1.3.2.- Calculo del tubo soporte de la torre	174
2.1.3.3.- Parante soporte del tren de poleas.....	174
2.1.3.4.- Diseño de las placas de union de las torres	206
2.1.3.4.1.- Torre de 6m.....	206
2.1.3.4.5.- ANALISIS ESTRUCTURAL DE LA ESTACION DE SALIDA.....	208
2.1.3.4.5.1.- Carga sismica reactiva (w).....	208
2.1.3.4.5.2.- Diseño cortante basal	210
2.1.3.4.5.3.- Factor de importancia.	210
2.1.3.4.5.4.- Aceleracion espectral.....	210
2.1.3.4.6.- Tipo de suelo.....	211
2.1.3.4.7.- Periodo de vibracion T	213
2.1.3.4.7.1.-Factor de reduccionde respuesta estructural	213
2.1.3.4.7.2.-Factor de configuracion estructural.....	214
2.1.3.4.8.-Esquemas de fuerzas.....	215
2.1.3.4.9.-Esquemas de momentos	215
2.1.3.4.10.-Analisis para el factor de seguridad	216
2.1.3.4.10.-Analisis del contrapeso de la estacion de salida	218
2.1.3.4.11.-ANALISIS PARA LA ESTACION DE LLEGADA.....	219
2.1.3.4.11.1.-Esquemas de fuerzas.....	221
2.1.3.4.11.2.-Esquemas de momentos	222
CAPITULO III.....	224
3.- SIMULACIÓN	224
3.1.- CONCEPTOS GENERALES.....	224

3.1.1.- Definición de simulación	224
3.1.2.-Software que se utilizarán para el diseño y simulación del teleférico.....	224
3.1.2.1.- Definición de Autodesk Autocad	225
3.1.2.2.- Conceptos básicos	225
3.1.2.2.1.- Diseño asistido por computadora	225
3.1.2.2.2.- La ingeniería asistida por computadora permite modificaciones futuras	225
3.1.2.3.- Definición de Autodesk Inventor.....	226
3.1.2.3.1.- Las normas de Autodesk Inventor son las mismas que las de Microsoft Windows.....	226
3.1.2.4.- MDSOLIDS	227
3.1.2.4.1.-Versatilidad	227
3.1.2.4.2.-Facilidad de entrada.....	228
3.1.2.4.3.- Otros campos de visualización en MDSOLIDS	228
3.1.2.5.- SAP 2000	229
3.2.- SISTEMAS DE SIMULACIÓN	229
3.2.1.- Clasificación de los modelos	230
3.3.- CARACTERÍSTICAS DE LOS SIMULADORES	231
3.4.-VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LA SIMULACIÓN	231
3.5.- VISUALIZACIÓN Y SIMULACIÓN DEL TELEFÉRICO	233
3.5.1.-Autodesk Autocad.....	233
3.5.2.- Autodesk Inventor	233
3.5.2.1- Pasos para la modelación con Autodesk Inventor	233
3.5.2.2.- Construcción de torre.....	238
3.5.3.- Análisis de cargas.....	242
3.5.3.1- SAP 2000	242
3.5.3.1.1- Verificación de carga de la cabina.....	242
3.5.3.1.2- Analisis estructural de torre de 6 m con SAP 2000	242
3.5.3.1.3- Analisis estructural de estacion de salida	242
3.5.3.1.3- Analisis de carga de estacion de llegada	242

CAPITULO IV	256
4.- COSTOS ESTIMADOS PARA LA CONSTRUCCIÓN DEL TELEFÉRICO	256
4.1.- INTRODUCCIÓN	256
4.2.- COSTOS DE MANO DE OBRA	256
4.3.- COSTO DE DE MATERIALES SELECCIONADOS POR CATÁLOGOS.	259
4.4.- COSTO DE SUELDOS	261
4.5.- COSTO TOTAL ESTIMADO.....	263
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	264
GLOSARIO DE TERMINOS.....	267
BIBLIOGRAFÍA.....	270
ANEXOS	271

ÍNDICE DE FIGURAS

Fig. 1.1.- Clasificación de medios de transporte.....	2
Fig. 1.2.- Buque escuela Deutschland (Alemania)	3
Fig. 1.3.- Carro vela holandés clase 5	3
Fig. 1.4.- Avión de transporte de pasajeros	4
Fig. 1.5.- Teleférico para 4 personas.....	9
Fig. 1.6- Telecabina	10
Fig. 1.7.- Telesilla.....	11
Fig. 1.8.- Funitel.....	12
Fig. 1.9.- Teleférico multicables	12
Fig. 1.10.- Cimentación superficial	16
Fig. 1.11.- Pantalla de pilotes (cimentación profunda)	16
Fig. 1.12.- Distribución del viento en edificios	18
Fig. 1.13.- Torre tubular	20
Fig. 1.14.- Detalle del anclaje del cable en el bloque de hormigón	21
Fig. 1.15.- Esquema del cable motriz.....	21
Fig. 1.16.- Características del cable	21
Fig. 1.17.- Diagrama de cuerpo libre (cable motriz sobre carril)	22
Fig. 1.18.- Detalle de un sistema de transmisión de potencia	23
Fig. 1.19.- Freno de Emergencia	24
Fig. 1.20.- Freno de servicio.....	24
Fig. 2.1.- Nivel bajo de superficie (estero)	30
Fig. 2.2.- Nivel bajo de superficie.....	30
Fig. 2.3.- Nivel alto de superficie.....	30
Fig. 2.4.- Nivel medio de superficie.....	30
Fig. 2.5.- Primer punto de referencia.....	30
Fig. 2.6.- Segundo puntoe superficie.....	30
Fig. 2.7.- Tercer punto de referencia.....	32
Fig. 2.8.- Cuarto punto de referencia.....	32
Fig. 2.9.-Ejemplo cable colgante.....	33

Fig. 2.10.-Catenaria elastica con soportes situados a distinto nivel (a) geometria y definicion del problema (b) equilibrio estatico de un segmento deformado de cable.....	35
Fig. 2.11.- Esquema de un cable con apoyos a desnivel y con carga en el centro de la luz.....	306
Fig. 2.12.-Catenaria elastica con soportes situados a distinto nivel.....	42
Fig. 2.13.- Esquema de un cable con apoyos a desnivel, con una altura (a) y con carga en el centro de la luz.....	46
Fig. 2.14.- Fuerza debido al peso de la cabina.....	51
Fig. 2.15.- Disposición de las estructuras de soporte del cable en las estaciones	53
Fig. 2.16.- Forma del cable en la polea motriz.....	53
Fig. 2.17.- Diagrama de rotura, fatiga a ser pronosticada con relacion al tipo de cable.....	62
Fig. 2.18.- Modelo de polea motriz.....	63
Fig. 2.19.- Rueda de transmision	65
Fig. 2.20.- Diagrama de cuerpo libre de rueda motriz.....	66
Fig. 2.21.- Diagrama de cuerpo libre esquemático de rueda motriz	66
Fig. 2.22.- Diagrama de cuerpo libre de fuerzas de rueda motriz	67
Fig. 2.23.- Esquema de la llanta soporte para el cable.....	68
Fig. 2.24.- Diagrama de fuerzas distribuidas en el perimetro de la rueda motriz	69
Fig. 2.25.- Diagrama de fuerzas distribuidas en los apoyos 1 y 2 de la rueda motriz	70
Fig. 2.26.- Geometria del soporte.....	72
Fig. 2.27.- Geomtria reala de la llanta.....	74
Fig. 2.28.-Diagrama de Fuerzas tangenciales en el perímetro de la polea motriz	74
Fig. 2.29.-Diagrama de Fuerzas distribuidas y fuerzas puntuales en el perímetro de la rueda motriz y en los brazos	75
Fig. 2.30.-Diagrama de cuerpo libre de los brazos como columnas.....	75
Fig. 2.31.-Diagrama de inercia en el brazo	76
Fig. 2.32.-Diagrama de fuerzas distribuidas en el cubo de fijación de la rueda motriz	79

Fig. 2.33.-Diagrama de cubo de fijación para la polea motriz	81
Fig. 2.34.-Diagrama de fuerzas distribuidas en la parte del cubo de fijación	82
Fig. 2.35.-Diagrama de fuerza axial en los pernos de sujeción	83
Fig. 2.36.-Esquema de fuerzas axiales en los pernos de sujeción.....	84
Fig. 2.37.-Diseño estático, eje motriz	87
Fig. 2.38.- Esquema de eje motriz.....	87
Fig. 2.39.- Esquema de eje motriz.....	87
Fig. 2.40.- Esquema de fuerzas cortantes y de momentos flectores.....	88
Fig. 2.41.- Esquema de esfuerzos cortantes y flectores	90
Fig. 2.42.- Diagrama de Goodman.....	91
Fig. 2.43.- Geometría del tren de poleas autoalineante.....	95
Fig. 2.44.- Fuerzas aplicadas en las ruedas	95
Fig. 2.45.- Ubicación de la parte crítica.....	95
Fig. 2.46.- Diagrama de cilindro de pared gruesa	96
Fig. 2.47.- Esquema de la placa central.....	98
Fig. 2.48.- Soldadura en la placa central del tren de poleas.....	100
Fig. 2.49.- Fuerza vertical aplicada a las poleas del tren con espesor de tubería	101
Fig. 2.50.- Vista superior del tren de poleas.....	104
Fig. 2.51.- Esquema de los diferentes soportes de las poleas.....	104
Fig. 2.52.- Esquema de la geometría del soporte menor de las poleas.....	105
Fig. 2.53.- Esquema del tren de poleas.....	105
Fig. 2.54.- Esquema de cuerpo libre, con diagramas de momentos flectores y de corte.....	107
Fig. 2.55.- Esquema de la geometria de la placa soporte menor de las poleas.....	107
Fig. 2.56.- Esquema del cilindro de pared gruesa	108
Fig. 2.57.- Esquema y aplicación de las placas menor	109
Fig. 2.58.- Esquema de los esfuerzos presentes en el elemento	111
Fig. 2.59.-Esquema de la placa central.....	112
Fig. 2.60.- Esquema de la placa soporte menor	113
Fig. 2.61.- Esquema de la geometria de la placa soporte mayor de las poleas... ..	114

Fig. 2.62.- Diagrama de cuerpo libre, de momentos flectores, fuerzas cortantes y esquema de la geometria de la placa soporte mayor de las poleas	116
Fig. 2.63.- Esquema del perfil de la placa soporte mayor de las poleas	116
Fig. 2.64.- Esquema de cilindro de pared gruesa de la placa	117
Fig. 2.65.- Esquema y aplicación de la fuerza en el elemento	118
Fig. 2.66.- Esquema de los elementos presentes en el elemento	119
Fig. 2.67.- Esquema de la plava central.....	120
Fig. 2.68.- Fuerzas actuantes en el tren de poleas	121
Fig. 2.69.- Esquema del tren de poleas	124
Fig. 2.70.- Esquema de la carga aplicada.....	125
Fig. 2.71.- Diagrama de corte sobre el tren depoleas	125
Fig. 2.72.- Esquema de cable entre estacion de salida y torre 1 con posiscion de fuerza cercana a la torre 1.....	127
Fig. 2.75.- Esquema de cable entre estacion de salida y torre 1 con posiscion de fuerza cercana a la estacion de salida.....	128
Fig. 2.76.- Esquema de cable entre torre 1 y torre 2.....	129
Fig. 2.77.- Esquema del tren de poleas	132
Fig. 2.78.- Forma de la cabina a diseñar	133
Fig. 2.79.- Esquema de marco formado en la cabina	134
Fig. 2.80.- Dimension del portico	134
Fig. 2.81.- Diagrama de momentos en el marco de la cabina.....	136
Fig. 2.82.- Forma de la parte curva del tubo	138
Fig. 2.83.- Diagrama de esfuerzos aplicadodos en la curva del tubo	138
Fig. 2.84.- Dimensiones del tubo a utilizar	139
Fig. 2.85.- Dimensiones de la parte superior de la cabina	141
Fig. 2.86.- Diagramas de fuerzas cortantes en el tubo	142
Fig. 2.87.- Diagrama de momentos flectores en el tubo de la parte superior ...	142
Fig. 2.88.- Esquema del elemento sujetador de la cabina.....	144
Fig. 2.89.- Esquema del elemento sujetador de la cabina considerando como cilindro de pared gruesa	145
Fig. 2.90.- Esquema del elemento soldado con su geometria.....	146
Fig. 2.91.- Soldadura de union de los elementos de la cabina	148
Fig. 2.92.- Soporte de la cabina al brazo	149

Fig. 2.93.- Sistema de union cable-union.....	151
Fig. 2.94.- Pinza de sujecion del cable motriz	151
Fig. 2.95.- Analogia con un cilindro de pared gruesa	152
Fig. 2.96.- Esquema de esfuerzos radial y tangencial	153
Fig. 2.97.- Junta empernada en las pinza.....	155
Fig. 2.98.- Unión de los Elementos 1,2,3,4.....	157
Fig. 2.99.- Elementos del perno	157
Fig. 2.100.- Esquema de fuerzas del tubo cuadrado	158
Fig. 2.101.- Esquema de fuerzas aplicadas, fuerzas cortantes y momento flector	159
Fig. 2.102.- Medidas del tubo cuadrado utilizado	160
Fig. 2.103.- Medidas pasador, elemento 4	161
Fig. 2.104.- Esquema de carga, fuerzas cortantes, y momento flexionante elemento perno	161
Fig. 2.105.- Geometría y estado de carga de la carga	163
Fig. 2.106.- Esquema de fuerza distribuida en el elemento 5	163
Fig. 2.107.- Geometría propuesta del elemento 6	164
Fig. 2.108.- Placa sometida a tracción pura	164
Fig. 2.109.- Ubicación del brazo soporte (Elemento 7) en el sistema de unión cable-cabinas.....	165
Fig. 2.110.- Esquema del tubo cuadrado para el brazo	166
Fig. 2.111.- Momentos flector de la placa unión entre el brazo soporte y el eje	167
Fig. 2.112.- Ejemplo de pasador de union con la cabina	167
Fig. 2.113.- Geometria de la seccion roscada.....	1649
Fig. 2.114.- Verificacion de cilindro inferior como cilindro de pared gruesa...	170
Fig. 2.115.- Diagrama de fuerzas en el perno de union con la oreja de la cabina	172
Fig. 2.116.- Diagrama de corte para el perno de union del brazo con la cabina	173
Fig. 2.117.- Diagrama de cuerop libre de fuerzas en las torres.....	175
Fig. 2.118.- Coordenadas para determinar las reacciones	176
Fig. 2.119.- Diagrama de cuerpo libre de reacciones en las torres	177

Fig. 2.120.- Diagrama de cuerpo libre de fuerzas en la base de la torre	178
Fig. 2.121.- Diagrama de cuerpo libre de la torre y la base	179
Fig. 2.122.- Diagrama de la seccion transversal de la torre según MDSOLIDS	180
Fig. 2.123.- Diagrama de momento flector de la torre	183
Fig. 2.124.- Diagrama del circulo de Mhor para la torre	164
Fig. 2.125.- Orientacion de los esfuerzos principales	164
Fig. 2.126.- Orientacion de los esfuerzos cortantes maximos.....	164
Fig. 2.127.- Esquema de cuerpo libre de la torre, diagrama deesfuerzo cortante , momento flector.....	186
Fig. 2.130.- Diagrama de esfuerzos cortantes y monetos flectores.....	187
Fig. 2.131.- Diagrama del circulo de Mhor	188
Fig. 2.132.- Orientacion de los esfuerzos principales	188
Fig. 2.133.- Orientacion de los esfuerzos cortantes maximos.....	188
Fig. 2.134.- Esquema de momento torsor en la viga	191
Fig. 2.135.- Esquema de la torre cargada a compresion.....	193
Fig. 2.136.- Esquema para determinar la seccion critica de la torre.....	195
Fig. 2.137.- Diagrama de esfuerzos producidos en la torre	195
Fig. 2.138.- Esquema general de la torre.....	198
Fig. 2.139.- Diagrama de cuerop libre espacial de la torre.....	198
Fig. 2.140.- Diagrama de cuerop libre en las secciones A-C, D-B.....	199
Fig. 2.141.- Esquema general de la seccion A-C	199
Fig. 2.142.- Esquema de los esfuerzos cortantes.....	200
Fig. 2.143.- Diagrama de momento flector.....	200
Fig. 2.144.- Esquema general de la seccion A-C	200
Fig. 2.145.- Esquema de los esfuerzos cortantes.....	201
Fig. 2.146.- Diagrama de momento flector.....	201
Fig. 2.147.- Equema de la tuberia utilizada	202
Fig. 2.148.- Esquema del atiezador	203
Fig. 2.149.- Esquema del cartagon.....	203
Fig. 2.150.- Esquema de la region compuesta.....	203
Fig. 2.151.- Esquema de las placas huecas	206
Fig. 2.153.- Esquema de la estacion de salida.....	208

Fig. 2.154.- Esquemas de las zonas sismicas	211
Fig. 2.155.-Esquema de las fuerzas aplicadas en la estacion de salida	211
Fig. 2.156.-Esquema de momentos aplicados en la estacion de salida.....	212
Fig. 2.157.-Esquema del contrapeso para la tension del cable.....	218
Fig. 2.158.-Esquema de las reacciones aplicadas en la estacion de llegada	220
Fig. 2.159.-Esquema de las fuerzas aplicadas en la estacion de llegada.....	222
Fig. 2.159.-Momentos aplicados en la estacion de llegada.....	222
Fig. 3.1.- Ejemplo de graficas en AUTOCAD.....	225
Fig. 3.2.- Modelación en Inventor	226
Fig. 3.3.- Esquema de la pantalla principal Autodesk Inventor	227
Fig. 3.4.- Ejemplo de una viga.....	228
Fig. 3.5.- Ejemplo del diagrama en un círculo de Mohr	228
Fig. 3.6.- Ejemplo de una visualización en el SAP2000	229
Fig. 3.7.- Formas de estudio	230
Fig. 3.8- Formas del terreno y tendido de cable	233
Fig. 3.9- Esquema sketch	234
Fig. 3.10- Esquema plane.....	234
Fig. 3.11- Esquema losft superior	235
Fig. 3.12- Esquema losft inferior.....	235
Fig. 3.13- Esquema solid	235
Fig. 3.14- Ventana de grabación	236
Fig. 3.15- insert frame.....	236
Fig. 3.16- Esquema constraint.....	237
Fig. 3.17- Esquema de la estación de llegada.....	237
Fig. 3.18- Esquema de la estación de llegada final	238
Fig. 3.19.- Esquema sketch de tubería.....	238
Fig. 3.20.- Esquema de extrude de tubería	239
Fig. 3.21.- Esquema de la base ménsula	239
Fig. 3.22.- Esquema de la ménsula.....	240

Fig. 3.23.- Esquema de la ménsula.....	240
Fig. 3.24.- Esquema de la torre completa.....	241
Fig. 3.25.- Esquema de la torre armada con tren de poleas.	241
Fig. 3.32.- Esquema de grillas para la cabina.....	242
Fig. 3.33.- Esquema de la tubería cabina.	243
Fig. 3.34.- Esquema de la cabina.....	243
Fig. 3.35.- Determinación de las fuerzas en la cabina.	244
Fig. 3.36.- Determinación de las fuerzas en la cabina.	244
Fig. 3.37.- Determinación de los momentos en la cabina.....	245
Fig. 3.38.- Verificación de las cargas en la cabina.....	245
Fig. 3.39.- Simulación de las tuberías en la cabina.....	245
Fig. 3.40.- Esquema grilla de las torres.	246
Fig. 3.41.- Visualizacion de la torre.	246
Fig. 3.42.- Esquema la torre final.	247
Fig. 3.43.-Determinacion de las fuerzas de la torre.....	247
Fig. 3.44.- Esquema la torres.....	247
Fig. 3.45.- Esquema de la fuerza de la torre.	248
Fig. 3.46.- Simulacion de la fuerza de la torre.	248
Fig. 3.47.- Simulacion del diagrama de corte.	249
Fig. 3.48.- Determinacion del factor de riesgo de la torre.	249
Fig. 3.49.- Visualizacion de las torres.	250
Fig. 3.50.- Visualizacion de las tuberias de la estacion de salida.	250
Fig. 3.51.- Determinacion de las grillas estacion de salida	251
Fig. 3.52.- Verificacion de las grillas estacion de salida.....	251
Fig. 3.53.- Determinacion de las cargas estacion de salida.	252
Fig. 3.54.- Determinacion de las grillas estacion de salida.	252
Fig. 3.55.- Determinacion de las fuerzas de la estacion de salida.	253
Fig. 3.56.- Determinacion de las fuerzas en las tuberias de estacion de salida...	253
Fig. 3.57.- Visualizacion de las tuberias de estacion de llegada.	254
Fig. 3.58.- Verificacion de las tuberias de la estacion de llegada	255
Fig. 3.59.- Simualacion de las fuerzas en tuberias de estacion de llegada.....	255

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1.- Escala de calificaciones.....	8
Tabla 2.1.- Peso total con cabina carga al máximo	38
Tabla 2.2.- Coeficiente aerodinamico	40
Tabla 2.3.- Factores de seguridad recomendados para cables usados en distintas aplicaciones.....	44
Tabla 2.4.- Determinacion de coordenadas, luz, altura, deflexion	45
Tabla 2.5.- Determinacion de longitudes, numero de divisiones	46
Tabla 2.6.- Determinacion de tramos	47
Tabla 2.7.- Determinacion del factor de seguridad por tramos.....	49
Tabla 2.8.- Cabina cargada en su totalidad	51
Tabla 2.9.- Características del cable.....	54
Tabla 2.10.- Determinacion del factor de seguridad.....	64
Tabla 2.11.- Determinacion de momentos maximos	72
Tabla 2.12.- Determinación del factor de seguridad según espesor	73
Tabla 2.13.- Propiedades del hierro gris ASTM 40.....	78
Tabla 2.14.- Determinación del factor de seguridad según presión	81
Tabla 2.15.- especificaciones SAE para pernos comerciales UNS de acero.....	84
Tabla 2.16.- Determinación del factor de seguridad según diámetro	85
Tabla 2.17.- Determinación de los grados de desviación por torres TRAMO I129	
Tabla 2.18.- Determinación de los grados de desviación por torres TRAMO II	129
Tabla 2.19.- Determinación de los grados de desviación por torres TRAMO II	130
Tabla 2.20.- Determinación de los grados de desviación por torres TRAMO III	130
Tabla 2.21.- Determinación de los grados de desviación por torres TRAMO IV	130
Tabla 2.22.- Determinación de los grados de desviación por torres TRAMO IV	130
Tabla 2.23.- Determinación de la cabina cargada al máximo	133
Tabla 2.24.- Especificaciones SAE para pernos comerciales UNS de acero.....	155

Tabla 2.25.- Valores de reacciones y momentos en la torre	178
Tabla 2.26.- Propiedades en el eje x de la tubería seleccionada.....	181
Tabla 2.27.- Propiedades en el eje Y de la tubería seleccionada.....	181
Tabla 2.28.- Resumen de la propiedades en el eje de X e Y, de la tubería seleccionada	182
Tabla 2.29.- Resumen de las propiedades en el eje a torsión	182
Tabla 2.30.- Cuadro resumen de la propiedad en el eje de flexión.....	185
Tabla 2.31.- Tabla resumen de las características de la torre.....	191
Tabla 2.32.- Resume de las características de la torre.....	191
Tabla 2.33.- Resumen de los valores de flexión YZ.....	192
Tabla 2.34.- Cuadro de características de las torres.....	194
Tabla 2.35.- Resumen de los factores de seguridad estructural de la torre.....	197
Tabla 2.36.- Factor de seguridad de la torre.	197
Tabla 2.37.- Dimensiones de la torre.	204
Tabla 2.38.- Centroides de la torre	205
Tabla 2.39.- Aéreas de la torre	205
Tabla 2.40.- Cuadro de las propiedades físicas de la PLACA 1	206
Tabla 2.41.- Propiedades del acero A-36.....	207
Tabla 2.42.- Propiedades del factor de importancia de las construcciones	210
Tabla 2.43.- Tipo de suelo y factor de sitio Fa	211
Tabla 2.44.- Tipo de suelo y factor de sitio Fd.....	212
Tabla 2.45.- Tipo de suelo y factor de comportamiento inelástico del subsuelo Fs	212
Tabla 2.46.- Factor de respuesta estructural.	214
Tabla 2.47.- Valor de reacciones y momentos.	214
Tabla 2.48.- Estado estático.....	217
Tabla 2.49.- características del acero estructural.	217
Tabla 2.50.- Reacciones y momentos en los empotramientos	220
Tabla 2.51.- Fuerzas, momentos y esfuerzos de la estructura.....	221
Tabla 2.52.- Propiedades del acero estructural	223
Tabla 4.1.- Costo de fabricacion del teleférico.	257
Tabla 4.2.- Costo de soladadura para la construccion del teleférico.....	218
Tabla 4.3.- Costo hora maquina para la construccion del teleférico.....	219

Tabla 4.4.- Costo de arandelas para la construccion del teleférico	259
Tabla 4.5.- Costo de pernos para la construccion del teleférico	259
Tabla 4.6.- Costo de tuercas para la construccion del teleférico	259
Tabla 4.7.- Costo de rodamientos para la construccion del teleférico.....	260
Tabla 4.8.- Costo de chumaceras para la construccion del teleférico	260
Tabla 4.9.- Costo de motor, trasnformador, cable y sillas para la construccion del teleférico.....	260
Tabla 4.10.- Costo de placas y otros para la construccion del teleférico.....	260
Tabla 4.11.- Resumen costo totales para la construccion del teleférico	260
Tabla 4.12.- Sueldo de encargado de obra.	261
Tabla 4.13.- Sueldo de residente.	261
Tabla 4.14.- Sueldo de calculista.....	261
Tabla 4.15.- Sueldo de dibujante.	261
Tabla 4.16.- Sueldo de administrativo.....	261
Tabla 4.17.- Sueldo de operativo.....	261
Tabla 4.18.- Resumen de sueldo para la cosntruccion del teleferico	262
Tabla 4.19.- Costo total para la cosntruccion del teleferico	263
Tabla 4.20.- Tiempo total para la construccion del teleferico.....	261

OBJETIVO GENERAL

Diseñar, simular un teleférico con capacidad de transportación para 8 personas y un recorrido de 1 Km.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Reducir los tiempos de recorrido de personas que viven en el Noroccidente de la Provincia de Pichincha.
- Mejorar el bienestar de las personas del entorno de la propiedad “LA LOMITA” con una visión ecológica.
- Realizar pruebas de funcionamiento del teleférico con software de simulación visual
- Establecer los cálculos correspondientes de carga, espacios, longitudes, etc., y verificar su funcionalidad.
- Realizar planos de conjunto y despiece de los elementos que conforman el teleférico

ALCANCE

El diseño del teleférico abarcará una capacidad de un recorrido de 1 km y para un peso de 8 personas por cabina, sus partes estarán revestidas con pintura anticorrosiva y con recubrimiento superficial de galvanizado dependiendo del caso, y así evitar los desgastes. Capaz de resistir líquidos desengrasantes para su limpieza, además se ejecutará los planos de conjunto y despiece de cada una de las partes y sistemas que conforman el teleférico, de la misma manera se realizará su simulación en programas virtuales como son SAP 2000, Inventor 2008, MD SOLIDS y AutoCad 2012 ya que el costo de construcción es elevado, el cual se puede verificar en el costo total estimado para la construcción del teleférico.

Se realizará una breve introducción del estudio de los suelos ya que no compete en esta tesis realizar este análisis detallado, de la misma manera se elaborará un estudio breve del viento, y para finalizar se detallará los parámetros mínimos para elegir la mejor alternativa en su estudio respectivo. Algunos de estos parámetros son:

El costo de construcción por tratarse de un proyecto de desarrollo social será bajo y accesible para las pequeñas comunidades y para pequeños empresarios dueños de propiedades del sector.

Los materiales a utilizarse adecuadamente seleccionados de los existentes en el mercado local, de fácil obtención con el fin de ahorrar costos de transporte, instalación, y colocación.

La capacidad es el parámetro que se definirá, como la cantidad de personas a transportar por unidad de tiempo relacionado diariamente.

La rapidez de transportación, es el parámetro con el cual podemos ahorrar, tanto energía eléctrica como tiempo humano

La funcionalidad de los medio de transporte, deberán ser de forma eficiente y segura.

El mantenimiento estará en función de un bajo costo, y además los gastos generados por esta actividad no serán muy representativos.

El factor seguridad se tomará en cuenta, siendo una medida que caracteriza a los medios de transporte comunes, ya que se refiere a la seguridad de las personas que lo utilizarán.

HIPÓTESIS

Este teleférico tendrá un recorrido de 1 Km para una capacidad de 8 personas por cabina, con una facilidad de diseño utilizando software como MD SOLID, AutoCad 2012, y en el extremo opuesto su elevado costo de construcción e instalación se obligará a realizar una simulación del funcionamiento (teleférico) de los elementos que lo conforman en software como SAP 2000 e Inventor 2008.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En la actualidad el Ecuador está en una línea de modernización constante por lo que es necesario la movilidad de personas en diversos medios de transporte como son: automóviles, barcas, camiones, etc., además la transportación en el noroccidente de Pichincha de personas se lo hace en medios de transporte no comunes.

Por la ubicación y el tipo de terreno (irregular), la transportación de personas en medios no comunes es necesaria en este sector de la Provincia de Pichincha exactamente en la propiedad “LA LOMITA” la cual está rodeada de muchas pendientes, laderas y ríos.

De acuerdo, a la necesidad de transportación de las personas del sector, la forma más rápida de transportación sería un teleférico para 8 personas por cabina y un recorrido de 1 km, ya que acortaría su camino diario (a pie) y mejoraría el bienestar de las personas ubicadas alrededor de esta propiedad

El teleférico como medio de transporte, es de gran utilidad para el cruce por llanuras, laderas, ríos y sobre caminos irregulares.

RESUMEN

“DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UN TELEFÉRICO CON CAPACIDAD DE TRANSPORTACIÓN PARA 8 PERSONAS Y UN RECORRIDO DE 1 KM”

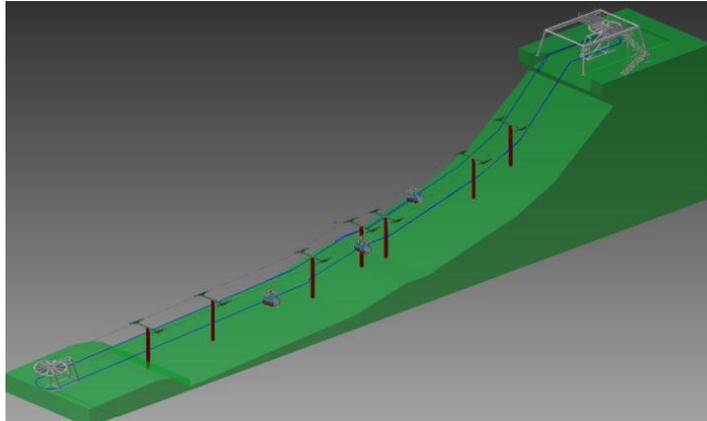


Fig. 1.- Formas del terreno y tendido de cable

FUNDAMENTOS TEÓRICOS

GENERALIDADES.

El transporte es el traslado de cosas, animales o personas desde un lugar hasta otro efectuado a través de un vehículo o sistema de movimiento, denominado medio de transporte. La cosa, animal o persona constituye el objeto en movimiento o transportado.

EL TRANSPORTE COMO FENÓMENO Y SU IMPORTANCIA ECONÓMICA

El transporte es una actividad productiva, implica el uso de los servicios de quienes lo generan y por ende un aumento del valor (valor agregado) de las especies transportadas desde el lugar donde se producen hasta los lugares de su compra o consumo.

FUNCIONES DEL TRANSPORTE.

Las funciones del transporte se pueden enumerar y definir de la siguiente manera:

- 1.- Satisfacer la necesidad humana de movilizar cosas, animales o personas.
- 2.- Satisfacer las necesidades productivas de movilizar materiales, insumos, productos y medios para la elaboración, comercialización y consumo de bienes y servicios.
- 3.- Contribuir a la integridad social y cultural.
- 4.- El transporte es un factor determinante en la organización social urbana o rural, y la localización de las actividades en los pueblos o ciudades.

CLASIFICACIÓN DEL TRANSPORTE

En general se puede ver que hay grandes grupos de medios de transporte; según el lugar o entorno donde se efectúan se puede clasificar así:

Los **transportes terrestres** son vehículos o móviles que se desplazan por tierra como automóviles, autobuses, ferrocarriles, bicicletas, motocicletas, etc., los **transportes aéreos** son aquellos que sus móviles se desplazan por la atmósfera, en este grupo se los puede encaminar a las naves aeroespaciales, aviones, helicópteros, etc., por último los **transportes marítimos** son vehículos o móviles que se mueven en océanos, mares, ríos, etc., en este grupo se encaminan a buques, submarinos, veleros, etc.

ESTUDIO DE ALTERNATIVAS

Para solucionar el problema de transportación de personas en el sector, se basa en criterios y sugerencias difundidos en las empresas constructoras, por medio bibliográfico o personal especializado en la práctica de medios de transportación.

A continuación se presentan tres alternativas que son las más indicadas para este caso.

Alternativa I: Automotor anfibio

Alternativa II: Teleférico

Alternativa III: Tarabita

TRANSPORTE POR TELEFÉRICO

Una vez escogida la alternativa II (teleférico), se procede a describir este medio de transporte.



Fig. 2 Teleférico para 4 personas.

CLASIFICACIÓN DE TELEFÉRICO

La clasificación de teleféricos se puede enumerar en seis grandes grupos de la siguiente manera:

- 1.- Según el tipo de cabina.
- 2.- Según el número y disposición de sus cables.
- 3.- Según el sistema de sujeción de las cabinas al cable móvil.
- 4.- Según el sistema de movimiento.
- 5.- Según el tipo de operación.
- 6.- Según la situación del puesto de mando, estos grupos de teleféricos se definirán así.

ESTUDIO DEL SUELO

Según Terzagui “La mecánica de suelos es la aplicación de las leyes de la mecánica y la hidráulica a los problemas de ingeniería que trata con acumulaciones no consolidadas de partículas sólidas, producidas por la desintegración mecánica o la descomposición química de las rocas, independientemente de que tengan o no materia orgánica”.

Además en la construcción de edificios, el suelo se define como un material no afirmado, formado por partículas minerales con gases o líquidos incluidos.

Los suelos se clasifican en orgánicos e inorgánicos.

ESTUDIO DEL VIENTO.

Las acciones del viento sobre las estructuras, cuando el uso de materiales metálicos hace posible la construcción de estructuras más esbeltas obligando a cierta consideración de los efectos y la acción del viento, introduciendo como una fuerza estática sobre las superficies normales a la dirección supuesta.

ESTUDIO DEL EFECTO DEL VIENTO.

En los primeros estudios del viento se analizó teóricamente el efecto de la carga del viento sobre la estática y la transmisión de la fuerza sobre cables, después de la adimensionalización de las ecuaciones que definen este efecto se obtienen dos parámetros que caracterizan el comportamiento del cable en estas condiciones, que son la relación entre el peso del cable, su tensión y la relación entre la carga del viento y el peso.

CARGAS DE VIENTO.

En la mayoría de las normas la acción del viento se establece como una carga estática constante en magnitud, dirección y sentido. La justificación de esta consideración pese al carácter de carga dinámica frecuencial se debe a que si se supone una corriente fluía estacionaria, un cuerpo sumergido en la misma estará sometido a cargas estáticas a pesar del carácter dinámico de su origen. Se define como carga del viento aquella carga de naturaleza variable producida por la actuación directa del viento sobre la estructura resistente o sobre elementos no estructurales que incida sobre ella, independientemente de lo que considere su actuación directa para el cálculo estructural o como acción exterior.

SISTEMAS QUE CONFORMA EL TELEFÉRICO

Los sistemas básicos que conforman los teleféricos se pueden enumerar en tres:

- 1.- Sistema de carga.
- 2.- Sistema de soporte.
- 3.- Sistema de Tracción, después de enumerar estos sistemas básicos se los detallará a continuación:

COMPORTAMIENTO DE LOS COMPONENTES DE UN TELEFÉRICO

Un teleférico se integra con componentes estructurales con comportamiento variable: cables, torres, cimentación, contrapesos de anclaje, etc.

- Los cables son elementos que trabajan axialmente, dentro del rango elástico de comportamiento de los materiales, que se diseñarán bajo el paradigma de grandes deformaciones, con factores de seguridad altos por su funcionamiento mecánico.
- Las torres deben ser metálicas, o de hormigón armado, o pre-esforzado. Son estructuras esbeltas, con deformaciones pequeñas, que se diseñarán bajo criterios de resistencia última, o de esfuerzo admisible, dependiendo del material y de la geometría escogida.
- Los contrapesos de anclaje son elementos que dependen del peso que poseen, del empuje pasivo que puede desarrollarse en el suelo, y de la capacidad de resistir a fricción de la superficie en contacto entre el contrapeso y el suelo.

PARÁMETROS DE DISEÑO

Los parámetros más importantes de diseño en los que se basan los cálculos de los elementos del teleférico, son los que se enumerarán así:

- 1.- Altura de estaciones y torres.
- 2.- Luces y pendientes.
- 3.- Velocidad del sistema.
- 4.- Tiempo aproximado de recorrido.
- 5.- Capacidad de carga.
- 6.- Distribución de la carga.

DISEÑO DE LOS ELEMENTOS MECÁNICOS

REQUISITOS GENERALES

Se dimensionará un teleférico como medio de transporte, que permita disfrutar del entorno que rodea al lugar en donde será construido, para ello contará con 4 sillas dobles ergonómicas, con una capacidad para 8 personas por cabina, a su vez contará con 3 cabinas en movimiento, es decir con una capacidad total de 24 personas de forma simultánea.

Los sistemas que conforman los teleféricos, son los que se trató en el capítulo I y se enumerarán así:

- 1.- Sistema de carga.
- 2.- Sistema de soporte.
- 3.- Sistema de tracción.

CONSIDERACIONES PARA EL DISEÑO DE CABLES

En el diseño de cables se tomará en cuenta los aspectos que son importantes al momento de dimensionar el tipo del cable que se utilizará en la construcción del teleférico:

- Los cables son elementos que trabajan axialmente, dentro del rango elástico de comportamiento de los materiales, que serán diseñados bajo grandes deformaciones, con

factores de seguridad altos por su funcionamiento mecánico, los cuales oscilan entre 5.0 - 6.0 según recomendaciones internacionales.

- Los estados de carga deben revelar el comportamiento individual y el comportamiento integrado de los componentes estructurales.
- Para las solicitudes de servicio se combinará directamente las cargas que actúan sobre la estructura. Para el caso de presentarse cargas eventuales o sobre cargas, se puede sobredimensionar la capacidad resistente en un 33%, o reducir las cargas en un 25%, estas 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 del sector donde funcionará el teleférico, para trazar los lineamientos que serán los que guíen la fase de diseño.

Por ello debido a las condiciones del terreno se procederá a diseñar un teleférico, el cual tiene una luz de 1100 m (1,10 km) y un desnivel de 110 m ósea 0,11 km.

FACTORES A SER CONSIDERADOS PARA LA SELECCIÓN DEL CABLE

Muy pocas veces es posible seleccionar un cable que cumpla al máximo la resistencia a la fatiga y abrasión. En general, se debe privilegiar las características más sensibles a la operación que se deba realizar, a cambio de una disminución relativa en aquellas características menos relevantes para el fin determinado.

2.1.1.3.- CABLE COLGANTE

La longitud de cable colgado suspendido de sus extremos a una longitud determinada y actuando su propio peso w se puede calcular

Pero cuando existe un desplazamiento con relación al suelo, o una diferencia de altura, aparecerá otro factor en la ec. 2.1, ya que en esta se considera que no existe un desplazamiento del cable con relación al suelo, y se determina así:

- y : Longitud total de cable
- Tensión del cable considerando que el cable sea tensado totalmente
- w : Peso del cable
- a : desplazamiento del cable con relación al suelo

MODELACIÓN MATEMÁTICA DEL CABLE

Desde el punto de vista estructural, los cables son elementos con una dimensión sensiblemente mayor que las siguientes dos (su longitud), incapaces de resistir esfuerzos de flexión y/o compresión, pero, en cambio, presentan una gran resistencia a la tracción. Bajo una determinada ley de cargas, inclinadas respecto al eje longitudinal del cable, éste se deforma de modo que los esfuerzos de tracción resistan a la carga aplicada. De acuerdo a las condiciones del terreno así como las características del teleférico se considera un cable de longitud inicial, suspendido entre dos apoyos fijos A y B situados a distinto nivel. La distancia horizontal entre ambos apoyos es L ; mientras que su diferencia de nivel es h . La curva descrita originalmente por el cable en ausencia de cargas (es decir, cuando el cable no se ha deformado), puede parametrizarse en coordenadas cartesianas o por una coordenada lagrangiana s . Para un punto P sobre el cable no deformado, esa coordenada s se define como la longitud del segmento de cable comprendido entre el apoyo A (origen de coordenadas) y el punto P en cuestión. Bajo los efectos de peso propio, el cable se deforma en el punto P pasa a ocupar una nueva posición. La curva deformada puede parametrizarse en coordenadas cartesianas por una nueva coordenada ϵ . Para el punto P, esta coordenada se define como la longitud del tramo de cable deformado comprendido entre el apoyo A y el punto sobre la geometría deformada que correspondería al punto P en la geometría original

Por tanto existen cuatro configuraciones básicas que nos permiten expresar los modelos matemáticos para los cálculos requeridos, los cuales son los siguientes:

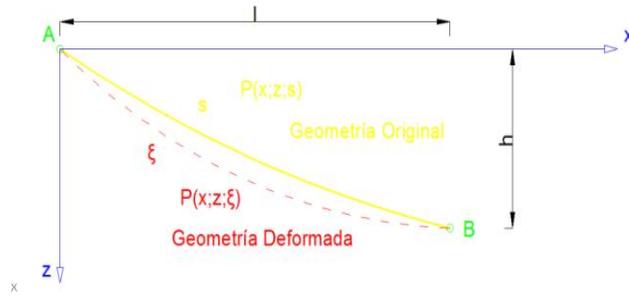


Fig. 3.- Catenaria elástica con soporte situados a distinto nivel

- 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.**

En este análisis particular se tendría el caso IV en el cual indica que es un cable que tiene apoyos a desnivel y con una carga concentrada en el centro de la longitud de este.

Como se explicó anteriormente, las condiciones topográficas del terreno se adaptan a la modelación de extremos desnivelados, de donde se elige el tipo de carga concentrada al considerarse este como más crítico, primando la seguridad y teniendo la siguiente configuración.

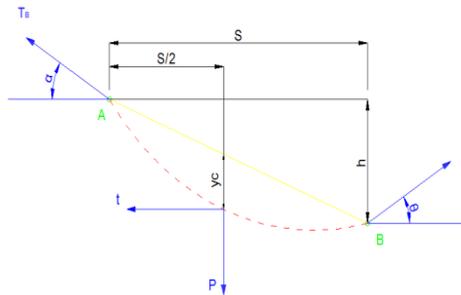


Fig. 4.- Esquema de un cable con apoyos a desnivel y con carga en el centro de la luz

Cualquier cable tendido y amarrado en sus extremos cuyos apoyos se encuentran en un mismo o diferente nivel, adoptan la forma de una catenaria, por ello se procede a utilizar fórmulas fundamentales de la parábola para realizar el cálculo de la misma así:

Tensión horizontal del Cable:

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

Tensiones en los apoyos:

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

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

Ángulos que forman las tensiones con el eje horizontal:

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

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

Longitud del cable

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

- t: Tensión horizontal del cable, en kg.
- : Tensión en el apoyo izquierdo del cable, en kg.
- : Tensión en el apoyo derecho del cable, en kg.
- : Ángulo que forma la tensión izquierda del cable, en rad.
- : Ángulo que forma la tensión derecha del cable, en rad.
- L: Longitud del cable, en m.
- P: Carga concentrada que actúa sobre el cable, en kg.
- W: Carga distribuida en el cable, la cual incluye el peso propio del cable y la carga de viento, en kg/m.
- S: Luz entre los apoyos del cable, en m.
- h: Diferencia de altura entre los apoyos del cable, en m.
- : Flecha en el punto medio de la luz que forma el cable, en m.

Para el cálculo de las tensiones presentes en cada tramo se procede a determinar parámetros funcionales como los correspondientes a la carga que soportará el cable.

De lo anteriormente descrito se sabe que el teleférico constará de tres cabinas, con una capacidad para 8 personas distribuidas en cuatro sillas dobles, es decir veinticuatro personas en total, con los cuales se obtendrá los siguientes resultados (ver tabla 1)

ELEMENTO	CANTIDAD	PESO (kg)	TOTAL (kg)
Cabinas	3	150	450
sillas	12	80	960
Personas	24	80	1920
		TOTAL	3330

Tabla 2.1.- Peso total con cabina carga al máximo

Cabe resaltar que los valores mostrados en la tabla 1 están sobredimensionados con el fin de introducir un factor de seguridad en el cálculo del cable.

SIMULACIÓN CONCEPTOS GENERALES

Definición de simulación

Algunas de las definiciones más aceptadas y difundidas de la palabra simulación son:

- Según Thomas H. Taylor “Simulación es la técnica numérica para conducir experimentos en una computadora digital. Estos experimentos comprenden ciertos tipos de relaciones matemáticas y lógicas, las cuales son necesarias para describir el comportamiento y la estructura de sistemas complejos del mundo real a través de largos periodos de tiempo”

- Para Robert E. Shannon “Simulación es el proceso de diseñar y desarrollar un modelo computarizado de un sistema o proceso y conducir experimentos con este modelo con el propósito de entender el comportamiento del sistema o evaluar varias estrategias con las cuales se puede operar el sistema”

Software que se utilizarán para el diseño y simulación del teleférico

Los software que se utilizarán para simular el teleférico son los que se enlistan a continuación, para posterior definir cada uno de ellos así:

- 1.-Autodesk Autocad
- 2.- Autodesk Inventor
- 3.- MD SOLID
- 4.- SAP 2000

Definición de Autodesk Autocad

La palabra autocad es compuesta por la marca que desarrollo el producto (autodesk) y las siglas cad que significan: computer aided desing (diseño asistido por computadora).

Conceptos básicos

Diseño asistido por computadora

El diseño asistido por computadora (CAD) permitirá al diseñador conceptuar los objetos con más facilidad y sin necesidad de hacer ilustraciones modelos o prototipos costosos. Actualmente, los sistemas CAD son capaces de analizar rápidamente diseños completos, desde una simple ménsula hasta grandes estructuras complejas y su posterior simulación.

La ingeniería asistida por computadora permite modificaciones futuras

En la actualidad, mediante el uso de ingeniería asistida por computadora es posible simular, analizar y probar con más eficiencia, precisión y rapidez, el desempeño de las estructuras sujetas a la estática o cargas dinámicas. La información obtenida puede almacenarse, recuperarse, desplegarse, imprimirse y transferirse a cualquier parte de la organización. El diseño puede optimizarse y modificarse fácil en cualquier momento.

COSTOS ESTIMADOS PARA LA CONSTRUCCIÓN DEL TELEFÉRICO INTRODUCCIÓN

Para determinar el costo total para la construcción de un teleférico con capacidad de transportación para 8 personas y con recorrido de 1 km, se realizará tablas de costo de mano de obra, costo de materiales, costo estimado de sueldos para el diseño además se considera un valor adicional de imprevistos para la construcción de este medio de transporte.

Se considerará además que los costos totales para la construcción del teleférico se dividen en gastos directos e indirectos (análisis costo-beneficio).

COSTOS DE MANO DE OBRA

Se conoce como mano de obra al esfuerzo tanto físico como mental que se aplicará durante el proceso de elaboración de un bien. El concepto también se aprovecha para apuntar hacia el costo de esta labor (es decir, el dinero que se le abona al trabajador por sus servicios).

COSTO DE SUELDOS

Para determinar el costo de los sueldos, primero se valorará la contratación de 3 profesionales, 1 dibujante, 5 operativos, 1 persona administrativa.

COSTO DE MATERIALES SELECCIONADOS POR CATÁLOGOS.

Estos costos son los considerados para adquirir de los materiales que se utilizarán en la construcción del teleférico

COSTO TOTAL ESTIMADO

En la tabla 2 se calcula el presupuesto total estimado así:

RESUMEN DE COSTOS FABRICACIÓN	
MATERIALES	\$ 94.951,50
FABRICACIÓN	\$ 55.400,00
SOLDADURA	\$ 6.013,00
PRECIO H/MAQUINA	\$ 25.770,00
SUELDOS	\$ 8.773,50
GASTOS INDIRECTOS	\$ 75.800,00
SUBTOTAL	\$ 190.908,00
5% IMPREVISTOS	\$ 95.454,00
TOTAL	\$ 553.070,00

Tabla 2.-Costo total para la construcción del teleférico.

Para los imprevistos se tomará el 5% del subtotal de la suma de todos los costos y la determinación de los gastos indirectos

Como se puede observar el costo total estimado considerado para la construcción del teleférico de 1 km de recorrido con capacidad para 8 personas por cabina, es de \$ 553.070,00 dólares americanos. Tabla 3.-Tiempo total para la construcción del teleférico.

El tiempo que tomará la construcción del teleférico es de 1 año 8 meses según se detallará en la tabla 4.19. Con un valor de ingreso anual por concepto de cobro de entradas de \$ 172800,00 dólares americanos y se determinará que en 4 años se recuperará la inversión total realizada para la construcción del teleférico.

TIEMPO DE CONSTRUCCIÓN				
		LONG A SOL. (m)	TIEMPO (min)	T. TOTAL (min)
TIEMPO SOLDADURA	DE	856	227	194312
TIEMPO MONTAJE	DE			259200
TIEMPO PRUEBAS	DE			259200
			T. TOTAL MIN	712712
			T. TOTAL MESES	16,50

Tabla 3.-Costo total para la construcción del teleférico.

CONCLUSIONES

- La construcción de un teleférico es aconsejable en lugares de topografía en terreno irregular, ya que la construcción de carreteras o puentes es de difícil realización y muy costoso.
- El presupuesto estimado para la construcción total de este proyecto es alto, como se puede determinar en el Capítulo IV y por esta razón se lo estudio y analizo en forma simulada con la ayuda de software diseñados para este fin como ejemplo (Autodesk Inventor, Autodesk Autocad versión 2010, SAP 2000, MDSolids, etc.) ya que son muy cercanos a la realidad para su construcción.
- Este tipo de medio de transporte (teleférico) además de ser utilizado como de transporte de personas, animales y bienes también se puede utilizar en la industria turística, minería, etc.
- Las tensiones que generan el cable en el teleférico son diseñados en función de su propio peso, de las cargas acopladas que están soportando y de las potencia de funcionamiento; estos se analizaran de una manera correcta a fin de seleccionar un cable con diámetro apropiado.
- La potencia de funcionamiento del sistema motorizado (con corriente eléctrica) garantizara que las cabinas se desplaza con a una velocidad uniforme en todo su trayecto, sin importar el ángulo de inclinación del cable en cualquier parte del trayecto.
- El diseño del cable se realizara bajo un comportamiento de esquema estático del material y grandes deformaciones.
- En este teleférico convergen diversos tipos de elementos estructurales, con comportamiento diferenciado.

RECOMENDACIONES

- Para la instalación del cable se asesorara con el fabricante proveedor ya que constituye una delicada tarea de ingeniería que se deberá realizar bajo estrictas normas de seguridad a fin que garantice su funcionamiento correcto.
- Para la selección del cable se basara en catálogos actualizados de estos para realizar un diseño concordante con la disponibilidad de los productos en el mercado.
- Se recomienda concluir el diseño del sistema de control que se encargue del encendido, regulación de los motores principal y secundario, así como la acción de freno de servicio y de emergencia a fin que brinde, mayor seguridad en la operación de este medio de transporte (teleférico).
- Para garantizar el buen funcionamiento del teleférico se debe realizar, planes de mantenimientos periódicos de cada componente que lo conforman, especialmente aquellos que comprometen la seguridad de los pasajeros y como también los que son fundamentales para la operación de este medio de transporte.
- En la fase de operación, el cable debe ser inspeccionado a intervalos de tiempo regulares para corregir fallas que pueden acelerar el desgaste

ABSTRACT

"DESIGN AND SIMULATION OF A CABLE RAILWAY WITH THE CAPACITY OF TRANSPORTATION FOR 8 PERSONS AND A TOUR OF 1 KM"

Considering the properties, located in the province of Pichincha, Puerto Quito Canton to the margin of levees and brittle land, are privileged with a great biodiversity in flora, fauna, hybrid resources, tropical landscapes, has been proposed to implement a cable car as a means of transport.

To get started in chapter I, analyze ways and means of public transport, a brief overview of the study of the soil, in the same way the study of the wind. It will also present types of cable cars, study of alternatives and finally there will be a cost-benefit analyzes of the load

And then in chapter II, will be the design of the elements of the cable car itself, in addition, the designs of burden, support, traction. Also will be the design of the maximum power required to move all of the cable car

Later in the chapter III, will be the full simulation of the system, but first it will analyze the general concepts such as: system simulation, visualization software. We will also analyze the loads applied to the elements.

Later in the chapter III, will be the full simulation of the system, but first it will analyze the general concepts such as: system simulation, visualization software. We will also analyze the loads applied to the elements.

Finally in chapter IV, will analyze the costs of labor, as also the cost of materials, approximate time to complete the construction of the cable car. As described above will be added the conclusions, recommendations, the glossary of terms, bibliography that will be used, the levels of whole, exploded view of all the elements that make up the cable car.

As described above will be added the conclusions, recommendations, the glossary of terms, bibliography that will be used, and the levels of whole, exploded view of all the elements that make up the cable car.

Finally, we conclude that the development of this type of project favored in large measure to the technological contribution of Ecuador, generating new sources of

employment to both companies dedicated to the design, simulation and implementation of these systems, as well as in operation and maintenance of the same.

CAPITULO I

1. FUNDAMENTOS TEÓRICOS

1.1.- TRANSPORTES COMUNES

1.1.1.- GENERALIDADES.

El transporte es el traslado de cosas, animales o personas desde un lugar hasta otro efectuado a través de un vehículo o sistema de movimiento, denominado medio de transporte. La cosa, animal o persona constituye el objeto en movimiento o transportado.

1.1.2.- EL TRANSPORTE COMO FENÓMENO Y SU IMPORTANCIA ECONÓMICA

El transporte es una actividad productiva, implica el uso de los servicios de quienes lo generan y por ende un aumento del valor (valor agregado) de las especies transportadas desde el lugar donde se producen hasta los lugares de su compra o consumo.

1.1.3.- FUNCIONES DEL TRANSPORTE.

Las funciones del transporte se pueden enumerar y definir de la siguiente manera:

- 1.- Satisfacer la necesidad humana de movilizar cosas, animales o personas.
- 2.- Satisfacer las necesidades productivas de movilizar materiales, insumos, productos y medios para la elaboración, comercialización y consumo de bienes y servicios.
- 3.- Contribuir a la integridad social y cultural.
- 4.- El transporte es un factor determinante en la organización social urbana o rural, y la localización de las actividades en los pueblos o ciudades.

1.1.4.- CLASIFICACIÓN DEL TRANSPORTE

En general se puede ver que hay grandes grupos de medios de transporte; según el lugar o entorno donde se efectúan se puede clasificar así: Ver la fig. 1.1

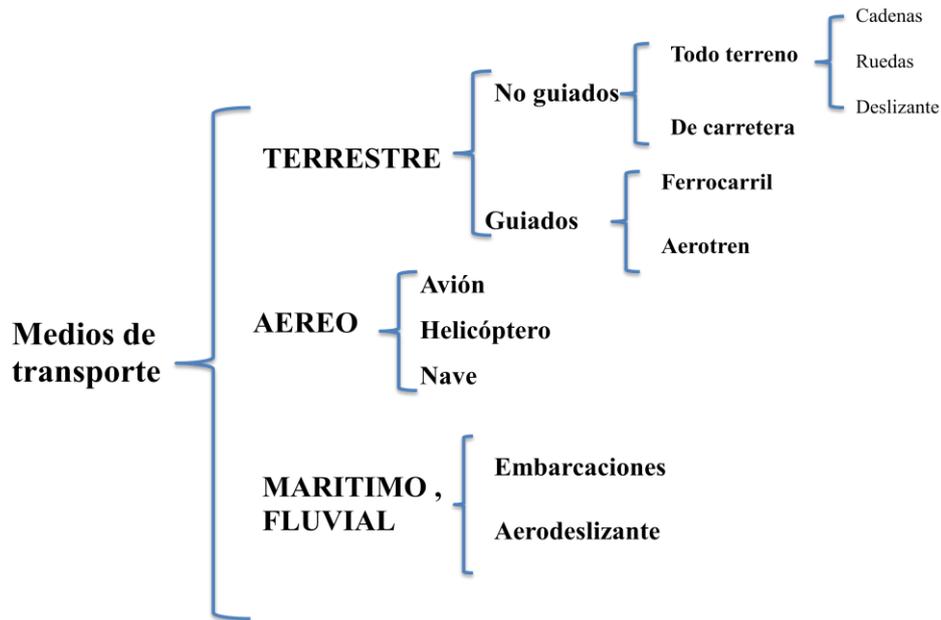


Fig. 1.1.- Clasificación de medios de transporte

Los **transportes terrestres** son vehículos o móviles que se desplazan por tierra como automóviles, autobuses, ferrocarriles, bicicletas, motocicletas, etc., los **transportes aéreos** son aquellos que sus móviles se desplazan por la atmósfera, en este grupo se los puede encaminar a las naves aeroespaciales, aviones, helicópteros, etc., por último los **transportes marítimos** son vehículos o móviles que se mueven en océanos, mares, ríos, etc., en este grupo se encaminan a buques, submarinos, veleros, etc.

1.1.4.1- TRANSPORTE ACUÁTICO.

Transporte que se efectúa en el mar, ríos, lagos, canales y en general, o cuerpos de agua. Ver fig. 1.2.



Fig. 1.2.- Buque escuela Deutschland (Alemania)

1.1.4.2.- TRANSPORTE POR CARRETERA.

Es la modalidad más antigua dentro del transporte terrestre, el cual nace a través de los animales de carga, caballos, mulas, etc., este medio de transporte se desarrolló más lento que el acuático.

El transporte terrestre evolucionó lentamente hasta el año 1820, en el que se adaptó un motor a vapor a una locomotora e inició el primer ferrocarril.

La ventaja principal del **transporte terrestre** es que permite movilizar grandes volúmenes de carga de personas, animales, y bienes. Ver fig. 1.3.



Fig. 1.3.- Carro vela holandés clase 5

1.1.4.3.- TRANSPORTE AÉREO.

Se efectúa por medio de aeronaves. El transporte aéreo es la forma de transporte moderno que más rápidamente se desarrolló, alcanza un lugar destacado después de la primera guerra mundial. Ver fig. 1.4



Fig. 1.4.- Avión de transporte de pasajeros

1.2.- ESTUDIO DE ALTERNATIVAS

1.2.1.- ALTERNATIVAS

Para solucionar el problema de transportación de personas en el sector, se basa en criterios y sugerencias difundidos en las empresas constructoras, por medio bibliográfico o personal especializado en la práctica de medios de transportación.

A continuación se presentan tres alternativas que son las más indicadas para este caso.

1.2.2.1.- Alternativa I: Automotor anfíbio

El automotor anfíbio está construido por motor a diesel, suspensión en las cuatro ruedas, todo terreno, etc., en la actualidad se construyen vehículos con altas normas ambientales para transportar personas, animales o bienes.

El mantenimiento lo realizará personal capacitado, que en su mayoría son mecánicos especializados del área.

Descripción del funcionamiento

La funcionalidad de este medio de transporte es poco común dentro de propiedades de forma irregular.

Desventajas

- Alto costo de construcción.
- Limitación en la transportación de personas
- Difícil movimiento por terrenos irregulares
- Su mantenimiento es muy costoso.

Ventajas

- Es seguro para todas las personas que lo ocupan
- Es un medio de transporte de varias utilidades.

1.2.2.2.- Alternativa II: Teleférico

El teleférico se diseñará para una capacidad de 240 personas diarias, con una funcionalidad de 10 horas en un horario de 8h00 a 18h00.

Descripción del funcionamiento

El funcionamiento de este medio de transporte, se trata de dos poleas las cuales tienen las mismas medidas y unidas por un cable motriz donde se ajusta las cabinas de transportación, apoyadas en torres de soporte, con un motor eléctrico el cual dará movimiento a la rueda motriz, y así a todo el sistema.

Desventajas

- Moderado costo de construcción.
- Déficit de materiales.
- Capacidad de transporte limitada.
- Funcionalidad de este medio de transporte es el día, ya que por la falta de visibilidad no es seguro, y porque la velocidad del viento aumenta en la noche en este sector.

Ventajas

- Es segura para las personas que lo utilizan diariamente.
- Su mantenimiento es sencillo.
- Es un medio de transporte con un tiempo de recorrido corto.
- Fácil construcción en terrenos de topografías irregulares con desniveles en su forma.

1.2.2.3.- Alternativa III: Tarabita

La construcción de este medio de transporte es forma artesanal, está constituido por un motor transmisor de combustión interna de ciclo diesel, su carro de transporte es una canastilla con capacidad limitada de carga siendo máximo de 6 personas en todo su recorrido, su construcción se la hace en tramos pequeños de estación de salida a estación de llegada.

Descripción del funcionamiento

Se coloca una polea, en la transmisión de un motor de combustión interna la cual transmite el movimiento al cable motriz logrando así mover la canastilla de transportación, de la estación de salida a la estación de llegada en un tramo pequeño de recorrido.

Desventajas

- Limitada capacidad de transportación.
- Funcionalidad limitada para recorridos cortos.
- Su costo de mantenimiento es alto debido a su motor.
- Inseguridad en su funcionamiento.

Ventajas

- Moderado costo de construcción.
- Fácil adquisición de materiales para su construcción.

- Fácil instalación y construcción.

1.2.3.- SELECCIÓN DE LA MEJOR ALTERNATIVA

Para seleccionar la mejor opción se aplica el método cualitativo por puntos que consiste en asignar factores cuantitativos a una serie de parámetros que se consideran relevantes para su selección. Estos factores que se tomaron en cuenta para la calificación de la mejor alternativa se enumeran así:

- 1.- Costo
- 2.- Materiales
- 3.-Capacidad
- 4.- Rapidez
- 5.- Funcionalidad
- 6.- Mantenimiento
- 7.- Seguridad
- 8.- Consumo de energía

Realizada la enumeración de los factores relevantes se aplica el siguiente procedimiento para jerarquizar dichos factores como se muestra en la tabla 1.1 así:

- 1.- Asignar una escala común a cada factor de 1 a 3 siendo; 1 mala, 2 regular y 3 bueno.
- 2.- Calificar a cada opción de acuerdo con la escala designada.
- 3.- Sumar la puntuación de cada opción y elegir el de máxima puntuación.

ALTERNATIVA	I	FACTOR	II	FACTOR	III	FACTOR
COSTO	Caro	1	Cómodo	2	Barato	3
MATERIALES	Comunes	2	Muy comunes	3	Comunes	2
CAPACIDAD	Baja	3	Alta	3	Baja	1
RAPIDEZ	Lento	1	Rápida	3	Lento	1
FUNCIONALIDAD	Buena	3	Buena	3	Mala	1
MANTENIMIENTO	Caro	1	Cómodo	2	Cómodo	2
SEGURIDAD	Mala seguridad	1	Alta seguridad	3	Mala seguridad	1
CONSUMO ENERGÍA	Alta	1	Baja	3	Alta	1
CALIFICACIÓN	SUMA	12	SUMA	21	SUMA	12

Tabla 1.1.- Escala de calificaciones

La alternativa con más alta calificación en puntaje es 21 por este método, siendo alternativa II la más adecuada.

1.3.- TRANSPORTE POR TELEFÉRICO

Una vez escogida la alternativa II (teleférico), se procede a describir este medio de transporte.

1.3.1.- Definición de teleférico¹.

Es un sistema de transporte, de personas, animales, y bienes, constituidos por cabinas suspendidas en uno o varios cables, estos se sujetan a estaciones terminales y, en ocasiones, a torres soporte intercaladas a lo largo del recorrido. Se utilizan para unir zonas entre terrenos accidentados o con grandes diferencias de altitudes. Difíciles de conectar mediante otros medios de transporte. Ver fig.1.5

Pueden tener circuitos abiertos o cerrados. En el primer caso, el movimiento del cable de tracción cambia de sentido, siendo la cabina ascendente y después descendente por el mismo ramal; en el segundo caso, el cable de tracción se mueve siempre en el mismo sentido, y la cabina es ascendente y después descendente por ramales distintos.



Fig. 1.5.- Teleférico para 4 personas.

¹ <http://es.encarta.msn.com/>

1.3.2.- CLASIFICACIÓN DE TELEFÉRICOS²

La clasificación de teleféricos se puede enumerar en seis grandes grupos de la siguiente manera:

- 1.- Según el tipo de cabina.
- 2.- Según el número y disposición de sus cables.
- 3.- Según el sistema de sujeción de las cabinas al cable móvil.
- 4.- Según el sistema de movimiento.
- 5.- Según el tipo de operación.

6.- Según la situación del puesto de mando, estos grupos de teleféricos se definirán así.

1.3.2.1.- SEGÚN EL TIPO DE CABINA

1.3.2.1.1- Telecabina

Este teleférico se compone por cabinas cerradas de diferentes capacidades, en estas los pasajeros pueden ir sentados o parados, además las telecabinas dan mayor comodidad ya que están cerradas resguardando a los pasajeros del viento y de las intemperies. Ver fig. 1.6



Fig. 1.6- Telecabina

² www.alcaldiabogota.gov.co/sisjuro/normas/norma1

1.3.2.1.2.- Telebén

Aquellas están diseñadas para que los pasajeros estén de pie ya que son construidas para recorrer distancia cortas, donde el empleo de sillas es innecesario ya que restaría espacio.

1.3.2.1.3.- Telesilla

Las telesillas son diseñadas por sillas suspendidas en un cable, las mismas son para un recorrido a muy bajas velocidades para facilitar el embarque y desembarque de los pasajeros siendo esto la principal desventaja. Ver fig. 1.7



Fig. 1.7.- Telesilla

1.3.3.- SEGÚN EL NÚMERO Y DISPOSICIÓN DE SUS CABLES.

1. 3.3.1.- Monocables

Construido por un solo cable el cual toma el nombre de portador-tractor, este sirve como carril y de elemento tractor. Aquí se puede establecer los que trabajan con más de un cable en forma sincrónica haciendo la función de uno solo, puede mejorar la estabilidad de las cabinas frente a fuerzas externas y así aumentando la distancia de las torres. Como ejemplo puede ser los funiteles. Ver fig. 1.8



Fig. 1.8.- Funitel

1.3.3.2.- Multicables

Están contruidos por uno o más cables carril, los que sirven como soporte-guía, y de uno o más cables tractores. Estos diseños son muy útiles para buscar estabilidad en ambientes agresivos con alta carga de viento con un bajo consumo de energía y para recorridos entre torres muy largos. Ver fig. 1.9



Fig. 1.9.- Teleférico multicables

1.3.4.- SEGÚN EL SISTEMA DE SUJECCIÓN DE LAS CABINAS AL CABLE MÓVIL.

1. 3.4.1.- Instalación de pinza fija

Estas tienen el elemento de acoplamiento unido al cable de forma permanente mientras la cabina está en movimiento. Uno de estos sistemas más comunes son los de telesillas.

1. 3.4.2.- Instalaciones de pinza con embrague

Son a las se desacoplan las cabinas del cable en las estaciones, para facilitar el embarque y desembarque de los pasajeros. Un ejemplo de estos son las telecabinas.

1.3.5.- SEGÚN EL SISTEMA DE MOVIMIENTO.

1. 3.5.1.- De vaivén

Aquellas que las cabinas están provistas por un movimiento de ida y vuelta entre la estación de salida y llegada continuamente.

1. 3.5.2.- Unidireccionales

Son construidas para un desplazamiento de las cabinas en un mismo sentido, su clasificación es:

- Pulsados, cuando sus cables se mueven de manera intermitente, en una velocidad que varía periódicamente según las posiciones de las cabinas.
- Movimiento continuo, cuando las cabinas se mueven a velocidad constante.

1.3.6.- SEGÚN EL TIPO DE OPERACIÓN.

1. 3.6.1.- Manual

Su movimiento está regulado por un operador situado en la sala de máquinas, en los andenes de llegada, de salida, o en las cabinas de tele-mando

1. 3.6.2.- Automático

La acción de puesta de marcha está dada por un agente o por los mismos pasajeros en las instalaciones, sin ninguna intervención posterior.

1.3.7.- SEGÚN LA SITUACIÓN DEL PUESTO DE MANDO

Según la situación del puesto de mando de servicio normal, se puede tomar en cuenta los siguientes tipos:

- Con puesto de mando en la cabina.
- Con puesto de mando en las estaciones.

1. 3.8.- VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LOS SISTEMAS TELEFÉRICOS.

Las ventajas principales de estos sistemas son:

- Permite implementarse en terrenos de topografías irregulares, donde otros transportes no se pueden usar.
- Requieren de poco personal ya que sus móviles o vehículos no llevan conductor.
- No requieren un gran espacio para su implementación, solo las estaciones y las bases de las torres.
- El costo operacional de este sistema está constituido principalmente por el consumo de energía eléctrica.
- Cuando funcionan los motores de este sistema (teleférico) prácticamente no contamina y es demasiado silencioso.

Las desventajas de este medio de transporte son:

- Poca capacidad de carga.
- La velocidad de desplazamiento de las cabinas es baja.
- Su horario de funcionamiento es limitado.

1.4.- ESTUDIO DEL SUELO

1.4.1.- INTRODUCCIÓN

Según Terzagui “La mecánica de suelos es la aplicación de las leyes de la mecánica y la hidráulica a los problemas de ingeniería que trata con acumulaciones no consolidadas de partículas sólidas, producidas por la desintegración mecánica o la descomposición química de las rocas, independientemente de que tengan o no materia orgánica”.

Además en la construcción de edificios, el suelo se define como un material no afirmado, formado por partículas minerales con gases o líquidos incluidos.

Los suelos se clasifican en orgánicos e inorgánicos.

1.4.2.- CIMENTACIÓN³.

1.4.2.1.- GENERALIDADES

Un cimiento es aquella parte de la estructura que recibe la carga de la construcción y la transmite al terreno por medio de un ensanchamiento en su base.

De acuerdo como se transmite la carga, las cimentaciones se clasifican en superficiales y profundas, las primeras son cuando se trasmite la carga al suelo por presión baja su base sin rozamiento lateral de ningún tipo, como muestra la fig. 1.10 y las segundas son las que se encargan de transmitir las cargas que reciben de una construcción a mantos resistentes más profundos. Ver fig. 1.11

³ PÉREZ ALAMA VÍCTOR. 2010. *Mecánica de suelos y cimentación*. McHill Grew.,3 Ed D.F. México, Págs. 11-12



Fig. 1.10.- Cimentación superficial



Fig. 1.11.- Pantalla de pilotes (cimentación profunda)

1.5.- ESTUDIO DEL VIENTO.

1.5.1.- GENERALIDADES⁴.

Las acciones del viento sobre las estructuras, cuando el uso de materiales metálicos hace posible la construcción de estructuras más esbeltas obligando a cierta consideración de los efectos y la acción del viento, introduciendo como una fuerza estática sobre las superficies normales a la dirección supuesta.

⁴ CRISTINA SÁNCHEZ REBOLLO. 2010. *Efecto del viento en estructuras del cable*. Proyecto fin de carrera. Madrid-España, p. 1,

1.5.2.-ESTUDIO DEL EFECTO DEL VIENTO.

En los primeros estudios del viento se analizó teóricamente el efecto de la carga del viento sobre la estática y la transmisión de la fuerza sobre cables, después de la adimensionalización de las ecuaciones que definen este efecto se obtienen dos parámetros que caracterizan el comportamiento del cable en estas condiciones, que son la relación entre el peso del cable, su tensión y la relación entre la carga del viento y el peso.

1.5.3.- CARGAS DE VIENTO.

1.5.3.1.- DEFINICIÓN⁵.

En la mayoría de las normas la acción del viento se establece como una carga estática constante en magnitud, dirección y sentido. La justificación de esta consideración pese al carácter de carga dinámica frecuencial se debe a que si se supone una corriente fluía estacionaria, un cuerpo sumergido en la misma estará sometido a cargas estáticas a pesar del carácter dinámico de su origen. Se define como carga del viento aquella carga de naturaleza variable producida por la actuación directa del viento sobre la estructura resistente o sobre elementos no estructurales que incida sobre ella, independientemente de lo que considere su actuación directa para el cálculo estructural o como acción exterior.

Por lo que si se considera el viento como una carga estática horizontal quedando determinada con la ec. 1.1 así:

$$q_w = \left(\frac{1}{2}\right) v_m^2 \cdot \rho \quad (1.1)$$

⁵ CRISTINA SÁNCHEZ REBOLLO. 2010. *Efecto del viento en estructuras del cable*, Proyecto fin de carrera. Madrid-España. p. 11

Donde

- ρ es la densidad del aire y
- v_m es la velocidad del viento.

En estas condiciones la sobre-estimación de la carga estática puede dejarnos del lado de la seguridad. Sobre todo si se trata de estructuras que la acción del viento no es la sollicitación predominante. Independientemente del registro se observa que existe un valor medio, dependiente de la altura, alrededor del cual se produce oscilaciones. Como muestra la ec. 1.2

$$V_m = V + u \quad (1.2)$$

Siendo:

- v es la velocidad media
- u es la componente aleatoria o de turbulencia.

Esta última es prácticamente independiente de la altura mientras que la media crece con la altura. Ver fig.1.12

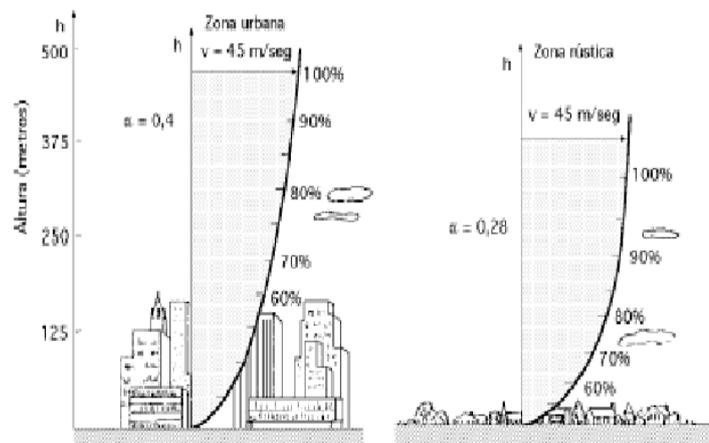


Fig. 1.12.- Distribución del viento en edificios

La presión del viento en un edificio puede estimarse con la siguiente expresión:

$$\rho = 0.02558C_s v^2 \quad (1.3)$$

Donde

- ρ es la presión en libras por pie cuadrado que actúa sobre superficies verticales,
- C_s es un coeficiente de acuerdo a la forma.
- V es la velocidad básica del viento mi/h estimada con ayuda de los reportes meteorológicos de la región.

Para las estructuras esbeltas la presión total sobre las dos superficies es igual a 20 psf para una velocidad del viento de 77.8 mi/h.

1.6.- SISTEMAS QUE CONFORMA EL TELEFÉRICO⁶

Los sistemas básicos que conforman los teleféricos se pueden enumerar en tres:

1.- Sistema de carga.

2.- Sistema de soporte.

3.- Sistema de Tracción, después de enumerar estos sistemas básicos se los detallará a continuación:

1.6.1.- SISTEMA DE CARGA

Está comprendido por las cabinas para el transporte de carga o pasajeros. Se construyen con estructura metálica y fibra de vidrio, con ventanales, y puertas accionadas por sistema neumático o manual, como las puertas de un autobús, las sillas se instalan una frente la otra, dejando un pasillo central para el acceso.

Cuentan con un gancho en el techo y este con una mordaza doble en su extremo en forma de pinza; es decir, una mordaza formada por dos partes que se cierran uno contra la otra, amordazando el cable transportador.

⁶ http://www.mines.edu/library/ropeway/about_ropeway.html

Los estados de carga deben revelar el comportamiento individual y el comportamiento integrado de los componentes estructurales del sistema completo.

Las cargas actuantes sobre las estructuras de cimentación y sustentación son consecuencia de las fuerzas que se aplican sobre los cables, siendo:

- Peso propio del cable: Está en función del diámetro y tipo de cable utilizado
- Carga muerta: Peso del vehículo
- Carga del viento: Se analiza los períodos de vibración de la estructura
- Carga viva: Se estimará la capacidad del vehículo dependiendo del peso de las personas a transportar.

1.6.2.- SISTEMA DE SOPORTE.

Conformado por:

1.6.2.1.- Torres

La función de las torres es sostener los cables transportadores a lo largo del recorrido. A su vez, en el extremo superior de cada torre existe una viga transversal, la que posee en cada extremo un sistema de poleas por donde se desliza el cable transportador. Estos se mueven en direcciones contrarias al movimiento del cable; y están situadas en cada extremo de esta barra descrita. Ver fig. 1.13



Fig. 1.13.- Torre tubular

1.6.2.2.- Anclajes

Los bloques de anclaje deben resistir la componente vertical de la tensión del cable carril por peso propio, y la horizontal por fricción y empuje pasivo.

Constituyen un medio esencial para garantizar la estabilidad de diversas estructuras. Pueden usarse en forma muy ventajosa en cualquier situación en que se use, su ayuda es la masa de suelo, para soportar un determinado estado de esfuerzos o tensiones. Ver fig. 1.14

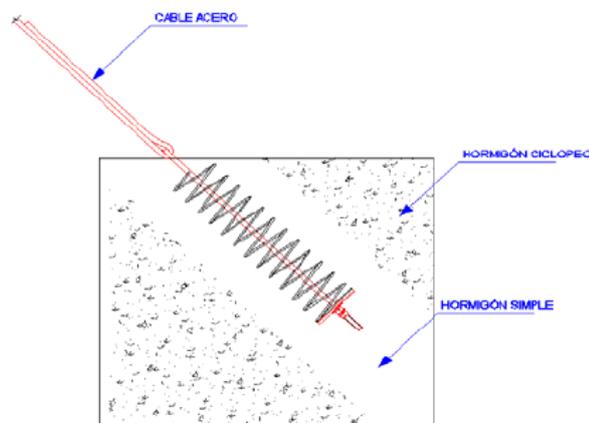


Fig. 1.14.- Detalle del anclaje del cable en el bloque de hormigón

1.6.3.- SISTEMA DE TRACCIÓN.

Está compuesto por un cable de acero cerrado que se tensiona, colocando en uno de los extremos el motor impulsor y en el otro la polea de retorno, de modo que el cable se atraviesa en todo su recorrido de ida y vuelta, apoyándose en las torres de soporte, llevando ancladas las cabinas adecuadamente espaciadas.

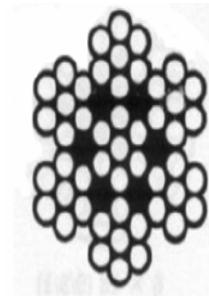
1.6.3.1.- Cable

Está formado por varios torones, constituidos por un determinado número de alambres que son enrollados helicoidalmente alrededor de un alma que es el eje central del cable y puede ser de acero, fibras naturales o de polipropileno. Ver figs. 1.15, 1.16

En el cable motriz se determina la tensión máxima haciendo un diagrama de cuerpo libre para las condiciones más desfavorables. Ver fig. 1.17



Fig. 1.15.- Esquema cable Motriz



DIAMETRO
CONSTRUCCION
ALMA
TORCIDO
ACABADO
PESO ESPECÍFICO
MODULO DE ELASTICIDAD

Fig. 1.16.- características del cable

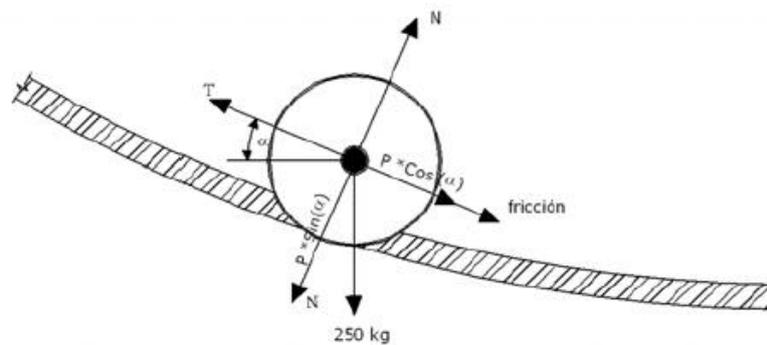


Fig. 1.17.- Diagrama de cuerpo libre (cable motriz sobre carril)

Para la selección del cable motriz se considera los siguientes factores como; resistencia, fatiga, abrasión, aplastamiento y exposición a la corrosión. Teniendo en cuenta las características de mayor exigencia para el caso particular.

1.6.3.2.- Motor Impulsor

Para seleccionar el motor se analizará condiciones tales como: disponibilidad de fluido eléctrico en la zona, potencias disponibles en el mercado y régimen de trabajo de los motores (RPM). Ver fig. 1.18

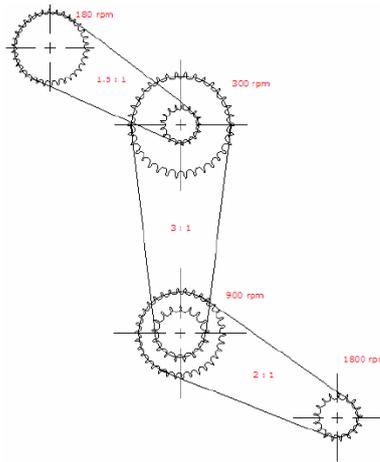


Fig. 1.18.- Detalle de un sistema de transmisión de potencia

Es un elemento que se aloja en el cuarto de máquinas del teleférico. Está comprendido por un motor, generalmente eléctrico que le da el movimiento al sistema y produce la fuerza para accionar el cable transportador que lleva las cabinas.

El diseño del sistema motriz está en función de la potencia necesaria, la cual sirve para mover el vehículo entre estaciones.

1.6.3.3.- Polea de Retorno

Está en la estación terminal, al extremo opuesto del motor impulsor, y junto con otros elementos menores como frenos y amortiguadores. Permite que el cable transportador esté adecuadamente tensionado y puede realizar su recorrido de regreso, en el extremo terminal del sistema de teleférico.

1.6.4.- OTROS SISTEMAS

Los sistemas antes mencionados son los elementos principales de un teleférico, pero existe otra cantidad de elementos menores que le dan funcionalidad al sistema y garantizan su comodidad y seguridad. Estos sistemas son:

1.6.4.1.- Sistema de frenado.

La acción de estos frenos tiene que ser realizada a través de resortes o pesos muertos que mantendrán el freno normalmente cerrado. Mientras el teleférico se mueve, los frenos estarán abiertos empleando mordazas de cilindros hidráulicos. Ver fig. 1.19

La operación de este sistema debe ser organizado para trabajar proporcionalmente con las condiciones de carga y la velocidad del cable con lo cual se puede evitar una excesiva oscilación de las cabinas. Ver fig. 1.20

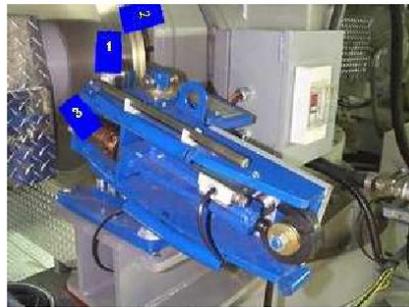


Fig. 1.19.- Freno de Emergencia



Fig. 1.20.- Freno de servicio

1.6.4.2.- Sistema de tensión de cable

Está conformado por contrapesos, sistemas hidráulicos u otros dispositivos adecuados. Se lo emplea para mantener los cables del teleférico en tensión en cualquier condición de operación.

Todos los dispositivos usados para tensionar el cable deberían tener suficiente desplazamiento para proveer las condiciones normales de operación cuando se tienen cambios en la carga y en la temperatura ambiental.

1.6.4.2.1.- Contrapesos

Permiten controlar la variación de tensión en el cable mediante el empleo de un arreglo de contrapesos. Para el empleo de éste, se debe tener ciertas consideraciones.

- El área en donde el contrapeso se desplaza debe ser completamente cerrada y protegida de los elementos del teleférico y agentes climáticos.

- El área para el contrapeso debe ser diseñada de tal manera que el mismo ocupe cualquier posición bajo toda condición de operación y clima
- Arreglos de amortiguadoras deben instalarse para reducir las oscilaciones del contrapeso.

1.6.4.2.3.- Sistema de seguridad

Este sistema está conformado por todos los elementos que contribuyen a garantizar el correcto funcionamiento del sistema, además de brindar mayor seguridad a los usuarios y personal que labora durante la operación del teleférico. Está constituido por varios elementos; ente los cuales, los más importantes son:

1.6.4.2.3.1.- Motores secundarios

Por lo general son motores Diesel, y son empleados para mantener el funcionamiento del sistema cuando los motores eléctricos principales fallan.

1.6.4.3.- Estaciones

El diseño de estas estaciones obedece a las ordenanzas civiles de construcción y debe tener en cuenta todas las fuerzas que actúan sobre él, incluyendo tensiones de los cables, cargas de sismo, etc. Estas estaciones deben tener áreas para el abordaje de los pasajeros las cuales deben ser suficientemente largas para facilitar el flujo de las personas.

1.7.- IMPLANTACIÓN DEL SISTEMA

1.7.1.- Funcionalidad⁷.

La manera de operar de los teleféricos influye en la estructuración de estos.

Estos medios de transporte dependen, a donde van dirigidos y se presentan varias opciones estructurales y mecánicas que se enumeran a continuación:

⁷ ING. MARCELO ROMO. *Criterios y alternativas para el diseño de un teleférico*. Centro de Investigación Científica Escuela Politécnica del Ejército. Quito-Ecuador. P. 4

1.7.1.1.- Trazado con apoyos intermedios.

Debido a la longitud de recorrido, y a las condiciones topográficas ventajosas, se colocarán torres de apoyo distribuidas a lo largo del proyecto. Las torres ayudan a controlar las deflexiones en los cables lo que permite utilizar de calibres (diámetro) más pequeños que el que se requeriría sin los apoyos intermedios.

1.7.1.2.- Cable de circuito completo.

Cuando existen facilidades técnicas, en los puntos extremos del proyecto, el cable puede realizar un circuito completo (ida y vuelta) con las cabinas de transporte, desplazándose siempre en la misma dirección.

1.7.2.- COMPORTAMIENTO DE LOS COMPONENTES DE UN TELEFÉRICO⁸.

Un teleférico se integra con componentes estructurales con comportamiento variable: cables, torres, cimentación, contrapesos de anclaje, etc.

- Los cables son elementos que trabajan axialmente, dentro del rango elástico de comportamiento de los materiales, que se diseñarán bajo el paradigma de grandes deformaciones, con factores de seguridad altos por su funcionamiento mecánico.
- Las torres deben ser metálicas, o de hormigón armado, o pre-esforzado. Son estructuras esbeltas, con deformaciones pequeñas, que se diseñarán bajo criterios de resistencia última, o de esfuerzo admisible, dependiendo del material y de la geometría escogida.
- Los contrapesos de anclaje son elementos que dependen del peso que poseen, del empuje pasivo que puede desarrollarse en el suelo, y de la

⁸ ING. MARCELO ROMO. *Criterios y alternativas para el diseño de un teleférico*. Centro de Investigación Científica Escuela Politécnica del Ejército. Quito-Ecuador. P. 5.

capacidad de resistir a fricción de la superficie en contacto entre el contrapeso y el suelo.

1.7.3.- PARÁMETROS DE DISEÑO⁹.

Los parámetros más importantes de diseño en los que se basan los cálculos de los elementos del teleférico, son los que se enumerarán así:

1.7.3.1.- Altura de estaciones y torres.

Esta altura de estación y torres consisten en lograr una altura mínima de la cabina al terreno por donde pasará el trayecto del teleférico.

1.7.3.2.- Luces y pendientes.

Se conoce como “luz” a la distancia horizontal existente entre dos puntos extremos del sistema (teleférico); esto es, la distancia horizontal entre una estación y una torre o entre dos torres.

1.7.3.3.- Velocidad del sistema.

La velocidad máxima recomendada para teleféricos que poseen cabinas cerradas no pasara de 4 m/s, para no causar efectos desagradables en aceleración y desaceleración durante el trayecto a los pasajeros.

1.7.3.4.- Tiempo aproximado de recorrido.

Considerando que el sistema estará funcionando a la velocidad máxima se calculará el tiempo estimado para el recorrido.

$$\text{tiempo} = \frac{\text{distancia}}{\text{velocidad}}$$

⁹ MARLON ARMIJOS Y RAÚL RAMÍREZ. *Diseño de un teleférico turístico de 2000 m de longitud ubicado en la colonia Llanganates Parroquia Rio Negro Cantón baños, Provincia de Tungurahua.* Escuela Politécnica Nacional. Quito- Ecuador. p. 56

1.7.3.5.- Capacidad de carga.

La capacidad del teleférico será de 240 personas por día, el cual funcionará 10 horas diarias, por lo que este medio de transporte movilizará 24 personas aproximadamente por hora.

1.7.3.6.- Distribución de la carga.

En la distribución de la carga para el teleférico, se diseñará cabinas cerradas con una capacidad de 8 personas por cada una.

Este sistema tiene 3 cabinas (telecabinas) distribuidas así: una cabina en el cable de ida, una cabina en la estación de salida o llegada, y una cabina en el cable de retorno.

1.7.3.6.1.- Análisis costo beneficio de la carga

Para analizar el costo beneficio de la carga, se determinará los precios de los boletos de ingreso al teleférico, además precios administrativos, consumos de corriente eléctrica, etc., así

- $C_{total\ pers}$: Capacidad total de persona diarias : 240 persona
- $Precio\ boleto$: \$2,00 por persona

$$P_{total\ diario} = C_{total\ pers} * Precio\ boleto$$

$$P_{total\ diario} = 240\ pers * \$ 2, 00 = \$ 480, 00$$

$$P_{total\ mes} = \$480, 00 \times 30\ dia = \$14400, 00$$

$$P_{total\ año} = \$14400,00 \times 12\ mes = \$172800,00$$

Ahora se calculará el gasto de energía eléctrica, gastos administrativos así:

$$Gast.\ elec. = Pot.\ motor\ total \times Cons.\ elec.$$

$$Pot.\ motor\ total = Pot.\ motor \times horas\ de\ servicio$$

Dónde:

- Gast. elec.: Gasto eléctrico total
- Pot. motor: Potencia de motor asumido 32HP = 23872 w = 23,872 Kw
- Cons. elec.: Consumo eléctrico 1 kwh = \$ 0,067 según EEQ
- horas de servicio: horas de servicio del teleférico

$$\text{Pot. motor total} = 23,872 \text{ kw} \times 10 \text{ h} = 238,7 \text{ kwh}$$

$$\text{Gast. elec. x hora} = 238,7 \text{ kwh} \times \$ 0,067 = \$15,99 \approx \$16$$

$$G_{\text{total diario}} = \$ 16,00 \times 10 \text{ h} = \$ 160,00$$

$$G_{\text{total mes}} = \$160,00 \times 30 \text{ dia} = \$ 4800,00$$

$$G_{\text{total año}} = \$4800,00 \times 12 \text{ mes} = \$57600,00$$

Se estima para gastos administrativos, de servicios básicos sin incluir luz eléctrica de \$ 1500,00 al mes por tanto al año se gastará de \$18000,00, estos dos valores se sumarán para tomar el gasto total así:

$$G_{\text{total año}} = G_{\text{total año}} + G_{\text{adminis}}$$

$$G_{\text{total año}} = \$57600,00 + \$18000,00 = \$75600,00$$

Para calcular la diferencia se resta del precio total al año, menos el gasto total al año así:

$$\text{Dife}_{\text{total año}} = \$172800,00 - \$75600,00 = \$97200,00$$

Esta diferencia de precio total al año, se tomará en cuenta en el Capítulo IV para los costos totales y así determinar el tiempo estimado para recuperar la inversión total de la construcción del teleférico.

CAPITULO II

2.- DISEÑO DE LOS ELEMENTOS MECÁNICOS

2.1.- REQUISITOS GENERALES

Se dimensionará un teleférico como medio de transporte, que permita disfrutar del entorno que rodea al lugar en donde será construido, para ello contará con 4 sillas dobles ergonómicas, con una capacidad para 8 personas por cabina, a su vez contará con 3 cabinas en movimiento, es decir con una capacidad total de 24 personas de forma simultánea.

Las condiciones topográficas del terreno se muestran en las figs. 2.1, 2.2, 2.3 y 2.4:



Fig. 2.1.- Nivel bajo de superficie (estero)



Fig. 2.2.- Nivel bajo de superficie



Fig. 2.3.- Nivel alto de superficie



Fig. 2.4.- Nivel medio de superficie

Los sistemas que conforman los teleféricos, son los que se trató en el capítulo I y se enumerarán así:

- 1.- Sistema de carga.
- 2.- Sistema de soporte.
- 3.- Sistema de tracción.

2.1.1.- SISTEMA DE CARGA

2.1.1.1.- CONSIDERACIONES PARA EL DISEÑO DE CABLES

En el diseño de cables se tomará en cuenta los aspectos que son importantes al momento de dimensionar el tipo del cable que se utilizará en la construcción del teleférico:

- Los cables son elementos que trabajan axialmente, dentro del rango elástico de comportamiento de los materiales, que serán diseñados bajo grandes deformaciones, con factores de seguridad altos por su funcionamiento mecánico, los cuales oscilan entre 5.0 - 6.0 según recomendaciones internacionales¹⁰.
- Los estados de carga deben revelar el comportamiento individual y el comportamiento integrado de los componentes estructurales.
- Para las solicitudes de servicio se combinará directamente las cargas que actúan sobre la estructura. Para el caso de presentarse cargas eventuales o sobre cargas, se puede sobredimensionar la capacidad resistente en un 33%, o reducir las cargas en un 25%, estas cargas cuyo comportamiento es semidinámico cuando se combinan con las otras cargas gravitacionales pues sufren grandes desplazamientos, como es el caso del cable

¹⁰ ASME B30.26.2004. *Rigging hardware*. The American Society of Mechanical Engineer. New York. p. 10

- Es importante conocer las condiciones topográficas, geológicas, climáticas del sector donde funcionará el teleférico, para trazar los lineamientos que serán los que guíen la fase de diseño.

Por ello debido a las condiciones del terreno se procederá a diseñar un teleférico, el cual tiene una luz de 1100 m (1,10 km) y un desnivel de 110 m ósea 0,11 km. Ver figs. 2.5, 2.6, 2.7, 2.8, tomadas de la ubicación de GPS en el sitio.



Fig. 2.5.- Primer punto de referencia



Fig. 2.6.- Segundo punto de referencia



Fig. 2.7.- Tercer punto de referencia

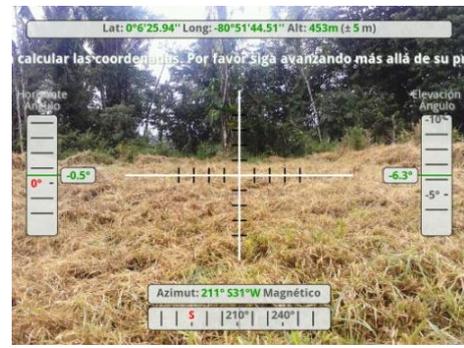


Fig. 2.8.- Cuarto punto de referencia

2.1.1.2.- FACTORES A SER CONSIDERADOS PARA LA SELECCIÓN DEL CABLE¹¹

Muy pocas veces es posible seleccionar un cable que cumpla al máximo la resistencia a la fatiga y abrasión. En general, se debe privilegiar las características más sensibles a la operación que se deba realizar, a cambio de una disminución relativa en aquellas características menos relevantes para el fin determinado.

2.1.1.3.- CABLE COLGANTE¹².

La longitud de cable colgado suspendido de sus extremos a una longitud determinada y actuando su propio peso w se puede calcular con la ec. 2.1. Ver figs. 2.9.

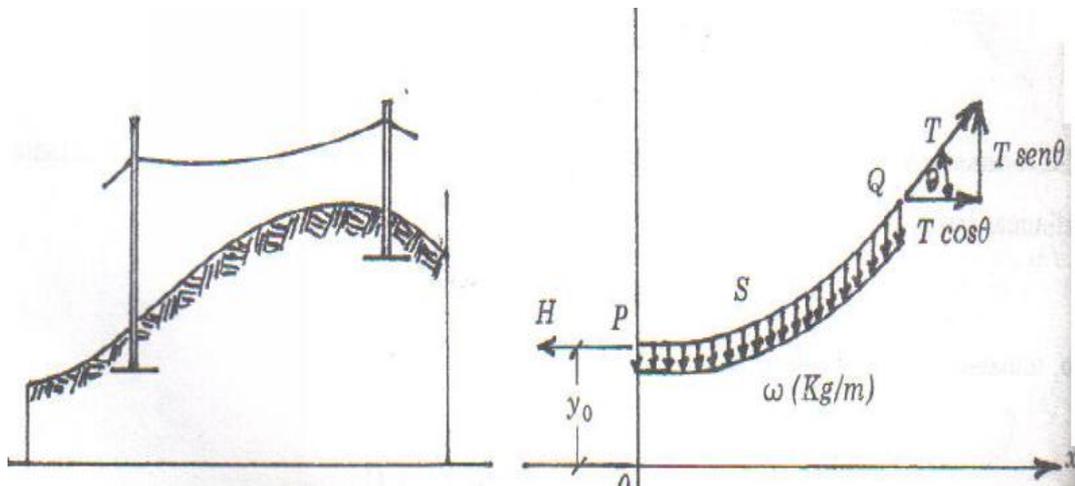


Fig. 2.9.- Ejemplo de cable colgante

$$y = \frac{H}{\omega} \cos h \left(\frac{\omega}{H} x \right) \quad (2.1)$$

¹¹ MARLON ARMIJOS Y RAÚL RAMÍREZ. 2004. *Diseño de un teleférico turístico de 2000 m de longitud ubicado en la colonia Llanganates Parroquia Rio Negro Cantón baños, Provincia de Tungurahua*. Escuela Politécnica Nacional. Quito- Ecuador. p. 56

¹² ING. RENÉ SANDOVAL. 1998. *Ecuaciones diferenciales en las ciencias y en la Ingeniería*. Centro de matemática, Universidad Central del Ecuador. 2 Ed, Quito-Ecuador. P. 40

Pero cuando existe un desplazamiento con relación al suelo, o una diferencia de altura, aparecerá otro factor en la ec. 2.1, ya que en esta se considera que no existe un desplazamiento del cable con relación al suelo, y se determina así:

$$y = \frac{T_1}{w} \cosh\left(\frac{w}{T_1} x\right) + \left(a - \frac{T_1}{w}\right) \quad (2.2)$$

- y : Longitud total de cable
- T_1 : Tensión del cable considerando que el cable sea tensado totalmente
- w : Peso del cable
- a : desplazamiento del cable con relación al suelo

Por tanto con la ec. 2.1 se obtiene la curva de una catenaria cuando no hay variación de “ a ” ó sea es cero, pero cuando no es asimétrica o hay una variación de “ a ” siendo ésta, la distancia del suelo al borde de la catenaria se determina con la ec. 2.2

2.1.1.4.- MODELACIÓN MATEMÁTICA DEL CABLE

Desde el punto de vista estructural, los cables son elementos con una dimensión sensiblemente mayor que las siguientes dos (su longitud), incapaces de resistir esfuerzos de flexión y/o compresión, pero, en cambio, presentan una gran resistencia a la tracción. Bajo una determinada ley de cargas¹³, inclinadas respecto al eje longitudinal del cable, éste se deforma de modo que los esfuerzos de tracción resistan a la carga aplicada. De acuerdo a las condiciones del terreno así como las características del teleférico se considera un cable de longitud inicial L_0 , suspendido entre dos apoyos fijos A y B situados a distinto nivel. La distancia horizontal entre ambos apoyos es L ; mientras que su diferencia de nivel es h , La curva descrita originalmente por el cable en ausencia de cargas (es decir, cuando el cable no se ha deformado), puede parametrizarse en coordenadas cartesianas o por una coordenada lagrangiana s . Para un punto P sobre el cable no deformado, esa coordenada s se define como la longitud del segmento de cable comprendido entre el apoyo A (origen de coordenadas) y el punto P en cuestión. Bajo los efectos de peso propio, el cable se

¹³ <http://estructuras.eia.edu.co/estructurasI/cables/cables.htm>

deforma en el punto P pasa a ocupar una nueva posición. La curva deformada puede parametrizarse en coordenadas cartesianas por una nueva coordenada ξ . Para el punto P, esta coordenada se define como la longitud del tramo de cable deformado comprendido entre el apoyo A y el punto sobre la geometría deformada que correspondería al punto P en la geometría original¹⁴. Ver fig. 2.10

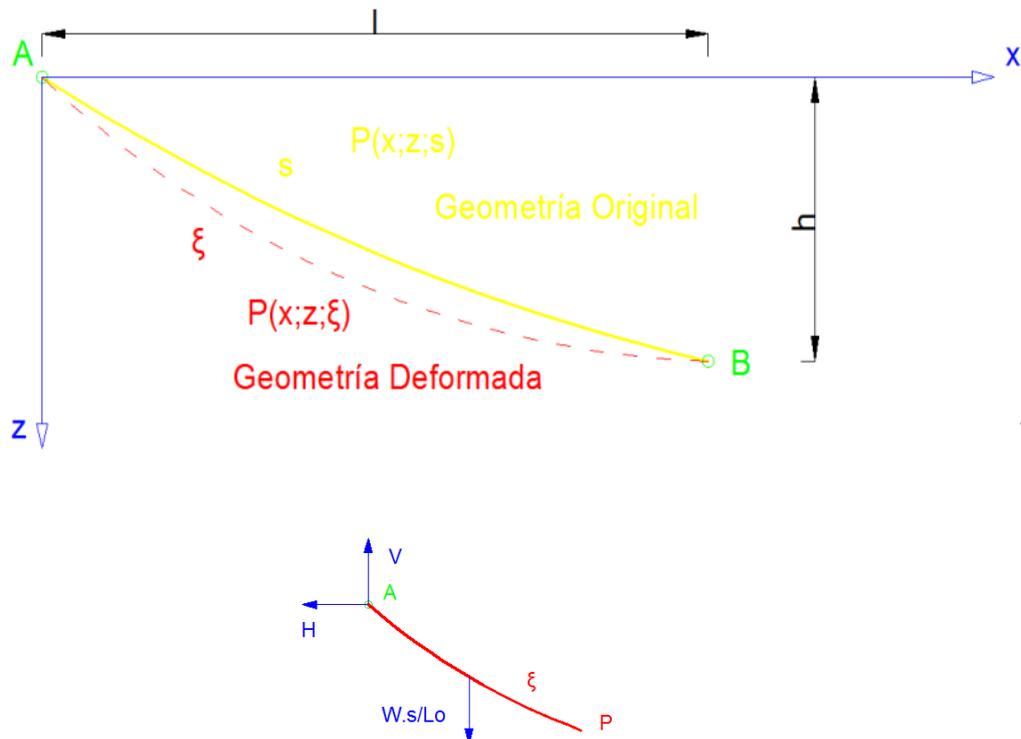


Fig. 2.10.- Catenaria elástica con soporte situados a distinto nivel, (a) Geometría y definición del problema; (b) equilibrio estático de un segmento deformado de cable.

Por tanto existen cuatro configuraciones básicas que nos permiten expresar los modelos matemáticos para 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.**

¹⁴ <http://revistaerm.univalle.edu.co/menun/pdf.php?ano=2008&num=1&idioma=EN&id=95>

En este análisis particular se tendría el caso IV en el cual indica que es un cable que tiene apoyos a desnivel y con una carga concentrada en el centro de la longitud de este¹⁵.

Como se explicó anteriormente, las condiciones topográficas del terreno se adaptan a la modelación de extremos desnivelados, de donde se elige el tipo de carga concentrada al considerarse este como más crítico, primando la seguridad y teniendo la siguiente configuración: Ver fig. 2.11

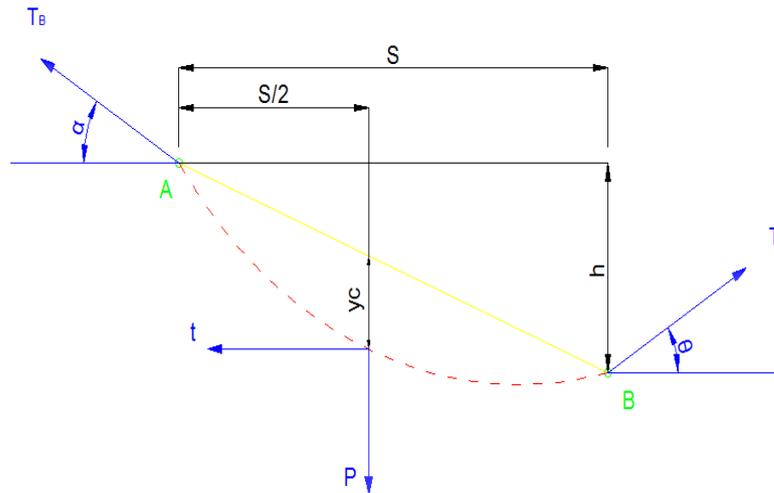


Fig. 2.11.- Esquema de un cable con apoyos a desnivel y con carga en el centro de la luz

Cualquier cable tendido y amarrado en sus extremos cuyos apoyos se encuentran en un mismo o diferente nivel, adoptan la forma de una catenaria, por ello se procede a utilizar fórmulas fundamentales de la parábola para realizar el cálculo de la misma así:

¹⁵ MARLON ARMIJOS Y RAÚL RAMÍREZ. 2004. *Diseño de un teleférico turístico de 2000 m de longitud ubicado en la colonia Llanganates Parroquia Rio Negro Cantón baños, Provincia de Tungurahua*. Escuela Politécnica Nacional. Quito- Ecuador. p. 90.

Tensión horizontal del Cable:

$$t = \frac{S(2P+WS)}{8y_c} \quad (2.10)$$

Tensiones en los apoyos:

$$T_A = \frac{t}{\cos\theta} \quad (2.11)$$

$$T_B = \frac{t}{\cos\alpha} \quad (2.12)$$

Ángulos que forman las tensiones con el eje horizontal:

$$\tan \theta = \frac{P+WS}{2t} - \frac{h}{s} \quad (2.13)$$

$$\tan \alpha = \frac{P+WS}{2t} + \frac{h}{s} \quad (2.14)$$

Longitud del cable

$$L = \left(1 + \frac{8y_c^2}{3S^2}\right) \sqrt{S^2 + h^2} \quad (2.15)$$

- t : Tensión horizontal del cable, en kg.
- T_A : Tensión en el apoyo izquierdo del cable, en kg.
- T_B : Tensión en el apoyo derecho del cable, en kg.
- θ : Ángulo que forma la tensión izquierda del cable, en rad.
- α : Ángulo que forma la tensión derecha del cable, en rad.
- L : Longitud del cable, en m.
- P : Carga concentrada que actúa sobre el cable, en kg.
- W : Carga distribuida en el cable, la cual incluye el peso propio del cable y la carga de viento, en kg/m.
- S : Luz entre los apoyos del cable, en m.
- h : Diferencia de altura entre los apoyos del cable, en m.
- y_c : Flecha en el punto medio de la luz que forma el cable, en m.

Para el cálculo de las tensiones presentes en cada tramo se procede a determinar parámetros funcionales como los correspondientes a la carga que soportará el cable.

De lo anteriormente descrito se sabe que el teleférico constará de tres cabinas, con una capacidad para 8 personas distribuidas en cuatro sillas dobles, es decir veinticuatro personas en total, con los cuales se obtendrá los siguientes resultados:

Ver tabla 2.1

ELEMENTO	CANTIDAD	PESO (kg)	TOTAL (kg)
Cabinas	3	150	450
sillas	12	80	960
Personas	24	80	1920
TOTAL			3330

Tabla 2.1.- Peso total con cabina carga al máximo

Cabe resaltar que los valores mostrados en la tabla 2.1 están sobredimensionados con el fin de introducir un factor de seguridad en el cálculo del cable.

2.1.1.5.- DETERMINACIÓN DE CARGAS PRESENTES EN EL CABLE

2.1.1.5.1.-Carga de viento

Las estructuras del sistema teleférico son de tipología estructural abierta, con pequeñas áreas de incidencia, lo cual genera cargas resultantes relativamente pequeñas.

En el diseño se ha considerado una velocidad de viento de 200 Km/h, y cuyos efectos no son significativos en el comportamiento de los sistemas estructurales, pero sí podrían afectar en la funcionalidad del sistema teleférico, en cuanto a la desestabilización y movimiento de los carros transportadores, y por ende a las personas transportadas.

A continuación se realiza un análisis de la carga de viento y se determinará si su efecto altera el comportamiento estructural del sistema.

En el diseño de estructuras sometidas a la acción del viento se tomará en cuenta los siguientes efectos:

- Empujes y succiones estáticos;
- Fuerzas dinámicas paralelas y transversales al flujo principal, causadas por turbulencia;
- Vibraciones transversales al flujo causadas por vórtices alternantes; e
- Inestabilidad aeroelástica.

Debido a los efectos antes considerados es importante tomar en cuenta la siguiente hipótesis de diseño para la determinación del empuje longitudinal, lo que servirá de base para el cálculo de las torres.

$$H = 60\% * W_w + 80\% * P_{\text{Persona}} \quad (2.16)$$

Dónde:

- H : Hipótesis de diseño
- W_w : Presión del viento (kg)
- P personas: Carga total de personas (kg)

Esto se debe a que la probabilidad es muy baja de que ambas fuerzas se encuentren a plena carga, por lo que se diseña para el estado de carga determinado, con el fin de considerar la carga por acción del viento sobre los cables, y se aplicará la ec. 2.17, o la ec. 2.18:

Para luces de hasta 200 m:

$$W_w = 0,75P_w d \left[\frac{\text{Kg}}{\text{m}} \right] \quad (2.17)$$

Para luces mayores de 200 m:

$$W_w = 0,75CP_w d(80 + 0,6a) \left[\frac{\text{Kg}}{\text{m}} \right] \quad (2.18)$$

Dónde:

- W: Carga del viento, en daN
- C: Coeficiente aerodinámico (ver tabla 2.2)
- P_w: Presión de viento, en kg/m²
- d: Diámetro del cable, en m
- a: Luz del trayecto, en m

TABLA 2.2 Coeficiente Aerodinámico	
Diámetro del cable, en mm	C
d=1,25	1,2
12,5 < d < 15,8	1,1
d > 15,8	1
Cable de sección no circular	1,3

Tabla 2.2.- Coeficiente aerodinámico

Presión del viento¹⁶

$$P_w = \frac{V_w^2}{16} \quad (2.19)$$

- V_w: Velocidad del viento, en m/s

Se considera una velocidad de viento de 200 km/h (55,56 m/s), lo que permite abarcar todas las posibles de sobrecargas debidas al viento:

$$P_w = \frac{(55,56 \text{ m/s})^2}{16} = 192,93 \left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^2} \right)$$

¹⁶ EMSD. 2002. *Code of Practice on the Design, Manufacture and Installation of Aerial Ropeway*. The Government of the Honk Kong Special Administraive Region. p. 12

Como se tiene una luz mayor a 200 m se utiliza la ec. 2.18:

$$W_w = 0,75CP_w d(80 + 0,6a) \left[\frac{\text{Kg}}{\text{m}} \right]$$

El coeficiente aerodinámico “C” con relación del diámetro del cable según la tabla 2.2 es igual a 1, el diámetro de cable escogido es 1 3/8 pulg., dando como referencia 0.034925 m y la longitud real recorrida es 1100 m así

$$W_w = 0,75 * (1) * (192,93) * (0,028575) * [80 + 0,6 * (1100)] \text{ [kg]}$$

$$W_w = 3059.16 \text{ [kg]}$$

Se toma un cable de 1 3/8 pulg., el cual tiene un peso propio de 5,21 kg/m y se realizará los cálculos respectivos para verificar si cumple con las condiciones de diseño.

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

$$P = P_{\text{personas}} + P_{\text{cabinas}} \quad (2.20)$$

$$W = W_w' + W_{\text{cable}} \quad (2.21)$$

Según la hipótesis de diseño:

$$P'_{\text{personas}} = 0,8 * (P_{\text{persona}}) \quad (2.22)$$

$$P = 0,8 * (P_{\text{persona}}) + P_{\text{cabinas}} \text{ [kg]} \quad (2.23)$$

$$P = (0,8 * 1920) \text{ kg} + 150 \text{ kg} = 1986 \text{ kg}$$

$$W_w'' = \frac{W_w}{2a} = \frac{3059.16 \text{ kg}}{2(1100\text{m})} = 1.39 \frac{\text{kg}}{\text{m}}$$

$$W_w' = 0,6 * W_w'' = 0,6 * 1.39 \frac{\text{kg}}{\text{m}} = 0,834 \frac{\text{kg}}{\text{m}}$$

Aplicando la ec. 2.21 se tiene:

$$W = 0,834 \frac{\text{kg}}{\text{m}} + 5,21 \frac{\text{kg}}{\text{m}}$$

$$W = 6.044 \left[\frac{\text{kg}}{\text{m}} \right]$$

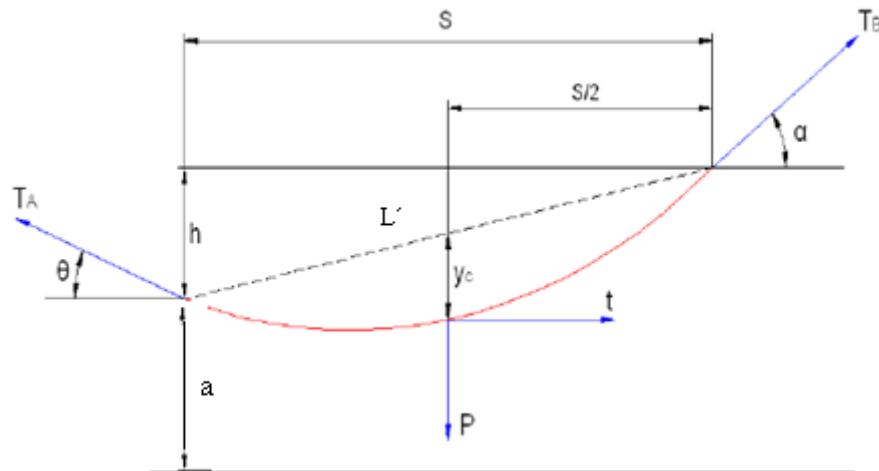


Fig. 2.12.- Catenaria elástica con soporte situados a distinto nivel.

Para determinar el valor de Y_c , que es el valor de la flecha el cual generalmente es de 5.5 al 6% de S . Debido a que el valor de S es grande, considerando el relieve y tomando en cuenta que S nos ayuda a determinar la distancia total del cable, y se tomara en cuenta únicamente un valor de (4-6) % de S , de los cuales se calculará con el 6%. Ver fig. 2.12

$$y_c = (4 - 6) \% * S \quad (2.24)$$

$$y_c = 6\% * 1100\text{m} = 66\text{m}$$

- S : Luz entre los apoyos del cable, en m.
- y_c : Flecha en el punto medio de la luz que forma el cable, en m

Con ec. 2.10 el resultado es:

$$t = \frac{1100m \left[2 * (1986\text{kg}) + 6.044 \frac{\text{kg}}{\text{m}} (1100\text{m}) \right]}{8 * (66\text{m})} [\text{Kg}]$$

$$t = 22125.83 [\text{Kg}]$$

Con la ec. 2.13 resulta el siguiente resultado

$$\tan \theta = \frac{1986 + (6.044) * (1100)}{2 * (22125.83)} - \frac{110}{1100}$$

$$\theta = 5.43^\circ$$

Ahora con la ec. 2.14 se resolverá el ángulo α así:

$$\tan \alpha = \frac{1986 + (6.044) * (1100)}{2 * (22125.83)} + \frac{110}{1100}$$

$$\alpha = 16.44^\circ$$

Para el cálculo de las T_A , T_B se utiliza las ec. 2.11 y 2.12 respectivamente así:

$$T_A = \frac{22125.83}{\cos (5.43^\circ)} = 22225.56[\text{kg}]$$

$$T_B = \frac{22125.83}{\cos (16.44^\circ)} = 23068.96[\text{kg}]$$

Finalmente para determinar la longitud total del cable tensado al máximo se utiliza la ec. 2.15 por tanto:

$$L = \left(1 + \frac{8 * 66^2}{3 * 1100^2} \right) \sqrt{1100^2 + 110^2} = 1116.09\text{m}$$

2.1.1.5.2.- Factor de seguridad¹⁷

Con la ec. 2.25 se determinará el factor de seguridad del cable así:

$$\eta = \frac{R_{\mu}}{T_{\max \text{ cal.}}} \quad (2.25)$$

Por tanto:

- R_{μ} : Resistencia última a la tracción del cable
- $T_{\max \text{ cal.}}$: Tensión máxima obtenida, en este caso T_B .

$$\eta = \frac{86850}{23068.96} = 4,78$$

Con este factor de seguridad se asegura que el cable no falle a la tensión, además se verificará del rango establecido por normas internacionales para la utilización de cables. Ver tabla 2.3

APLICACIÓN	FACTOR
Tirantes de cable o torones (trabajo estático)	3 a 4
Cables principales para puentes colgantes	3 a 3,5
Cables de suspensión (péndulo para puentes colgantes)	3,5 a 4
Cables carril para teleféricos y andariveles	3 a 4
Cables de tracción para teleféricos y andariveles	4 a 6
Cables de arrastre para sky	5 a 5,5
Cada cable de operación de una grúa almeja	4 a 5
Palas mecánicas – excavadoras	5
Cable de arrastre en minas	4 a 5
Cables de izaje en minas (vertical e inclinado)	7 a 8
Grúas teclas y polipastos industriales	6 (mínimo)
Grúas - tipo puente, portal, pluma, derrick, etc.	6 (mínimo)
Ascensores - elevadores - para personal	12 a 15
Ascensores - elevadores - para material y equipos	7 a 10
Grúas con crisoles calientes de fundición	8 (mínimo)
Cables no rotatorios, antigiratorios, etc.	10 (mínimo)

Tabla 2.3.- Factores de seguridad recomendadas para cables usados en distintas aplicaciones

¹⁷ MARLON ARMIJOS Y RAÚL RAMÍREZ. 2004. *Diseño de un teleférico turístico de 2000 m de longitud ubicado en la colonia Llanganates Parroquia Rio Negro Cantón baños, Provincia de Tungurahua*. Escuela Politécnica Nacional. Quito- Ecuador. p. 56

2.1.1.5.3.- Cálculo de cargas presentes en el cable

Para determinar este parámetro se calculará con las ecs. 2.26, 2.27, 2.28, 2.29, 2.30, además se muestra su forma en la fig. 2.13:

$$h_{total} = h_{1,2,3,4} - Y_c - a \quad (2.26)$$

$$y_c = 4 - 6\% * S \quad (2.27)$$

$$a = h_{total} - h_{1,2,3,4} - Y_c \quad (2.28)$$

$$h = S \left(\tan \alpha - \frac{P+WS}{2t} \right) \quad (2.29)$$

$$y(x) = \frac{T_1}{W} \cosh \left(\frac{W}{T_1} x \right) + \left(a - \frac{T_1}{W} \right) \quad (2.30)$$

Al basarse en la trayectoria del teleférico mostrado en el plano correspondiente, ver fig. 2.13 y estableciendo un sistema de coordenadas adecuado (El origen está ubicado en la rueda motriz de la estación de salida), se tendrá la tabla 2.4:

PUNTO	COORDENADAS		LUZ (S) M	ALTURA (h) m	D m
	X	Y			
A	0	0	25	4,38	25,38
B	25	104,19			
C	25,5	1,09	700	66,99	703,20
D	725,5	63,13			
E	726	111,37	300	42,84	303,04
F	1026	173,7			
G	1026,5	217,46	75	12,7	76,07
H	1101,5	236,45			

Tabla 2.4.- Determinación de coordenadas, luz, altura, deflexiones

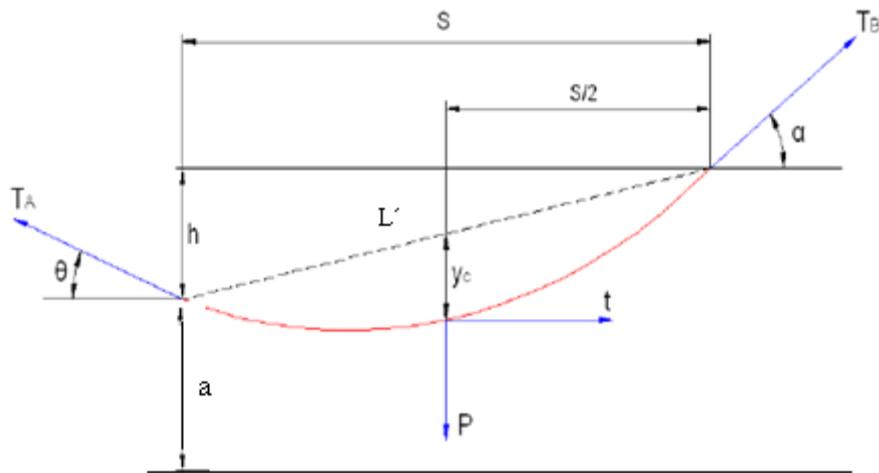


Fig. 2.13.- Esquema de un cable con apoyos a desnivel y con carga en el centro de la luz

El valor de L' corresponde a la longitud que tendrá el cable si estuviera totalmente tenso entre los dos puntos ubicados a diferente desnivel.

En función de los valores mostrados se procede a determinar el criterio de división de toda la longitud del cable, para la ubicación de cada uno de los elementos que le soportarán al cable como son torres, estación de salida y llegada, etc., así como también haciendo uso de la ec. 2.30 se tendrá, en la tabla 2.5 así:

L'	Y_c	L	LONGITUD TOTAL DEL CABLE	LONGITUD CABLE EN UN SENTIDO	NÚMERO DE DIVISIONES	DISTANCIA ENTRE DIVISIÓN
25	1,5	25,67	2232,18	1116,09	10	223,22
700	42	706,72	2232,18	1116,09	10	223,22
300	18	316,74	2232,18	1116,09	10	223,22
75	4,5	75,72	2232,18	1116,09	10	223,22

Tabla 2.5.- Determinación de longitudes, número de divisiones

De la longitud total del cable calculada se divide para 10 para la colocación de las torres secundaria a una misma distancia aproximadamente, las cuales ayudarán a sostener el cable motriz a lo largo de la trayectoria planteada.

2.1.1.5.4.- Cálculo de tensiones en cada tramo

Para el análisis de cada una de las tensiones presentes en cada tramo de la trayectoria del cable, se dividirá según se muestra en la tabla 2.6, y aplicando las ecs. 2.26, 2.27, 2.28, 2.29 resumiendo así:

TRAMOS	DISTANCIA (a) m	PUNTOS DE REFERENCIA BAJOS (m)	PUNTO DE REFERENCIA ALTOS (m)	DISTANCIA ENTRE TORRES CALCULADO (m)	VALOR APROXIMADO (m)
I	104,12	383	493	5,88	6
II	1,01	383	493	108,99	109
III	49,16	383	493	60,84	61
IIII	92,8	383	493	17,2	17

Tabla 2.6.- Determinación de tramos

Los puntos de referencias bajas y altas son valores tomados en base a los datos obtenidos por el teodolito mostrado en las figs. 2.5, 2.6, 2.7, 2.8

TRAMO 1: Entre la estación de salida y la torre 1 (6 m de altura).

TRAMO 2: Entre la torre 1, torre 2, 3 (109 m de altura, 77 m de altura respectivamente).

TRAMO 3: Entre la torre 3, torre 4 (61 m de altura).

TRAMO 4: Entre la torre 4 y torre 5 (17 m de altura).

Aplicando las ecs. 2.26, 2.27, 2.28, 2.29, se obtienen los resultados en la tabla 2.7 considerando que la sección crítica corresponde al tramo II, por las irregulares del terreno. En función de esta se determina la tensión máxima presente en el cable y luego se calculará los ángulos en cada tramo, considerando que el cable transmite la misma tensión.

Además de los valores obtenidos se observa que el tramo crítico correspondiente al tramo II, como se puede verificar los factores de seguridad toma valores de 4,39 a 6,09 que están dentro de las recomendaciones para la construcción del teleférico.

En cuanto a los valores necesarios para el cálculo del factor de seguridad del cable, determinados con la ec. 2.25, dato de vital importancia para determinar la resistencia del mismo, siendo de diámetro de cable escogido $1 \frac{3}{8}$ pulg., el cual nos brinda un factor de seguridad que se encuentra dentro de las recomendaciones internacionales para el diseño de teleféricos. Ver tabla 2.7

TRAMO 1														
Cable (pulg)	Diámetro (m)	Carga Viento (Kg/m)	Peso Cable (Kg/m)	Peso Personas (Kg)	Peso Cabinas (Kg)	Peso Cable + Carga. Viento. (Kg/m)	Peso Personas + Cabina (Kg)	Tensión Ultima Tu (Ton)	Tensión Horizontal To (Kg)	θ	a	TA (KB)	TB (kg)	F.S.
1	0,0254	4,90	2,75	80	75	7,65	155	46750	8673,46	-20,11	1,775	28343,15	-42781,38	1,09
1(1/8)	0,0286	5,51	3,48	80	75	8,99	155	59000	8743,38	-20,49	1,7862	-130344,17	-40902,62	0,45
1(1/4)	0,0318	6,13	4,3	80	75	10,43	155	72250	8818,00	-20,90	1,7982	-19111,68	-39119,07	1,85
1(3/8)	0,0349	6,74	5,21	80	75	11,95	155	86850	8897,30	-21,35	1,8108	-11112,46	-37434,24	2,32
TRAMO 2														
1	0,0254	4,90	2,75	1280	300	7,65	1580	46750	19431,87	10,70	2,91	-66430,06	-19959,46	0,70
1(1/8)	0,0286	5,51	3,48	1280	300	8,99	1580	59000	21389,75	10,18	0,86	-29498,43	32629,61	1,81
1(1/4)	0,0318	6,13	4,3	1280	300	10,43	1580	72250	23478,89	9,77	-0,13	-24944,29	23678,20	2,90
1(3/8)	0,0349	6,74	5,21	1280	300	11,95	1580	86850	25699,28	9,43	-2,84	-25699,51	-26925,03	4,38
TRAMO 3														
1	0,0254	4,90	2,76	640	150	7,66	790	46750	8290,96	8,61	-0,44	-12023,61	9182,34	3,89
1(1/8)	0,0286	5,51	3,49	640	150	9,00	790	59000	8293,76	7,11	-0,44	12229,57	9160,27	4,82
1(1/4)	0,0318	6,13	4,31	640	150	10,44	790	72250	8296,74	5,99	-0,43	8679,62	9137,32	8,32
1(3/8)	0,0349	6,74	5,22	640	150	11,96	790	86850	8299,91	5,12	-0,43	21026,99	9113,61	3,13
TRAMO 4														
1	0,0254	4,90	2,75	80	75	7,65	155	46750	8290,94	-66,84	0,66	-12732,11	10463,09	4,47
1(1/8)	0,0286	5,51	3,48	80	75	8,99	155	59000	8293,74	-111,82	0,66	28796,31	10469,81	2,05
1(1/4)	0,0318	6,13	4,3	80	75	10,43	155	72250	8296,72	-395,95	0,66	8345,99	10476,99	6,90
1(3/8)	0,0349	6,74	5,21	80	75	11,95	155	86850	8299,89	233,11	0,66	10296,14	10484,63	8,28

Tabla 2.7.- Determinación de factores de seguridad por tramos.

Para realizar un cálculo adecuado de las distintas partes constituyentes del teleférico se procede a escoger la máxima tensión dada en el tramo crítico la cual es 22125,83 kg; se aproxima a 22 toneladas.

2.1.1.2.- SISTEMA DE POTENCIA

2.1.1.2.1.- Determinación de la potencia del sistema¹⁸

La determinación de la potencia del sistema es necesaria para seleccionar el motor del sistema, además al determinar la potencia de arranque del sistema esta será un nuevo estado de carga, el cual generará cargas críticas para la selección o diseño de elementos que constituirán el teleférico.

2.1.1.2.2.- Potencia de funcionamiento

Es la potencia que necesita el motor para mantener en movimiento al teleférico comprendido: por las cabinas, el cable a través del recorrido y vencer el rozamiento que se genera por este movimiento.

De esta forma la potencia de funcionamiento resulta ser:

$$P_f = F_f * V + M_f * \omega \quad (2.31)$$

Determinando:

- F_f : Fuerza de funcionamiento, en kg.
- V : Velocidad de las cabinas, en m/s.
- M_f : Momento flector necesario para flejar el cable sobre las ruedas de tracción y reenvío, en kg - m.
- ω : Velocidad angular de las ruedas de tracción y reenvío, en rad/s.

¹⁸ MARLON ARMIJOS Y RAÚL RAMÍREZ. 2004. *Diseño de un teleférico turístico de 2000 m de longitud ubicado en la colonia Llanganates Parroquia Rio Negro Cantón baños, Provincia de Tungurahua*. Escuela Politécnica Nacional. Quito- Ecuador. p. 121

2.1.1.2.3.- Fuerza de funcionamiento F_f

Es la necesaria para mover el cable venciendo la fuerza de rozamiento y la potencia necesaria existente para flejar entre el cable, y las ruedas tanto de tracción, como reenvío, también el rozamiento entre el cable y los componentes de soporte en las torres y las estaciones. La fuerza de funcionamiento resulta de la suma de varios componentes como se enumeran a continuación:

2.1.1.2.3.1.- Fuerza tangencial del peso de las cabinas

Es la componente tangencial del peso de las cabinas sobre el cable; para determinar esta fuerza se considera que las cabinas están en el tramo del recorrido con mayor pendiente y cargadas a su máxima capacidad. Ver fig. 2.14

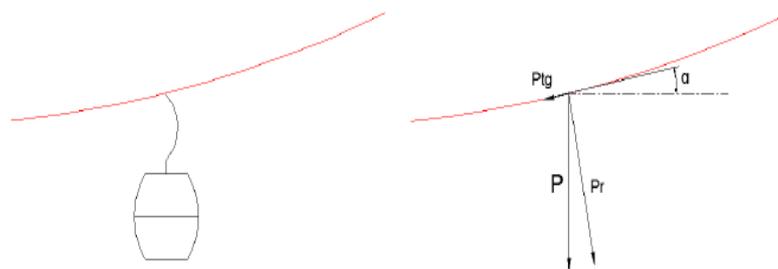


Fig. 2.14.- Fuerza debido al peso de la cabina

Por tanto:

- P: Peso de la cabina cargada a toda su capacidad, 150 kg para cabina, 320 kg para sillas y 640 kg para personas referencia toma de la tabla 2.8.
- α : Ángulo máximo del cable en todo el recorrido respecto a la horizontal 16.44°

CANT	ITEM	PESO INDIVIDUAL (KG)	TOTAL (KG)
1	Cabina	150	150
8	Personas	80	640
4	Sillas	80	320
TOTAL			1110

Tabla 2.8.- Cabina cargada en su totalidad.

$$P_{\text{tagcabin}} = \sum P * \sin \alpha \quad (2.32)$$

$$P_{\text{tagcabin}} = 3 * (1100 \text{ Kg} * \sin 16.44^\circ) = 933.93 \text{ kg}$$

2.1.1.2.3.2.- Fuerza de rozamiento por rodadura entre las poleas de los trenes de poleas y el cable.

Para determinar esta fuerza es necesario considerar el rozamiento máximo que se genera con el movimiento del cable sobre todas las poleas. De esta forma:

$$F_{\text{roz}} = n_2 * u_2 N_2 + u_3 N_3 \quad (2.33)$$

$$N_2 = T \sin \frac{\alpha_1}{2} \quad (2.34)$$

$$N_3 = T \sin \frac{\alpha_2}{2} \quad (2.35)$$

Reemplazando las ecuaciones anteriores se tendrá

$$F_{\text{roz}} = n_2 * u_2 T \sin \frac{\alpha_1}{2} + u_3 T \sin \frac{\alpha_2}{2} \quad (2.36)$$

Lo mismo que resulta:

- n_2 : Número total de poleas de soporte en estaciones y en torres
- u_2 : Coeficiente de rozamiento en rodamientos de las poleas de apoyo $f=0.005$ tomado del manual SKF. Se puede verificar en el Anexo A3
- T : Tensión máxima del cable durante el recorrido, $T=23068 \text{ kg}$.
- α_1 : Ángulo máximo de flexión en las poleas de apoyo, $\alpha_1=16.44^\circ$
- α_2 : Ángulo de contacto en las poleas de tracción y reenvío, $\alpha_2 = 144^\circ$
- u_3 : Coeficiente de rozamiento en rodamientos de las poleas de tracción y reenvío, $f=0,0005$ tomado del manual de SKF. Se puede verificar en el Anexo A3
- N_3 : Fuerza normal cada polea de apoyo
- N_2 : Fuerza normal cada polea de tracción y reenvío.

$$F_{roz} = 100 * (0.005)23068.96 \text{ kg} \left(\sin \frac{16.44}{2} \right) + (0.005)23068.9 \text{ kg} \left(\sin \frac{144}{2} \right)$$

$$F_{roz} = 174 \text{ kg}$$

- $\alpha_2=144^\circ = 2.51 \text{ rad.}$ - Este ángulo se deriva de la disposición de las estructuras de soporte en las que las estaciones como se indica en la fig. 2.15

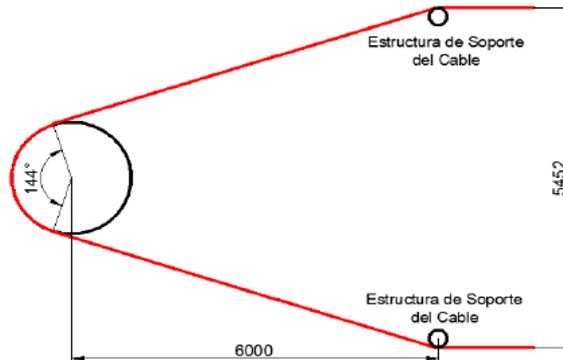


Fig. 2.15.- Disposición de las estructuras de soporte del cable en las estaciones

De esta manera la fuerza de funcionamiento es:

$$F_f = \sum P * \sin \alpha + n_2 * u_2 T \sin \frac{\alpha_1}{2} + u_3 T \sin \frac{\alpha_2}{2} \quad (2.37)$$

$$F_f = 933.93 \text{ kg} + 174 \text{ kg} = 1107.93 \text{ kg}$$

Una vez que se han obtenido los valores correspondientes a la fuerza de funcionamiento, se aplicará la ec. 2.38:

$$P_f = F_f * V \quad (2.38)$$

Para este cálculo se considera una velocidad de cabina de 1 m/s de lo cual se obtiene.

$$P_{f_1} = 1107.93 \text{ kg} * 1 \left(\frac{\text{m}}{\text{s}} \right) = 11079.3 \text{ (W)} = 15 \text{ (HP)}$$

2.1.1.2.3.3.- Momento flector del cable

Es el momento necesario para flejar el cable sobre las ruedas de tracción y reenvío, y se determina a través de:

$$M_f = \sum \frac{EI}{\rho} \quad (2.39)$$

Dónde:

- E= módulo de elasticidad del cable E=5000 kg/mm² según la tabla 2.9:

Construcción Cables Negros	Modulo de Elasticidad (kg/mm ²)
Serie 6 x 7 Alma de Fibra	6300
Serie 6 x 7 Alma de Acero	7000
Serie 6 x 19 Alma de Fibra	5000
Serie 6 x 19 Alma de Acero	6000
Serie 6 x 37 Alma de Fibra	4700
Serie 6 x 37 Alma de Acero	5600
Serie 18 x 7 Alma de Fibra	4300
Serie 18 x 7 Alma de Acero	4500
Torones Galvanizados	
1 x 7 (6/1)	11000
1 x 19 (12/6/1)	10000
1 x 37 (18/12/6/1)	9500

Tabla 2.9.- Características del cable

- I= momento de inercia de la sección circular del cable, $I = \frac{\pi r^4 \text{cable}}{4}$

$$\phi_{\text{cable}} = 1 \frac{3}{8} \text{ pulg} = 0.0349 \text{ m}$$

$$r_{\text{cable}} = 0.0174 \text{ m}$$

- ρ =Radio de la rueda de tracción o reenvío; en m

$$I = \frac{\pi * (0.0174)^4}{4} = 7.199 \times 10^{-8} \text{ m}^4$$

$$\rho = 4.5 \text{ m}$$

$$M_f = 5 \left(\frac{5 \times 10^9 \text{ kg/m}^2 * 7.2 \times 10^{-8} \text{ m}^4}{4.5 \text{ m}} \right) = 400 \text{ kg. m}$$

Una vez que se han obtenido los valores correspondientes al momento flector del cable, se aplicará la siguiente ec. 2.40:

$$P_f = M_f * \omega \quad (2.40)$$

Para este cálculo se considera una velocidad de 1,5 rad/s de lo cual se obtiene.

$$\omega = 1.5 \frac{\text{rad}}{\text{s}}$$

$$P_f = 400 \text{ kg. m} * 1.5 \frac{\text{rad}}{\text{s}} = 600 \text{ kg} \frac{\text{m}}{\text{s}} = 6000 \text{ (W)}$$

$$P_{f_2} = 6000 \text{ [W]} = 8.046 \text{ [HP]} \approx 9 \text{ [HP]}$$

Para vencer este efecto combinado se tendrá que la potencia necesaria del motor es

$$P_f = P_{f_1} + P_{f_2} \quad (2.41)$$

$$P_f = (15 + 9) \text{ [HP]} = 24 \text{ [HP]}$$

2.1.1.2.4.-POTENCIA DE ARRANQUE¹⁹

Es la potencia necesaria para vencer la inercia de todo el teleférico. Esto incluye a todas las poleas de soporte, ruedas de tracción y reenvío; la masa del cable y las cabinas; para flexionar el cable motriz sobre las ruedas de tracción y reenvío.

Esta potencia de arranque se calculará con la ec. 2.42:

$$\text{Potencia}_{\text{arranque}} = \omega * \sum_i^n \tau_i \quad (2.42)$$

¹⁹ MARLON ARMIJOS Y RAÚL RAMÍREZ. 2004. *Diseño de un teleférico turístico de 2000 m de longitud ubicado en la colonia Llanganates Parroquia Rio Negro Cantón baños, Provincia de Tungurahua*. Escuela Politécnica Nacional. Quito- Ecuador. p. 124.

Revisando se tendrá:

- τ_i : Torque realizado para vencer la inercia de los diferentes componentes del sistema, en kg-m.
- ω : Velocidad angular de la rueda de tracción, en rad/s.

De acuerdo a lo anterior, se determinará los siguientes parámetros:

2.1.1.2.4.1.- Torque para el arranque de las ruedas de tracción y reenvió.

Para determinar la inercia de las ruedas que existen en el teleférico se las considerará como que fuesen discos sólidos. De esta forma, la inercia de un disco que gira alrededor de un eje que pasa por su centro, será

$$I = \frac{1}{2} m \cdot r_p^2 \quad (2.43)$$

- m : Masa de la polea, en kg (Tomando en consideración un valor sobredimensionado igual a 1250 kg)
- r_p : Radio de la rueda, en m (Para ruedas de tracción y reenvió es 4.5 m)

Entonces se tiene:

$$I = \frac{1}{2} (1250 \text{ kg}) * 4.5^2 \text{ m}^2 = 12656.25 \text{ Kg m}^2$$

Una vez determinada la inercia de las ruedas, se tiene que el torque necesario para vencer su inercia, es el producto de la inercia por su aceleración angular, es decir:

$$\tau_{ruedas} = \sum_i^n I_i * \alpha_i \quad (2.44)$$

T=2 min=120 seg

$$\alpha_i = \frac{\omega}{t} = \frac{v}{r_p t} \quad (2.45)$$

$$\tau_{ruedas} = \sum_i^n I_i * \frac{v}{r_p t} \quad (2.46)$$

Resultando así:

- I_i : Inercia de la rueda analizada, en kg-m².
- V : Velocidad del cable, en m/s. [Para el sistema será 1m/s]
- t : Tiempo de arranque del sistema, en s.
- ω : Aceleración angular de cada rueda

Considerando que el sistema teleférico debe ofrecer a los usuarios un arranque suave se considera un tiempo de arranque de 2 min., es decir 120 s

Por lo tanto suponiendo que las dos ruedas tanto la motriz como la de arrastre presentan la misma aceleración angular se tendrá:

Aplicando la ec. 2.46 se obtendrá:

$$\tau_{ruedas} = 2 \left(12656.25 \text{ kg m}^2 * \frac{1 \text{ m/s}}{4.5 \text{ m} * 120 \text{ s}} * 2\pi \right) = 294.52 \left[\frac{\text{kg m}^2}{\text{s}^2} \right]$$

$$\approx 0.046 \text{ [N.m]}$$

Poleas de apoyo = 98

$r_p = 0.15 \text{ m}$ para poleas de apoyo

$m.=100 \text{ kg}$

Analizando para las poleas de apoyo se tendrá que con un número de 98 presentan un torque necesario de y aplicando las ecs. 2.43, 2.44, 2.45:

$$\alpha = \frac{1 \text{ m/s}}{0.15 \text{ m} * 120 \text{ s}} * 2\pi = 0.34 \left[\frac{\text{rad}}{\text{s}} \right]$$

$$I = \frac{1}{2} (100 \text{ kg}) * 0.15^2 \text{ m}^2 = 1.125 \text{ [kg m}^2\text{]}$$

$$\tau = 98 \left(1.125 \text{ kg m}^2 * 0.34 \frac{\text{rad}}{\text{s}} \right) = 37.48 \text{ [J]}$$

En términos de potencia se tendrá aplicando la ec. 2.42 logrando:

$$P_{\text{potencia}} = 1.5 \frac{\text{rad}}{\text{s}} * 37.48 \text{ [J]} = 56.22 \text{ [W]} = 0.075 \text{ HP}$$

Por ser una potencia muy pequeña se considera como $\frac{1}{4}$ HP siendo aproximadamente de 0.25 HP

2.1.1.2.4.2.- Torque para el arranque del cable

Es el torque necesario para sacar el cable del reposo; para esto, primero se determina la fuerza necesaria para mover el cable F_{cable} mediante la siguiente ecuación:

$$F_{\text{cable}} = m_c a_c = m_c \frac{V}{t} \quad (2.46)$$

En base a esta fuerza requerida se determina el torque necesario para mover el cable mediante el empleo de la ecuación siguiente:

$$\tau_{\text{cable}} = F_{\text{cable}} * r_p = m_c * \frac{V}{t} * r_p \quad (2.47)$$

$$m_c = W_c * L_C \quad (2.48)$$

Reemplazando se tendrá

$$\tau_{\text{cable}} = W_c * L_C * \frac{V}{t} * r_p \quad (2.49)$$

Su significado es:

- W_c : peso de cable para este caso de sección circular de 1 3/8 es 5.21 kg/m
- L_C : es la longitud total del cable 2232.18 m
- m_c : Masa del cable, en kg
- V : Velocidad del cable en m/s
- t : Tiempo de arranque del sistema, en s

Aplicando la ec. 2.49 se obtendrá:

$$\tau_{\text{cable}} = 5.21 \frac{\text{kg}}{\text{m}} * 2232.18 \text{ m} * \frac{1 \text{ m/s}}{120 \text{ s}} * 4.50 \text{ m} = 436.11 \text{ [J]}$$

Por tanto la potencia será:

$$P_{\text{arranque}} = 1.5 \frac{\text{rad}}{\text{s}} * 436.11 \text{ J} = 654.16 \text{ [W]} = 0.87 \text{ [HP]}$$

2.1.1.2.4.3.-Torque para mover el cable enrollado en las ruedas de tracción y reenvió

Se considera el cable ver fig. 216 que, en el momento del arranque, se encuentra enrollada en las ruedas de tracción y reenvío. Para esto, primero es necesario determinar la inercia de esta sección del cable:

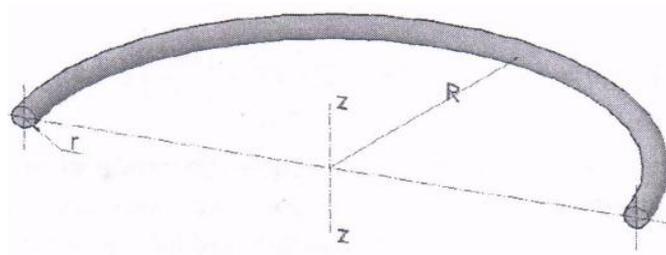


Fig. 2.16.- Forma del cable en la polea motriz

$$I_{z-z} = m_c R^2_{\text{polea}} + \frac{3}{4} m_c r^2_{\text{cable}} \quad (2.50)$$

Resumiendo:

- I_{z-z} : Momento de inercia alrededor del eje z-z, en kg-m².
- m_c : Masa del cable enrollado en las ruedas de tracción y reenvío, en kg.
- R : Radio de la rueda de tracción de reenvío, en m.
- r : Radio del cable, en m.

A partir de este momento de inercia y con la aceleración angular de la ruedas se puede determinar el torque necesario para mover el arco del cable. Ver fig. 2.16

$$\tau_{\text{arco cable}} = \sum I_{z-z} \alpha_{\text{polea}} = \sum I_{z-z} \frac{\omega}{t} \quad (2.51)$$

Entonces se obtendrá aplicando la ec. 2.48 así:

$$m_c = 1116.09 \text{ m} * 5.21 \frac{\text{Kg}}{\text{m}} = 5803.6 \text{ kg}$$

Aplicando la ecs. 2.50, 2.51 y 2.42 se tendrán:

$$I_{z-z} = 5803.6 \text{ kg} (4.5 \text{ m})^2 + \frac{3}{4} 5803.6 \text{ kg} (0.01745 \text{ m})^2 = 117524.22 \text{ kg m}^2$$

$$\tau_{\text{arco cable}} = 2 \frac{(117524.22 \text{ kg m}^2) 1.5 \left(\frac{\text{rad}}{\text{s}}\right)}{120 \text{ s}} = 2938.10 \text{ Nm}$$

$$\text{Potencia}_{\text{arco cable}} = 1.5 \frac{\text{rad}}{\text{s}} * 2938.10 \text{ Nm} = 4407.15 \text{ W} = 6 \text{ HP}$$

2.1.1.2.4.4.- Torque para el arranque de las cabinas

De la misma forma que en los casos anteriores, primero se determina la fuerza necesaria para mover las cabinas estando en reposo, las cuales están cargadas totalmente, esto es el producto de la masa de las cabinas por la aceleración del cable y el número de cabinas en el teleférico:

$$\tau_{\text{cabinas}} = N_{\text{cabinas}} * m_{\text{cabinas}} * \frac{v}{t} r_p \quad (2.54)$$

Entonces se tendrá y aplicando la ec. 2.42 de potencia así:

$$\tau_{\text{cabinas}} = 3 * 150 \text{ kg} * \frac{1 \text{ m/s}}{120 \text{ s}} * 4.5 \text{ m} = 16.87 \text{ Nm}$$

$$P_{\text{cabinas}} = 1.5 \frac{\text{rad}}{\text{s}} * 16.87 \text{ Nm} = 25.30 \text{ W} = 0.03392 \text{ HP}$$

Por ser una potencia pequeña se considera, $\frac{1}{4}$ HP siendo aproximado de 0.25 HP

2.1.1.2.5.- Potencia total de arranque

Para calcular la potencia total de arranque del teleférico se sumará potencias parciales así

$$\text{Potencia}_{\text{total}} = P_{\text{arco cable}} + P_{\text{arranque}} + P_{\text{torque}} + P_{\text{Mf}} + P_{\text{cabina}} \quad (2.55)$$

$$\text{Potencia}_{\text{total}} = 6 \text{ HP} + 0.87 \text{ HP} + 0.25 \text{ HP} + 24 \text{ HP} + 0.25 \text{ HP} = 31.37 \text{ HP}$$

$$\text{Potencia}_{\text{total}} = 31.37 \text{ HP}$$

Por lo tanto esta suma corresponde a la potencia mínima que el motor necesita para dar movimiento a todo el teleférico que es de 31.37 HP, ya que no existe motores de esta potencia se toma uno de mayor fuerza aproximadamente de 35 HP, el motor seleccionado es de tipo trifásico eléctrico.

Ya calculado la potencia realizamos conversiones para determinar el amperaje requerido

- Potencia requerida; 35HP = 26110 w

$$I = \frac{\text{Pot}_{\text{requ}}}{V}$$

- I: Intensidad
- V: Voltaje trifásico 220v

$$I = \frac{26110 \text{ w}}{220 \text{ v}} = 118,68 \text{ A}$$

Con la intensidad calculada, y con la potencia requerida se instalará un transformador trifásico a 220 v para un amperaje de 120A y una potencia de 26,110kw.

2.1.2.- SISTEMA DE TRACCIÓN.

2.1.2.1- DISEÑO DE LA RUEDA MOTRIZ

Para determinar el diseño de la rueda motriz (rueda de tracción y reenvío) se estimará las partes importantes para este análisis así:

2.1.2.2.- Determinación del diámetro óptimo de la rueda

Como se conoce en el cable se tomará en consideración el efecto de fatiga, que a su vez es el mismo que por dobles, que se produce en el instante que esté ingresa en la polea motriz, ya sea en la estación de salida o de llegada.

La rotura a la fatiga puede ser pronosticada mediante la relación $\frac{P}{S_u}$, en función del número de ciclos de flexión, y se determina en la fig. 2.17 así:

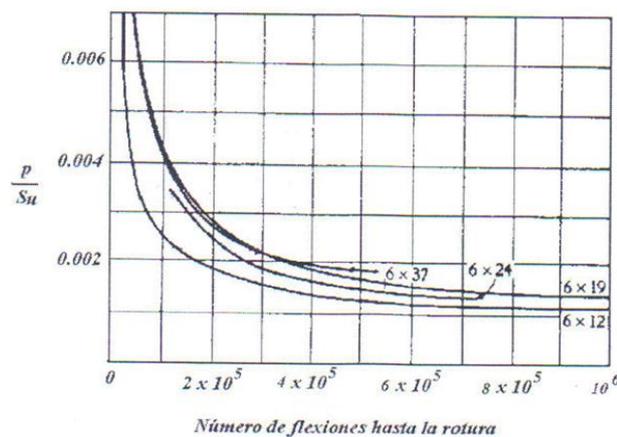


Fig. 2.17.- Diagrama de rotura, fatiga a ser pronosticada con relación al tipo de cable

Por tanto:

- P : Presión de apoyo por unidad de superficie de área proyectada de cable sobre la rueda, su ángulo de contacto es 180° .
- S_u : Resistencia máxima de los alambres.

Para este análisis y en función de lo determinado anteriormente el cable será de diámetro $1 \frac{3}{8}$ de pulg. Como se desea obtener que la vida del cable sea infinita, en la fig. 2.17 se observa que se produce esta condición, siendo necesario que:

$$\frac{P}{S_u} \leq 0.015 \quad (2.56)$$

Evaluando esta condición y conociendo ver fig. 2.18 que:

$$p = \frac{2 F_t}{\phi_r \phi_s} \quad (2.57)$$

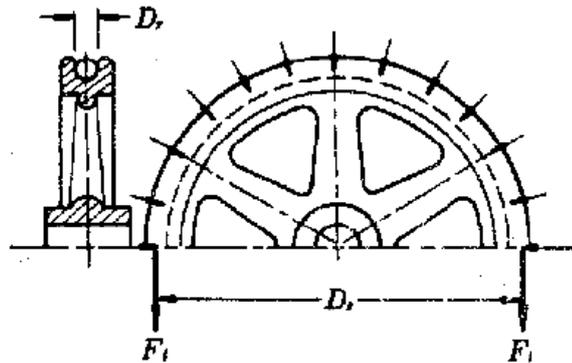


Fig. 2.18.- Modelo de polea motriz

Donde

- ϕ_r : Diámetro de cable 1 3/8 pulg = 1,375 pulg.
- ϕ_s : Diámetro de rueda 4500 mm = 177.2 pulg.
- F_t : Carga de tensión máxima aplicada en el cable = 23068.98 kg =50.75 klb

Entonces el factor de seguridad es:

$$P_{admisible} = \left(\frac{p}{S_u}\right) S_u \quad (2.58)$$

$$P_{aplicada} = \frac{2 F_t}{\phi_r \phi_s} \quad (2.59)$$

$$\eta = \frac{P_{admisible}}{P_{aplicada}} = \frac{\left(\frac{p}{S_u}\right) S_u \phi_r \phi_s}{2 F_t} \quad (2.60)$$

De las especificaciones técnicas del cable se conoce que:

$$S_u = 450 \text{ ksi}$$

$$\eta = \frac{0.0015 * 450 \left(\frac{klb}{pulg^2} \right) * 1.375 pulg * 177.2 pulg}{2 * 50.75 klb} = 1.62$$

$$D_s = H_{cubo} * r_{cable} \quad (2.62)$$

- D_s : Diámetro de cubo
- H_{cubo} : Altura de cubo normalizado; 200 mm

$$D_s = 200 * 1.375 pulg = 275 pulg = 6.98 m$$

El valor correspondiente al factor de seguridad obtenido nos muestra que con el diámetro de la rueda motriz de 6.98 m se garantiza que la fatiga del cable está dentro del límite. Se realizara un cuadro comparativo de la variación del factor de seguridad dinámico en función del diámetro de la rueda motriz como se muestra en la tabla 2.10

De (m)	De (in)	η
3,00	118,11	1,08
3,50	137,80	1,26
4,00	157,48	1,44
4,50	177,17	1,62
5,00	196,85	1,80
5,50	216,54	1,98
5,72	225,20	2,06
6,00	236,22	2,16
6,5	255,91	2,34
7	275,59	2,52

Tabla 2.10.- Determinación del factor de seguridad

De la tabla 2.10 se puede observar que los valores de factor de seguridad aceptables se encuentran en un rango de 1,43 a 2,16, pero considerando todos los aspectos que implican el mayor tamaño de una rueda, además que tomando en cuenta el diámetro de la rueda de 4,5 m se toma el valor correspondiente con un factor de seguridad de 1,62. En base a este valor se realiza el cálculo y diseño de cada uno de los componentes de la rueda motriz.

2.1.2.3.- Diseño de rueda

La rueda motriz es el elemento encargado de transmitir el movimiento desde el eje de tracción hasta el cable. El diseño de este elemento se divide en:

- Diseño de la llanta, que es la parte que está en contacto con el cable.
- Diseño de los brazos encargados de transmitir las cargas desde el cubo hacia la llanta
- Diseño del cubo, transmite las cargas desde el eje hasta los brazos



Fig. 2.19.- Rueda de tracción

Para el diseño de cada una de las partes que conforman la rueda motriz como muestra la fig. 2.19 se tiene que:

- Material: acero A-36; $S_y=36000$ psi
- Diámetro de rueda= 4500 mm

2.1.2.3.1.- Determinación de las cargas de diseño

Para el diseño de toda la rueda se ha determinado que el momento crítico de funcionamiento es cuando arranca el sistema, pues aquí se generan las mayores tensiones en el cable y el mayor torque en sus brazos. Además de estas dos cargas la rueda motriz soporta también su propio peso. Ver fig. 2.20

Para este análisis se determina en primera instancia, el diagrama de cuerpo libre de la rueda motriz como se muestra en la fig. 2.20:

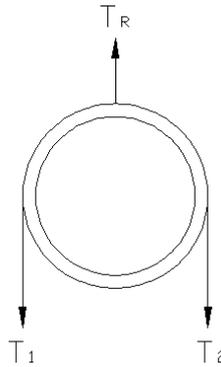


Fig. 2.20.- Diagrama de cuerpo libre de la rueda motriz

Donde

- T_r : Tensión resultante en el apoyo de la rueda.
- $T_1 = T_2$: Tensión máxima del cable (se toma en cuenta un valor de 22 Toneladas)

Aplicando las leyes de equilibrio de fuerzas en la ec. 2.4 se tendrá:

$$T_{cp} = T_1 + T_2 \Rightarrow T_1 = T_2 = 2 T_1 \quad (2.64)$$

$$T_{cp} = 2 (22 \text{ Ton}) = 44 \text{ Ton}$$

Tomando en cuenta que la rueda motriz estará soportada en la estructura de las estaciones de salida y de llegada, se considera que el centro de la misma se encuentra apoyado como se muestra en la fig. 2.21 así:

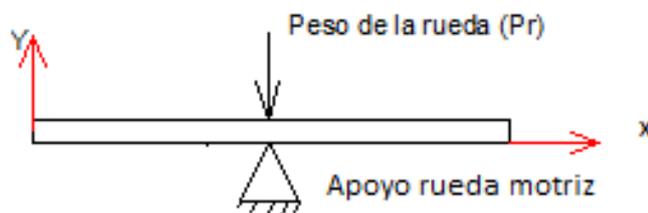


Fig. 2.21.- Diagrama de cuerpo libre esquemático de la rueda motriz

Conociendo que en el apoyo fijo se concentra toda la fuerza que produce el contrapeso como se observa en la fig. 2.22 y verificando el diagrama de cuerpo libre de esta así:

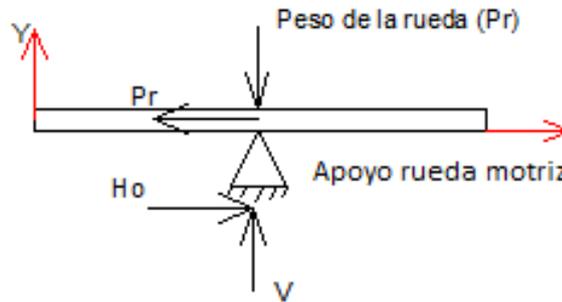


Fig. 2.22.- Diagrama de cuerpo libre de fuerzas en la rueda motriz

Por tanto:

- H_o : Carga eventual de volteo
- V : resistencia vertical

Aplicando las leyes de equilibrio con la ec. 2.4 se tendrá:

$$V = P_r$$

$$V = 2 T_1 = 44 \text{ Ton}$$

Una vez determinado los valores de las cargas actuantes en la rueda, se procede a realizar el diseño de cada uno de los elementos que la conforman.

2.1.2.3.2.- Diseño de la llanta de la rueda

Para este análisis se conoce que el cable se enrolla 180° alrededor de la rueda, entonces es necesario determinar la presión que se ejerce sobre su llanta para lo cual se determina el área en la actúa esta fuerza. Ver fig. 2.23

En primera instancia se determinará el área de contacto del cable con el canal guía de la rueda tomando en cuenta los siguientes parámetros.

- El ángulo de contacto Θ del canal al cable y se tomará de $120^\circ=2.1$ rad suponiendo que el revestimiento del canal es duro.
- El diámetro del cable es (ϕ_r) , diámetro de cable $1 \frac{3}{8}$ pulg = 1,375 pulg.

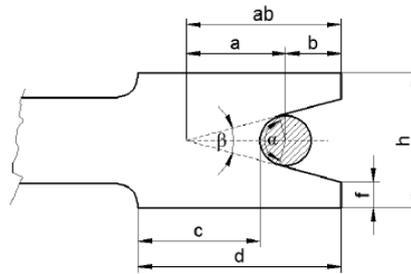


Fig. 2.23.- Esquema de la llanta de soporte para el cable

Entonces el perímetro de contacto se obtiene con la ec. 2.66 así:

$$S = \frac{\phi_r}{2} \Theta \quad (2.66)$$

$$S = \frac{1.375 \text{ pulg}}{2} 2.1 \text{ rad} = 1.44 \text{ pulg}$$

Para determinar el área total de contacto se calculará con la ec. 2.67:

$$A = S * L \quad (2.67)$$

$$\phi_s = 4500 \text{ mm} = 177.165 \text{ pulg}$$

$$L = \frac{\phi_s}{2} \Theta \quad (2.68)$$

Dónde:

- L: Perímetro de enrollamiento de la cuerda de la polea $L=4500$ mm = 177,165 pulg.

$$L = \frac{177.165 \text{ pulg}}{2} 3.1416 \text{ rad} = 278.3 \text{ pulg}$$

- A: Área de la envolvente con relación a una altura de 36.57 mm= 1.44 pulg.

$$A = 1.44 \text{ pulg} * 278.3 \text{ pulg} = 400.73 \text{ pulg}^2$$

Una vez determinado el área sobre la cual se aplicará la fuerza se determinará la presión ejercida sobre la llanta de la rueda con la ec. 2.69.

Para el cálculo del espesor, se lo realiza después con la ec. 2.77, además la llanta de la rueda motriz se considera como un cilindro de pared gruesa²⁰ sometido a carga exterior como se muestra en la fig. 2.24:

$$P_{med} = \frac{T_r}{A} \quad (2.69)$$

$$P_{med} = \frac{44 \text{ Ton}}{400.73 \text{ pulg}^2} = 0.11 \frac{\text{Ton}}{\text{pulg}^2} = 0.24 \text{ Ksi}$$

Entonces

$$W = P_{med} * L \quad (2.70)$$

- L, es igual a la longitud de contacto siendo 180° de la rueda motriz la cual se calculará con ec. 2.71:

$$L = \pi \frac{r}{2} \quad (2.71)$$

$$L = \pi \left(\frac{4500 \text{ mm}}{2} \right) = 7068.2 \text{ mm} = 278.3 \text{ pulg}$$

$$W = 0.11 \frac{\text{T}}{\text{pulg}^2} * 278.3 \text{ pulg} = 30.61 \frac{\text{T}}{\text{pulg}}$$

Para el análisis se considera la fig. 2.24 con la siguiente configuración:

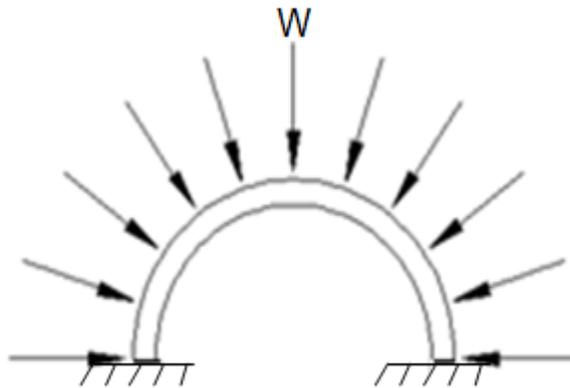


Fig. 2.24.-Diagrama de Fuerzas distribuida en el perímetro de la rueda motriz

²⁰ ALEJANDRO J. PATANELLA. 2005. *Resolución de la ecuación diferencial de equilibrio para tubos de paredes gruesas*. Ed. Universidad Nacional de La Plata. Argentina. ps. 1 al 12

Aplicando la teoría arcos parabólicos²¹ simétricos sin articulaciones y con carga vertical uniformemente repartida sobre todo el claro como se observa en la fig. 2.25 se tendrá la ec. 2.71.

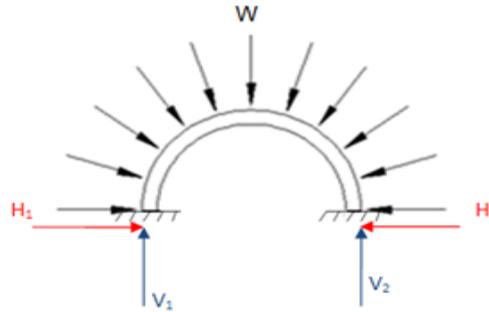


Fig. 2.25.-Diagrama de Fuerzas distribuidas y en apoyos 1, 2 en el perímetro de la polea motriz

$$G = \frac{d^2 \tau}{f^2} \quad (2.71)$$

El significado de cada una de estas es:

- G : Constante de arco
- W : Carga total del cable ida y vuelta ($W=2 \times 22 \text{ Ton} = 44 \text{ Ton}$)
- d : Espesor de arco de corona (Para el análisis se tomará un valor de 180 mm)
- f : Altura de arco (radio de la rueda 2250 mm)
- L : Longitud de arco (diámetro de la rueda 4500 mm)
- τ : Constante numérica ($\frac{f}{L} = 0.15 \rightarrow \tau = 0.521$)

$$G = \frac{(180 \text{ mm})^2 \cdot 0.521}{(2250 \text{ mm})^2} = 3.33 \times 10^{-3}$$

Para determinar las reacciones horizontales se realiza la sumatoria de fuerzas con la ec. 2.72 obteniendo:

$$H_1 - H_2 = 0 \quad \therefore \quad H_1 = H_2$$

$$H_1 = \frac{WL}{8f(1+G)} \quad (2.72)$$

²¹ARQ. VIRGINIA CASAÑA. *Cables y arcos*. Borrador de arcos y cables, ps 8 al 29

$$H_1 = \frac{44 \text{ Ton } 4.5 \text{ m}}{8 * 2.25 \text{ m} (1 + 3.33 * 10^{-3})} = 10.96 \text{ Ton}$$

Luego se determinará las reacciones verticales con una sumatoria de fuerzas con la e. 2.73 así:

$$V_1 - V_2 = 0 \quad \therefore \quad V_1 = V_2$$

$$V_1 = \frac{W}{2} \tag{2.73}$$

$$V_1 = \frac{44}{2} = 22 \text{ ton}$$

Finalmente se determinará los momentos resultantes con una sumatoria de momentos en el punto 1 con la e. 2.74 así:

$$M_1 - M_2 = 0 \quad \therefore \quad M_1 = M_2$$

$$M_1 = -\frac{WL}{12} \left(\frac{G}{G+1} \right) \tag{2.74}$$

$$M_1 = -\frac{44 \text{ Ton} * 4.5 \text{ m}}{12} \left(\frac{3.33 * 10^{-3}}{3.33 * 10^{-3} + 1} \right) = -0.054 \text{ T m}$$

Para determinar el momento máximo que actúa sobre el arco se calculará con la e. 2.75:

$$M_x = M_1 + \frac{W}{2} \left(1 - \frac{x}{L} \right) x - H_1 y \tag{2.75}$$

Con los resultados obtenidos se realizará la tabla 2.11 así

X	Y	τ	f	D(cm)	G	M1 (T. m)	H1 (T)	Mx (M.)
0	0	0,521	2250	180	0,0033344	-0,05483476	11	-0,05483476
0,1	0,66332496	0,521	2250	180	0,0033344	-0,05483476	11	-5,17604936
0,2	0,92736185	0,521	2250	180	0,0033344	-0,05483476	11	-6,01746956
0,3	1,2249722	0,521	2250	180	0,0033344	-0,05483476	11	-7,32474826
0,4	1,28062485	0,521	2250	180	0,0033344	-0,05483476	11	-6,07711516
0,5	1,41421356	0,521	2250	180	0,0033344	-0,05483476	11	-5,78170743
0,6	1,5970585	0,521	2250	180	0,0033344	-0,05483476	11	-6,12409538
0,7	1,63095064	0,521	2250	180	0,0033344	-0,05483476	11	-4,9312255

Tabla 2.11.- Determinación de momento máximo

$$M_{max} = 7.32 \text{ Ton} - m = 634.015 \text{ Klb} - \text{pulg}$$

Como se puede observar el M_{max} presente es equivalente a 7.32 Ton-m (634.015 Klb-pulg) y con este valor se procede a determinar las características de la sección, en base a la geometría, que se muestra en la fig. 2.26

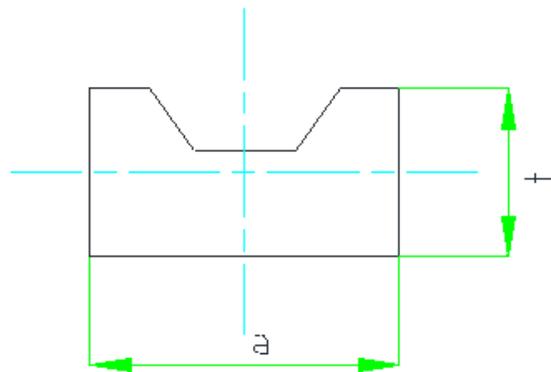


Fig. 2.26.- Geometría del soporte

$$\sigma_f = \frac{6M}{at^2} \leq [\sigma_{adm}] \quad (2.76)$$

- $a = 7.08$ pulg y despejando "t" de la ec. 2.76 se obtendrá:

$$t = \sqrt{\frac{6M}{a \sigma_{adm}}} \quad (2.77)$$

$$t = \sqrt{\frac{6 * 634.015 \text{ Klb} - \text{pulg}}{7.08 \text{ pulg} * 36 \text{ Klb}/\text{pulg}}} = 3.86 \text{ pulg} = 98.125 \text{ mm}$$

Por último se realizará la tabla 2.12, comparativa en función de los factores de segunda en relación al espesor así:

t (mm)	t (in)	a (in)	M (klb-in)	σf (ksi)	σ(ksi)	N
90	3,54330709	7,08661417	634,015	42,7557382	36	0,8
120	4,72440945	7,08661417	634,015	24,0501027	36	1,5
140	5,51181102	7,08661417	634,015	17,6694632	36	2,0
160	6,2992126	7,08661417	634,015	13,5281828	36	2,7
180	7,08661417	7,08661417	634,015	10,6889346	36	3,4
200	7,87401575	7,08661417	634,015	8,65803699	36	4,2
220	8,66141732	7,08661417	634,015	7,15540247	36	5,0

Tabla 2.12.- Determinación del factor de seguridad según espesor

De la tabla 2.72 se escoge el espesor correspondiente a 180 mm con un factor de seguridad de 3.4 puesto que la sección considerada solamente es una aproximación de la geometría real, que se tiene en la llanta de la rueda. De las normativas usadas para la construcción de teleféricos, y para garantizar el apoyo lateral suficiente, debe existir la relación $\frac{x}{d_{cable}} = 0.75$ (donde x se refiere a la profundidad de las ranuras en total). En función de este parámetro se despejará x, para obtener la profundidad de la llanta:

$$x = 0.75 * d_{cable} \quad (2.78)$$

$$x = 0.75 * 1.375 = 10.31 \text{ pulg} = 26.2 \text{ mm}$$

Entonces la geometría de la llanta queda constituida como se muestra en la fig 2.27 así:

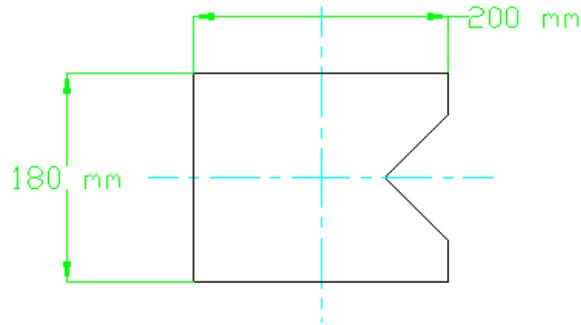


Fig. 2.27.- Geometría real de la llanta

Puesto que la llanta de la rueda no es maciza, sino más bien es una estructura armada, se colocará un perfil en L, en su contorno, para permitir un apoyo del cable en todo el perímetro de la rueda. El perfil seleccionado es un ángulo L 2x2x1/4; de acero estructural ASTM A36

2.1.2.3.3.-Brazos de la rueda motriz

Se verificará la geometría de la rueda es decir únicamente que los brazos cumplan con las condiciones de diseño mecánico.

El cable en condiciones estáticas produce una presión distribuida sobre la superficie exterior de la rueda. Ver figs. 2.28 y 2.29

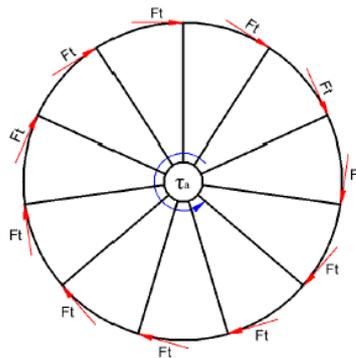


Fig. 2.28.-Diagrama de Fuerzas tangenciales en el perímetro de la polea motriz

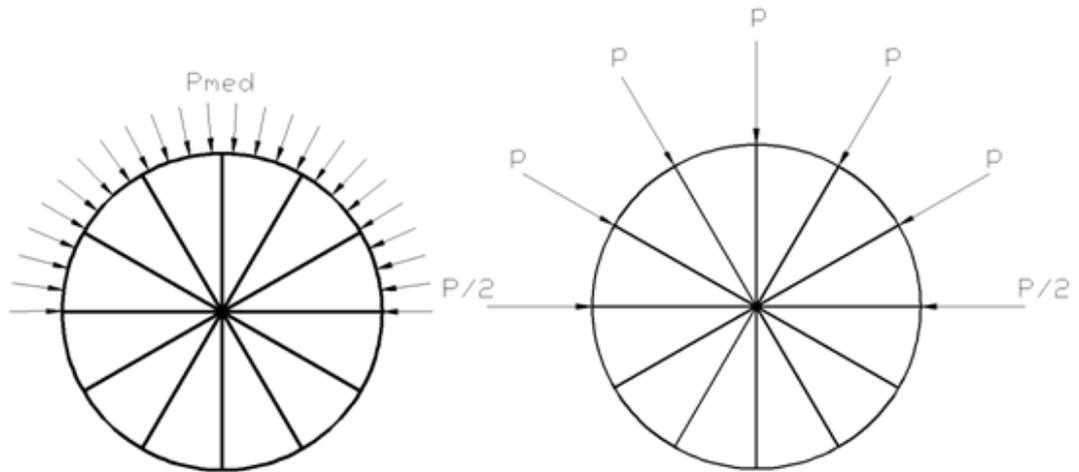


Fig. 2.29.-Diagrama de Fuerzas distribuidas y fuerzas puntuales en el perímetro de la rueda motriz y en los brazos

La verificación se lo realizará, considerando que cada uno de los brazos es una columna, como se observa en la fig. 2.30.

Al tener una sección de área variable en los brazos se procede a determinar la sección promedio como se observa en la fig. 2.31



Fig. 2.30.-Diagrama de cuerpo libre de los brazos como columnas

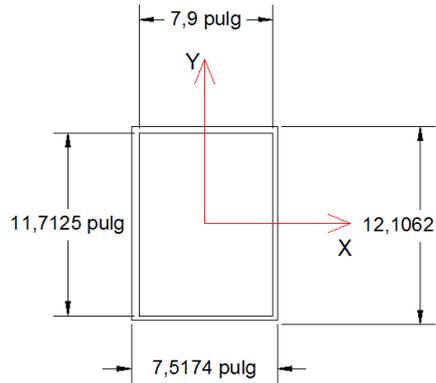


Fig. 2.31.-Diagrama de inercia en el brazo

Resumiendo las características de la forma geométrica se tendrá:

- $b = 200,9 \text{ mm} = 7,91 \text{ in}$
- $d = 307,5 \text{ mm} = 12,11 \text{ in}$
- $b_1 = 190,9 \text{ mm} = 7,52 \text{ in}$
- $d_1 = 297,5 \text{ mm} = 11,71 \text{ in}$
- $A = 7,62 \text{ in}^2$
- $P = 44 \text{ Ton} = 96,8 \text{ klb}$

Para este tipo de geometría mostrada se tiene las siguientes propiedades:

$$I_{xx} = 161,74 \text{ in}^4$$

$$S_{xx} = 26,72 \text{ in}^3$$

$$R_{xx} = 4,61 \text{ in}$$

$$I_{xx} = 161,74 \text{ in}^4$$

$$S_{xx} = 26,72 \text{ in}^3$$

$$R_{xx} = 3,33 \text{ in}$$

Utilizando la teoría de elementos sometidos a compresión se tendrá, la ec. 2.78:

$$L_e = K \cdot L \quad (2.78)$$

$$L_e = 0,7 * 1800 \text{ mm} = 1260 \text{ mm} = 49,6 \text{ in}$$

$$\frac{L_e}{r_{min}} \quad (2.79)$$

$$\frac{L_e}{r_{min}} = \frac{49,6 \text{ in}}{3,33 \text{ in}} = 14,89$$

$$f_a = \frac{P/2}{A} \quad (2.80)$$

Siendo:

- $\frac{P}{2}$: La fuerza aplicada en los extremos de la rueda
- A: área según la forma geométrica propuesta
- f_a : Esfuerzo en los extremos de la rueda

$$f_a = \frac{P/2}{A} = \frac{96,8 \text{ klb}/2}{7,62 \text{ in}^2} = 6,35 \text{ Ksi}$$

En función de la relación de esbeltez del manual del AISC se tendrá:

$$F_a = 20,89 \text{ Ksi}$$

Por lo tanto el índice por compresión es:

$$\frac{f_a}{F_a} \quad (2.81)$$

$$\frac{f_a}{F_a} = \frac{6,35}{20,89} = 0,304$$

Como se muestra en la tabla 2.13, se determinará las propiedades del hierro ASTM 40 para calcular los factores de la ec. 2.82

PROPIEDADES DEL HIERRO GRIS ASTM 40		
Resistencia a la Tensión	S_{ut}	36 kpsi.
Resistencia a la Compresión	S_{uc}	109 kpsi.
Modulo de Ruptura por Cortante	S_{su}	40 kpsi.
Limite de Resistencia a la Fatiga	S_e	14 kpsi.
Modulo de Elasticidad en Tensión	E	14,7 Mpsi
Modulo de Elasticidad en Torsión	G	5,3 Mpsi
Densidad	ρ	442 lb/pie ³
Coefficiente de Poisson	μ	0,255

Tabla 2.13.- Propiedades del hierro gris ASTM 40

$$\frac{1}{\eta} = \frac{\sigma_a}{S_e} \left[1 - \frac{\sigma_m}{\sigma_a} \left(\frac{S_e}{S_{ut}} - 1 \right) \right] \quad (2.82)$$

Para el factor de seguridad se procede a realizar el análisis de fatiga

$$S_e = S_e' k_a k_b k_c \quad (2.83)$$

$$S_e' k_a k_b = 14 \text{ Ksi}^{22}$$

- $k_c = 0,897$ Para una confiabilidad del 90%

$$S_e = S_e' k_a k_b k_c = 14 \text{ ksi} * 0,897 = 12,558 \text{ ksi}$$

Se selecciona los esfuerzos máximos, mínimos σ_{max} y σ_{min} , con estos se determina el componente de esfuerzo de amplitud σ_a y la componente de esfuerzo medio σ_m .

$$\sigma_m = \frac{\sigma_{max} + \sigma_{min}}{2} \quad (2.84)$$

$$\sigma_m = \frac{42.72 \text{ ksi} + 7.15 \text{ ksi}}{2} = 24.93 \text{ ksi}$$

²² SHIGLEY J. *Diseño de Ingeniería Mecánica*. McGraw- Hill. 6 Ed. Mexico. pg. 1221

$$\frac{1}{\eta} = \frac{17.78 \text{ ksi}}{12.558 \text{ Ksi}} \left[1 - \frac{24.93 \text{ ksi}}{17.78 \text{ ksi}} \left(\frac{12.558 \text{ ksi}}{36 \text{ ksi}} - 1 \right) \right]$$

$$\eta = 8.25$$

Por lo tanto se verificará que la geometría que presentan los brazos de la rueda es adecuada con un factor de seguridad de 8.25

2.1.2.3.4.- Diseño del cubo de fijación de la rueda motriz.

Para el diseño de este elemento se procede únicamente a estudiar el comportamiento de las placas que lo conforman, puesto que el bocín en el que ingresa el eje es la sección menos crítica, ya que en conjunto la inercia de la sección es grande por lo que se disminuye el esfuerzo que se produce en el mismo.

Por lo tanto para el análisis de las placas tanto superior e inferior se utiliza la teoría de cilindros de pared gruesa. En base a la geometría de la fig. 2.32 se verificando el factor de seguridad.

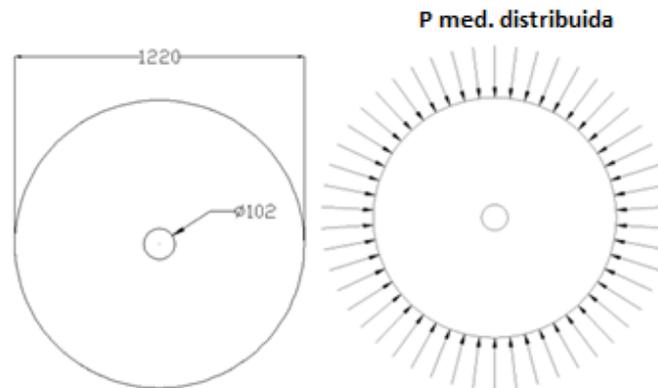


Fig. 2.32.-Diagrama de fuerzas distribuidas en el cubo de fijación de la rueda motriz

Aplicando las ecs. 2.85 y 2.86. Se realizará la tabla 2.14 que muestra un cálculo iterativo para determinar el parámetro b que garantice una buena seguridad.

$$\sigma_r = -\frac{pb^2}{b^2-a^2} \left(1 - \frac{a^2}{r^2} \right) \quad (2.85)$$

$$\sigma_t = -\frac{pb^2}{b^2-a^2} \left(1 + \frac{a^2}{r^2} \right) \quad (2.86)$$

Además conociendo que la tensión equivalente máxima ocurre en la superficie interior del cilindro, cuando no existe la fuerza axial, la cual se calculará con la e. 2.87:

$$\sigma_{eq} = p \frac{2b^2}{b^2 - a^2} \quad (2.87)$$

Aprovechando las ecs. 2.86, 2.86, 2.87 se conocerá los siguientes parámetros así:

- a , radio del agujero eje del cubo de fijación $\phi_{agujero} = 102 \text{ mm}$ $r_{agujero} = 2.00 \text{ in}$
- b , radio del eje del cubo de fijación $\phi_{eje \text{ cubo}} = 1220 \text{ mm}$ $r_{eje \text{ cubo}} = 24.01 \text{ in}$

$$\eta_s = \frac{\sigma_{eq}}{S_y} \quad (2.88)$$

Entonces el valor p se obtendrá de la siguiente manera (se toma un valor de 12.5 mm para el espesor de la placa).

$$P_{med} = \frac{T_r}{A} \quad (2.89)$$

$$A = \pi * t * \phi_{eje \text{ cubo}} \quad (2.90)$$

Donde

- t , espesor de la placa siendo de 12.5 mm = 0.5 pulg
- $\phi_{eje \text{ cubo}}$ diámetro del eje del cubo 1220 mm = 48.03 pulg

$$A = \pi * 0.5 \text{ pulg} * 48.03 \text{ pulg} = 75.44 \text{ pulg}^2$$

$$P_{med} = \frac{44 \text{ ton}}{75.44 \text{ pulg}^2} = 0.58 \frac{T}{\text{pulg}^2} = 1.276 \text{ ksi}$$

En función de esta presión media se determinará los esfuerzos presentes según la e. 2.87 en el dado de la rueda y se realizará la tabla 2.14 así:

p (ksi)	a (pulg)	b(mm)	b (pulg)	σ_{eq} (ksi)	S_y (ksi)	η
1,267	2,00	250	9,8425197	2,6431357	36	13,62
1,267	2,00	300	11,8110236	2,6088043	36	13,80
1,267	2,00	350	13,7795276	2,5885312	36	13,91
1,267	2,00	400	15,7480315	2,5755409	36	13,98
1,267	2,00	450	17,7165354	2,5667099	36	14,03
1,267	2,00	500	19,6850394	2,5604302	36	14,06
1,267	2,00	550	21,6535433	2,5558037	36	14,09
1,267	2,00	600	23,6220472	2,5522960	36	14,10
1,267	2,00	650	25,5905512	2,5495729	36	14,12
1,267	2,00	700	27,5590551	2,5474163	36	14,13

Tabla 2.14.- Determinación del factor de seguridad según presión

Como se puede apreciar para las condiciones mostradas en su mayoría los factores de seguridad son altos, pero para el efecto se considerará la siguiente geometría puesto que garantizará la facilidad de construcción, ensamble etc.

Por motivo de montaje se realizará dos agujeros sobre la placa de tal manera que pueda acoplarse el eje con facilidad, entonces la placa queda como muestra la fig. 2.33 así:

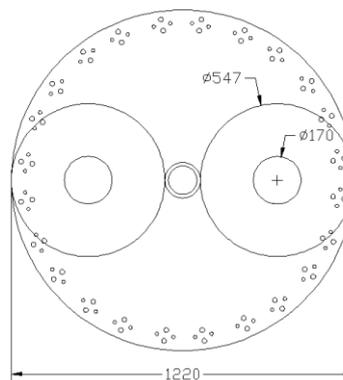


Fig. 2.33.-Diagrama de cubo de fijación para la polea motriz

Para verificar que la placa con los agujeros no falle, se considera como un cilindro de pared gruesa que se encuentra sometido a la misma presión media, como se muestra en la fig. 2.34:

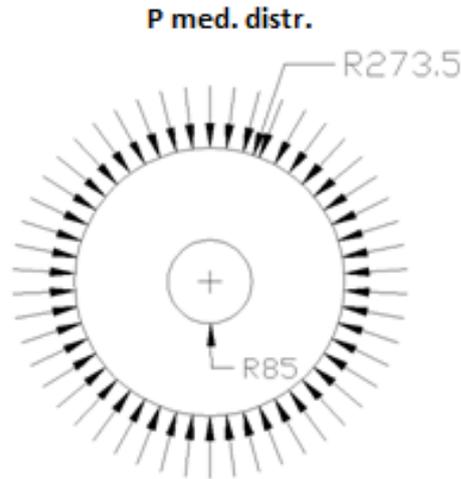


Fig. 2.34.-Diagrama de fuerzas distribuidas en la parte del cubo de fijación

La tensión equivalente máxima ocurre en la superficie interior del cilindro, cuando no existe la fuerza axial, entonces:

Con la e. 2.87 se determinará el σ_{eq} con los siguientes parámetros:

- $b = 0.278 \text{ mm} = 10.78 \text{ pulg}$
- $a = 0.085 \text{ mm} = 3.35 \text{ pulg}$

$$\sigma_{eq} = 1.267 \text{ ksi} \frac{2(10.78 \text{ pulg})^2}{(10.78^2 - 3.35^2) \text{ pulg}^2} = 2.80 \text{ ksi}$$

Como se observa es un valor de esfuerzo muy bajo comparado con el límite fluencia del material, pero de igual manera en conjunto los dos agujeros practicados en la placa constituyen concentradores geométricos de esfuerzos con un factor de 2 por lo que prácticamente en la región de los agujeros se tiene una amplificación de 4 veces el esfuerzo máximo.

2.1.2.3.5.- Verificación de las juntas empernadas

Para determinar el diámetro de los pernos que se utilizará para unir la placa base del nervio con la placa central de la rueda, se debe determinar la fuerza que actúa sobre cada uno de los pernos y luego verificar la junta empernada al corte y por esfuerzo de aplastamiento como muestra la fig. 2.35:

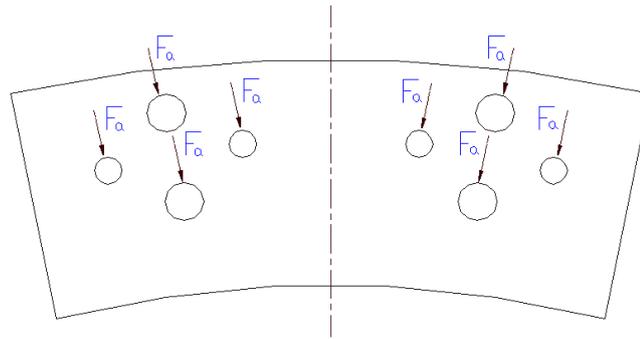


Fig. 2.35.-Diagrama de fuerza axial en los pernos de sujeción

El brazo transmite una fuerza radial en la posición más crítica de:

$$P = 44 \text{ Ton}$$

Entonces se tendrá que:

$$F_a = \frac{P}{n_{\text{pernos}}} \quad (2.92)$$

Se divide para 8, ya que en el ensamble se utiliza 8 pernos para el montaje del brazo en el cubo de la rueda

$$F_a = \frac{44 \text{ Ton}}{8} = 5.5 \text{ Ton} = 12.1 \text{ Klb}$$

2.1.2.3.5.1.- Verificación de la junta empernada por corte

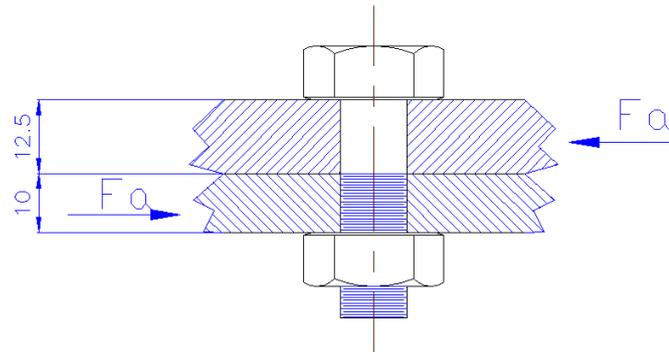


Fig. 2.36.-Esquema de fuerzas axiales en los pernos de sujeción

Para analizar la junta empernada se utilizará pernos de diámetros comerciales como se observa en la fig. 2.36, cuyas especificaciones y propiedades mecánicas se encontrará fácilmente en el mercado siendo de grado SAE 2, por su bajo costo, según se observará la tabla 2.15.

Grado SAE	Intervalo de tamaños (inclusive) (in)	Resistencia límite mínima a la tracción S_p (ksi)	Resistencia de fluencia mínima a la tracción S_p (ksi)	Resistencia última mínima a la tracción S_u (ksi)	Características del acero
1	¼ a 1½	33	36	60	Medio o bajo carbono
2	¼ a ¾	55	57	74	Medio o bajo carbono
	7/8 a 1½	33	36	60	
4	¼ a 1½	65	100	115	Medio carbono estirado en frío
5	¼ a 1	85	92	120	Medio carbono templado y revenido
	1 1/8 a 1½	74	81	105	
5.2	¼ a 1	85	92	120	Martensítico de bajo carbono, templado y revenido
7	¼ a 1½	105	115	133	Aleado de medio carbono, templado y revenido
8	¼ a 1½	120	130	150	Aleado de medio carbono, templado y revenido
8.2	¼ a 1	120	130	150	Martensítico de bajo carbono, templado y revenido

Tabla 2.15.- Especificaciones SAE para pernos comerciales UNS de acero

Resumiendo las características mecánicas del perno escogido se tendrá:

- Resistencia a la prueba = 55 Ksi
- Resistencia a la tensión = 74 Ksi
- Resistencia a la fluencia = 57 Ksi

$$S_{yc} = 0.577 * S_y \quad (2.93)$$

$$S_{yc} = 0.577 * 57ksi = 32.89 Ksi$$

Mediante la siguiente expresión se evaluará el factor de seguridad en función del diámetro del perno:

$$\eta = \frac{S_{yc} * \pi * d^2}{4 * F_a} \quad (2.94)$$

Siendo los siguientes factores a consideración:

- η : Factor de seguridad
- d : Diámetro del perno comercial 1/4- 1
- F_a : Fuerzas axial 12.1 Klb

Se obtendrá la tabla 2.16:

d (in)	d (in)	η
1/4	0,250	0,1334288
5/16	0,313	0,2084824
3/8	0,375	0,3002147
7/16	0,438	0,4086255
1/2	0,500	0,5337150
9/16	0,563	0,6754830
5/8	0,625	0,8339297
3/4	0,750	1,2008588
7/8	0,875	1,6345022
1	1,000	2,1348600

Tabla 2.16.- Determinación del factor de seguridad según diámetro

Se escogerá diámetros de 1 pulg y 7/8 pulg. Por ser de fácil obtención en el mercado y los factores de seguridad está entre 1.63 y 2.13 según la tabla 2.16

2.1.2.3.5.2.- Verificación por aplastamiento

Se verifica en primera instancia para el perno de diámetro 7/8 de pulg. Y para analizar, se comenzará a unir la placa central, a la base de espesor 12.7 mm.

$$A_{\text{aplastamiento}} = d * t \quad (2.95)$$

Dónde:

- t : Se supone un espesor para placa de $\frac{1}{2}$ pulg = 12.7 mm
- d : Diámetro de perno $\frac{7}{8}$ pulg = 0.875 pulg

$$A_{\text{aplastamiento}} = 0.875 \text{ pulg} * 0.5 \text{ pulg} = 0.4375 \text{ pulg}^2$$

$$\sigma_r = \frac{F_a}{A} \quad (2.96)$$

$$\sigma_r = \frac{12.1 \text{ Klb}}{0.4375 \text{ pulg}^2} = 27.65 \text{ Ksi}$$

$$\eta = \frac{S_{yc}}{\sigma_r} \quad (2.97)$$

$$\eta = \frac{32.89 \text{ Ksi}}{27.65 \text{ ksi}} = 1.2$$

Se verifica de igual manera para el perno de diámetro 1 pulg. Con un espesor de placa base de 12.7 mm con las ecs. 2.95, 2.96, 2.97, y con las siguientes medidas así:

$$A_{\text{aplastamiento}} = 1 \text{ pulg} * 0.5 \text{ pulg} = 0.5 \text{ pulg}^2$$

$$\sigma_r = \frac{12.1 \text{ Klb}}{0.5 \text{ pulg}^2} = 24.2 \text{ Ksi}$$

$$\eta = \frac{32.89 \text{ Ksi}}{24.2 \text{ ksi}} = 1.35$$

En base a los resultados obtenidos, se puede observar que para la sujeción de los brazos al lado de la llanta se utilizará placas de espesor de 12.5 mm, con pernos de $\frac{7}{8}$ y 1 pulg., con los que garantizamos no fallen al aplastamiento.

2.1.2.3.6.- EJE MOTRIZ

2.1.2.3.6.1.- Diseño estático

El elemento a analizarse, se muestra en la fig. 2.37, el cual se encuentra sometido a carga como se muestra en la figs 2.39 correspondientes al mismo

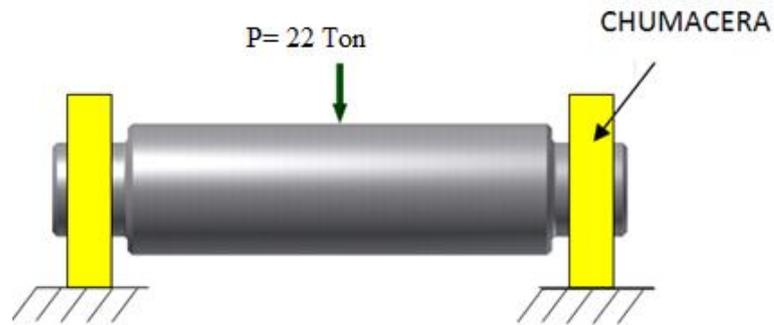


Fig. 2.37.-Diseño estático, eje motriz

Las medidas del eje a utilizar se muestran en la fig. 2.38:

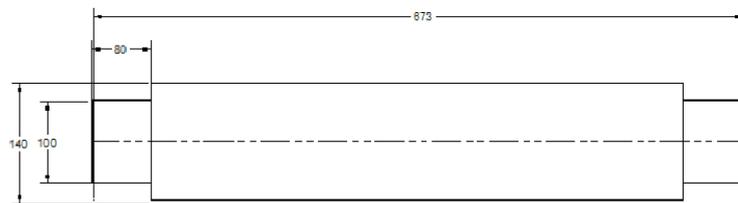


Fig. 2.38.- Esquema de eje motriz

En base a las medidas según modelo, se determina los diagramas de corte y flexión los cuales son extraídos del software MD SOLIDS, como se muestra en la figs. 2.40.

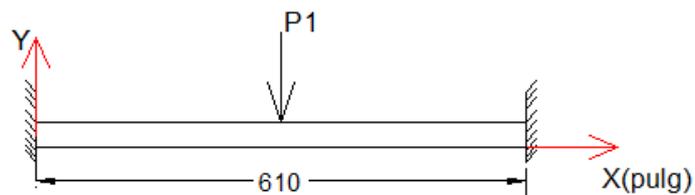


Fig. 2.39.- Esquema de eje motriz

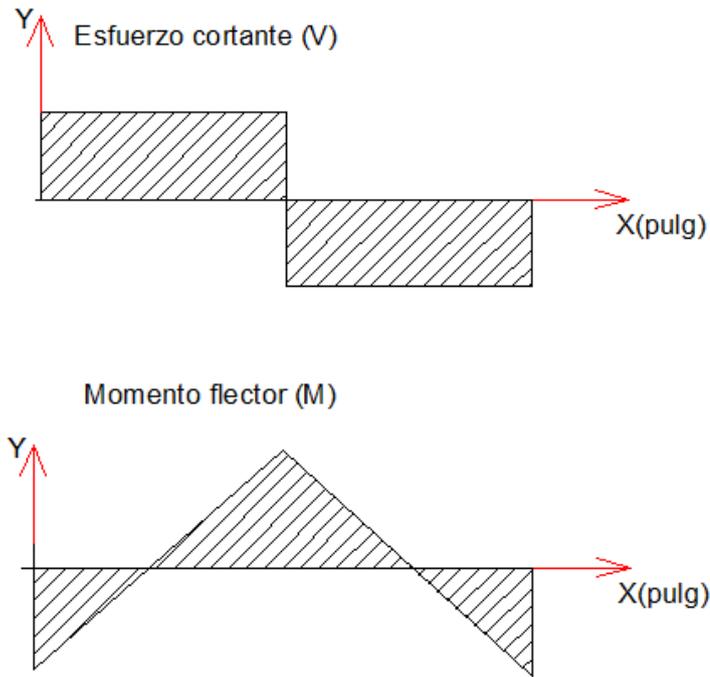


Fig. 2.40.- Esquema de fuerzas cortantes y de momentos flectores

$$M_{max} = \frac{PL}{8} \quad (2.98)$$

Al aplicar las características de eje y cable según la e. 2.98 así

- Carga de tensión máxima, tomando en cuenta en el cable de ida $P=22$ Ton
- Longitud máxima del eje motriz $L=610$ mm= 0.61 m

$$M_{max} = \frac{22000 \text{ kg} * 0.61\text{m}}{8} = 1677.5 \text{ kg m} = 145.29 \text{ Klb - pulg}$$

Debido a que el eje también soporta el momento torsor producido por la transmisión del movimiento, este se calculará en función de la potencia del motor:

$$T = \frac{63000 H}{n} \quad (2.99)$$

Con la potencia determinada previamente y velocidades angulares se calculará el momento torsor con la ec. 2.99:

- H: potencia, HP = 32HP
- n: velocidad de rotación, rpm=14 rpm
- T: Momento torsor, lb-pulg

$$T = \frac{63000 (32 \text{ HP})}{14} = 144 \text{ Klb} - \text{pulg}$$

Utilizando un material de alta resistencia a la fatiga ósea el acero AISI 4340 con las siguientes propiedades:

$$S_y = 101.5 \text{ ksi}$$

$$S_{ut} = 159.5 \text{ ksi}$$

Utilizando la consideración de diseño y en función de los parámetros iniciales se calculará el factor de seguridad con la ec. 2.100 para los diámetros máximos y mínimos para el eje así:

$$\eta_s = \frac{\pi * S_y * d^3}{32 (M^2 + T^2)^{0.5}} \quad (2.100)$$

Donde:

- $d_{max} = 5 \frac{1}{2}$ pulg = 104 mm.
- $d_{min} = 4$ pulg = 100 mm :

$$\eta_s = \frac{\pi * 101.5 \text{ ksi} * (5.5 \text{ pulg})^3}{32 (145.29^2 + 144^2)^{0.5}} = 8.10$$

$$\eta_s = \frac{\pi * 101.5 \text{ ksi} * (4 \text{ pulg})^3}{32 (145.29^2 + 144^2)^{0.5}} = 3.11$$

Con los factores de seguridad calculados se estimará que con los diámetros mayor (5.5 pulg=140 mm) y como menor (4 pulg=100 mm) no fallará el eje a torsor.

2.1.2.3.6.2.- Diseño dinámico

Como se puede observar en primera instancia los factores de seguridad son altos pueden garantizar que no exista un fallo estático del elemento, pero además es necesario realizar el análisis a fatiga.

2.1.2.3.6.2.1.- Caso uniaxial

Debido a la carga producida en el eje que se tiene la fig. 2.41 se realizará el análisis a fatiga con las ecs. 2.101, 2.102, 2.103, 2.104 así:

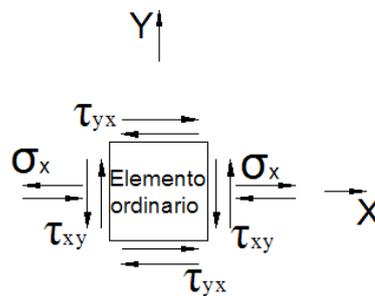


Fig. 2.41.- Esquema de esfuerzos cortantes y flexores

Si $\sigma_y = 0$, entonces $\sigma_{ym} = 0$, $\sigma_{ya} = 0$

$$\sigma'_m = \sqrt{\sigma_{xm}^2 + 3\tau_{xym}^2} \quad (2.101)$$

$$\sigma'_a = \sqrt{\sigma_{xa}^2 + 3\tau_{xya}^2} \quad (2.102)$$

Para los momentos máximos se calculará con las ecs. 2.103 y 2.104

$$\sigma_{max} = \frac{32M}{\pi d^3} \quad (2.103)$$

$$\sigma_{max} = \frac{32(145,29 \text{ klb pulg})}{\pi (5,5)^3 \text{ pulg}^3} = 8,89 \text{ KSI}$$

$$\tau_{max} = \frac{16T}{\pi d^3} \quad (2.104)$$

$$\tau_{max} = \frac{16(144 \text{ klb pulg})}{\pi (5,5)^3 \text{ pulg}^3} = 4,408 \text{ KSI}$$

Ahora se calculará los demás esfuerzos por tanto:

- Esfuerzo máximo; $\sigma_{max} = 8.89 \text{ Ksi}$
- Esfuerzo mínimo; $\sigma_{min} = 8.89 \text{ Ksi}$
- Amplitud de esfuerzos; $\sigma_a = \frac{\sigma_{max} - \sigma_{min}}{2}$ (2.105)
- Esfuerzos medios; $\sigma_m = \frac{\sigma_{max} + \sigma_{min}}{2}$ (2.106)
- Esfuerzo máximo al corte; $\tau_{max} = 4.408 \text{ Ksi}$
- Esfuerzo mínimo al corte; $\tau_{min} = 4.408 \text{ Ksi}$
- Amplitud de esfuerzos; $\tau_a = \frac{\sigma_{max} - \sigma_{min}}{2}$ (2.107)
- Esfuerzos medios al corte ; $\tau_m = \frac{\sigma_{max} + \sigma_{min}}{2}$ (2.108)

Aplicando las ecs. 2.105, 2.106, 2.107, 2.108, se calculará los esfuerzos correspondientes:

$$\sigma_a = \frac{8,89 \text{ KSI} - 8,89 \text{ KSI}}{2} = 0 \text{ ksi}$$

$$\sigma_m = \frac{8,89 \text{ KSI} + 8,89 \text{ KSI}}{2} = 8,89 \text{ KSI}$$

$$\tau_a = \frac{4,408 \text{ KSI} - 4,408 \text{ KSI}}{2} = 0 \text{ KSI}$$

$$\tau_m = \frac{4,408 \text{ KSI} + 4,408 \text{ KSI}}{2} = 4,408 \text{ KSI}$$

Utilizando la línea modificada de Goodman como se muestra en la fig. 2.42

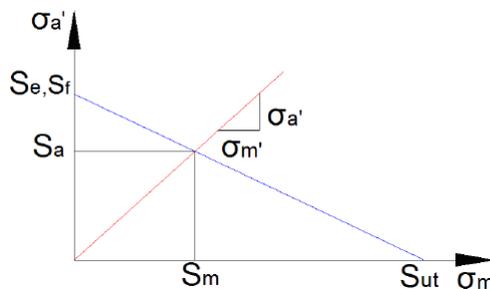


Fig. 2.42.- Diagrama de Goodman

Para determinar el factor de seguridad se calculará con la ec. 2.109:

$$\eta = \frac{S_m}{\sigma_m} \quad (2.109)$$

Y S_m se calculará con la ec. 2.110:

$$S_m = \frac{S_e}{\frac{\sigma_a + S_e}{\sigma_m + S_{ut}}} \quad (2.110)$$

Entonces se tendrá que S_e es el límite de resistencia a la fatiga del elemento mecánico y se determina con la ec. 2.111:

$$S_e = S_e' k_a k_b k_c k_d k_e k_f \quad (2.111)$$

Determinado los datos de los factores anteriores, se define cada uno de ellos así:

- k_a :Factor de superficie; esperando que el eje está totalmente pulido siendo 1
- k_b :Factor de tamaño; siendo $k_b = 0.869 * d^{-0.097} = 0.869 * (4)^{-0.097} = 0.76$
- k_c : Factor de confiabilidad del 99%; $k_c=0.814$
- k_d :Factor de temperatura; Para una temperatura de $T=450^\circ\text{C}$ el factor k_d es 1
- k_f : Factor de efectos diversos; se puede asumir a 1
- k_e : Factor de modificación por concentración de esfuerzo.

A flexión o carga axial²³

$$k_e = \frac{1}{K_f} = \frac{1}{1+q(K_t-1)} \quad (2.112)$$

Donde q es la sensibilidad a la ranura o entalles a flexión

Si $q=0 \Rightarrow K_f = 1$

Si $q=1 \Rightarrow K_f = K_t$

²³ <http://www.inti.gob.ar/cirsoc/pdf/publicom/Capitulo07.pdf>

$$\therefore k_t = 2,1$$

$$k_e = \frac{1}{1 + 1(2,1 - 1)} = 0,467$$

A torsión:

$$k_{es} = \frac{1}{K_{fs}} = \frac{1}{1 + q_s(K_{ts} - 1)} \quad (2.113)$$

Donde q_s es la sensibilidad a la ranura o entalle a la torsión

$$\text{Si } q_s = 0 \Rightarrow K_{fs} = 1$$

$$\text{Si } q_s = 1 \Rightarrow K_{fs} = K_{ts}$$

$$\therefore k_{ts} = 1,6$$

$$k_{es} = \frac{1}{1 + 1(1,6 - 1)} = 0,625$$

En el caso de flexión y torsión, el factor sería:

$$k_e = k_{ef} k_{es} \quad (2.114)$$

$$k_e = k_{ef} k_{es} = 0,476 * 0,625 = 0,297$$

El análisis del eje a fatiga se la realiza en la zona más crítica que se determinó en el análisis estático. Los valores correspondientes a cada uno de los factores se determinan mediante el uso de tablas y expresiones los cuales dependen de las características del material como el S_{ut} siendo igual a:

$$S_{ut} = 159,5 \text{ ksi}$$

A continuación se determina los factores de las ecs. 2.110 y 2.111 para calcular el factor de seguridad así:

$$S_e' = 0,5 \times S_{ut} \quad (2.115)$$

$$S_e' = 0,5 * 159,5 \text{ ksi} = 79,75 \text{ ksi}$$

Entonces se tendrá que S_e

$$S_e = 80 * 0,297 * 0,76 * 0,814 = 14,7 \text{ ksi}$$

Aplicando las ecs. 2.101 y 2.102 se tendrán:

$$\sigma_m = \sqrt{8,89^2 + 3(0)^2} = 8,89 \text{ ksi}$$

$$\sigma_a = \sqrt{(0)^2 + 3(4,408)^2} = 7,6 \text{ ksi}$$

Por tanto aplicando las ecs. 2.110 y 2.109 se tendrán:

$$S_m = \frac{14,5}{\frac{8,89}{7,6} + \frac{14,5}{159,5}} = 11,50 \text{ ksi}$$

$$\eta = \frac{11,5 \text{ ksi}}{8,89 \text{ ksi}} = 1,30$$

Como se puede observar para facilidad del cálculo se tomó el momento máximo del eje y se obtiene un factor de seguridad de 1.30 concluyendo que para momentos menor este factor aumenta.

2.1.2.4.- TREN DE POLEAS

2.1.2.4.1.- GEOMETRÍA Y CÁLCULO DEL TREN DE POLEAS

Debido a que el tren de poleas es un componente importante, en el teleférico siendo de vital importancia, determinar cinco aspectos importantes que se tomara en cuenta al momento de dimensionar el tren de poleas, los cuales son:

- Se asumirá que todas las ruedas se cargan por igual
- La resistencia máxima de las ruedas es de 1000 kg por rueda.
- La Norma obliga que el cambio de diámetro del cable no debe ser menor a 50 veces el diámetro de éste.

- Cada rueda puede girar de 1° a 2° como máximo para un correcto funcionamiento del tren de poleas.

Ahora para cálculo del tren de poleas se escogerá un modelo que nos permita facilidad de construcción y nos brinde un factor de seguridad adecuado, por ello se seleccionará un soporte del tren de poleas establecido en la fig. 2.43:

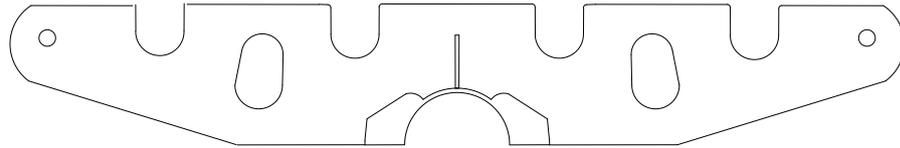


Fig. 2.43.- Geometría del tren de poleas autoalineante

El modelo matemático para calcular del tren de poleas que nos permite determinar los esfuerzos presentes es las zonas críticas en donde se puede presentar la falla en el tren de poleas en este:

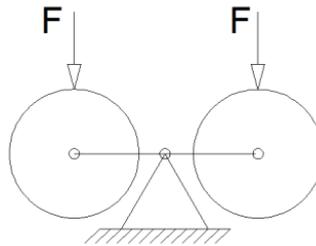


Fig. 2.44.- Fuerzas aplicadas en las ruedas

Teniendo en cuenta que la geometría sobre la cual se va a realizar el trabajo se selecciona los posibles lugares en donde puede fallar el elemento como muestra en la fig. 2.44, seleccionándose la placa base que sostiene la polea, y realizando el análisis como un cilindro de pared gruesa debido a su geometría. Ver fig. 2.45



Fig. 2.45.- Ubicación de la parte crítica

Previamente se determinará las fuerzas actuantes sobre cada torre y se sobredimensionará la carga crítica en un 2 % teniendo de 26 ton., de tensión en cada torre, como se requiere tener un adecuado sistema de soporte de los sistemas se realizará un análisis para estas cargas críticas y se determina si el tren de poleas fallará o no.

Se considera un cilindro de pared gruesa para calcular el espesor de la placa, por eso es importante considerar como una carga distribuida en el interior, tal como se ilustra en la fig. 2.46.

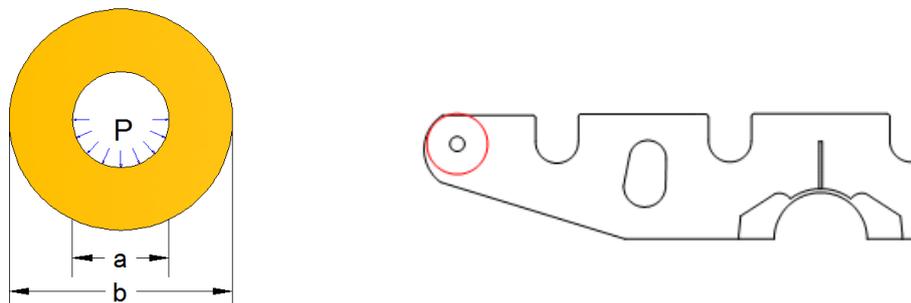


Fig. 2.46.- Diagrama de cilindro de pared gruesa

Por tanto se calculará el espesor t para la sección que soporta mayor fuerza radial, la cual está en el punto P de la fig. 2.46, obtenido el diagrama de cuerpo libre considerando que la fuerza se distribuye a lo largo del perímetro en donde se asienta el eje con un juego normal de ajuste y con las siguientes dimensiones:

- a : Diámetro interior igual a 14 mm= 0,014 m =0,55 pulg
- b : Diámetro exterior es 53 mm=0,053 m =2,08 pulg
- e : Espesor de placa es 12 mm=0,012m=1/2 pulg espesor de la placa
- F_r : fuerza radial actuante sobre P, se obtiene dividiendo las 26 Ton para cuatro apoyos que soportan la tensión máxima del cable de ida o vuelta.

$$F_r = \frac{T_{max}}{n_{apoyos}} \quad (2.119)$$

$$F_r = \frac{26 \text{ Ton}}{4} = 6,5 \text{ Ton}$$

Y la fuerza se calculará dividiendo la fuerza radial para la mitad del perímetro sobre el que se encuentra actuando la polea del tren, a la vez que se considera un juego radial.

$$p = \frac{\frac{F_r}{2}}{A} \quad (2.119)$$

$$A = \pi * a * e \quad (2.120)$$

Reemplazando en la ec. 2.119 se obtendrá:

$$p = \frac{\frac{F_r}{2}}{\pi * a * e} \quad (2.121)$$

$$p = \frac{\frac{6,5 \text{ Ton}}{2}}{\pi * (0,014 \text{ m}) * (0,012 \text{ m})} = 6157,780 \frac{\text{Ton}}{\text{m}^2}$$

$$p = 6157780,53 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2}$$

De acuerdo al teorema de las tensiones máximas esta se produce cuando no se tiene fuerza axial ($\sigma_z = 0$)

Pero se tendrá un esfuerzo equivalente (σ_{eq}) expresado por la ec. 2.87 así:

$$\sigma_{eq} = 6157780,53 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2} \frac{2(0,053^2)\text{m}^2}{(0,053^2)\text{m}^2 - (0,014)\text{m}^2} = 13,23 \times 10^6 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2} = 18778.13 \text{ psi}$$

$$S_y = 36000 \text{ psi}$$

$$\eta = \frac{S_y}{\sigma_{eq}} \quad (2.123)$$

$$\eta = \frac{36000 \text{ psi}}{18778.13 \text{ psi}} = 1.917$$

Asumiendo un factor de seguridad igual a $\eta=1.5$ se despejará el espesor de la ec. 2.121 igualando del σ_{eq} de las Ecs. 2.87, 2.123; obteniendo la ec. 2.127:

$$e = \frac{\eta \frac{F_r}{2} \frac{2b^2}{b^2 - a^2}}{\pi * a * S_y} \quad (2.127)$$

Siendo $S_y = 36000 \text{ psi} = 248 \text{ MPa}$ y con un $\eta=1.5$ resultando:

$$e = \frac{1.5 \frac{6500}{2} \frac{2(0.053^2)}{0.053^2 - 0.014^2}}{\pi * 0.014 * \left(\frac{248 \times 10^6 * \frac{1}{9.8}}{m^2} \right)} = 9.41 \times 10^{-3} m = 9.41 \text{ mm}$$

Con el espesor de 9.41 mm se concluye que es el espesor mínimo que se podrá tener con un factor de seguridad de 1.5 para asegurar que no falle la placa base.

Por tanto se determinará, que en el mercado no existe placas de espesores de 9.41 mm por tanto se toma el espesor de placa de 10 mm.

2.1.2.4.1.1.- Cálculo de la placa central

Para la placa central se considera la tensión máxima (T_{max}) dividido para 2 por tener doble placa el elemento como se observa en la fig. 2.47

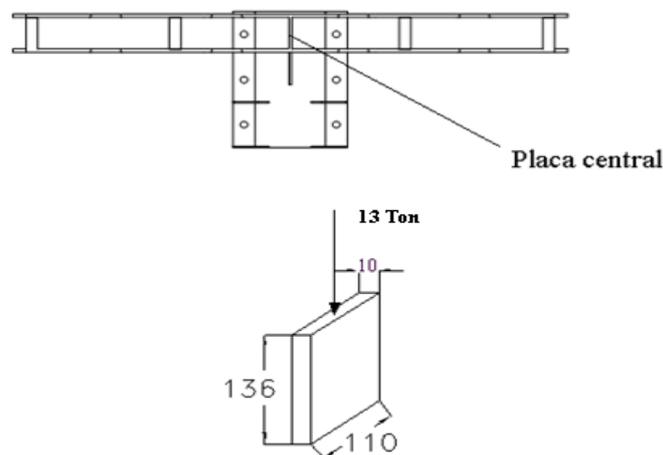


Fig. 2.47.- Esquema de la placa central

El cálculo de la placa central es importante ya que esta soporta toda la carga de la tensión del cable.

$$F = \frac{T_{max}}{2} \quad (2.128)$$

$$F = \frac{26 \text{ Ton}}{2} = 13 \text{ Ton} = 13000 \text{ Kg}$$

$$A = b * h \quad (2.129)$$

$$A = 0.01\text{m} * 0.11\text{m} = 1.1 \times 10^{-3} \text{ m}^2$$

Según ec. 2.96 se obtiene

$$\sigma = \frac{13000 \text{ Kg}}{1.1 \times 10^{-3} \text{ m}^2} = 11.81 \times 10^6 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^2} = 16762,54 \text{ psi}$$

Según ec. 2.97 resulta:

$$\eta = \frac{36000 \text{ psi}}{16762.54 \text{ psi}} = 2.147$$

Como se puede verificar con el factor de seguridad para la placa central es de 2.14 el cual indica que no fallará al momento de aplicar esta carga.

2.1.2.4.1.1.1.- Cálculo de la soldadura en la placa central del tren de poleas

Para calcular los factores de seguridad de los cordones de soldadura, se considerará la utilización de electrodos de tipo E60XX cuyas características son: $S_{ut} = 62 \text{ Kpsi}^{24} = 4368.2 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$; $S_y = 50 \text{ Kpsi} = 3522.7 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$. Ver fig. 2.48

²⁴ MARLON ARMIJOS Y RAÚL RAMÍREZ. 2004. *Diseño de un teleférico turístico de 2000 m de longitud ubicado en la colonia Llanganates Parroquia Rio Negro Cantón baños, Provincia de Tungurahua*. Escuela Politécnica Nacional. Quito- Ecuador. p. 37

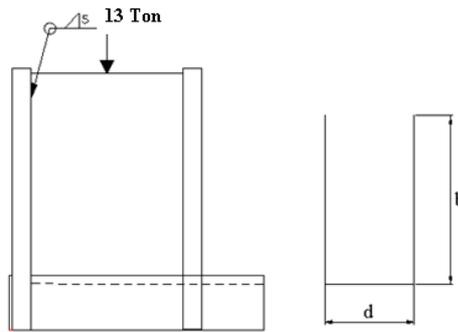


Fig. 2.48.- Soldadura en la placa central del tren de poleas

$$A = 0.707 h(2b + d) \quad (2.131)$$

Entonces:

- A: área total de soldadura
- h: espesor del cordón de soldadura= 5 mm
- b: Altura de soldadura ;136 mm
- d: ancho de soldadura ; 110 mm

$$S_{ut} = 62 \text{ Kpsi} = 62000 \text{ Psi}$$

$$A = 0.707 * 0.005 \text{ m} * (2 * 0.136\text{m} + 0.110\text{m}) = 1.35 \times 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$\tau = \frac{V}{A} \quad (2.132)$$

$$\tau = \frac{13000 \text{ kg}}{1.35 \times 10^{-3} \text{ m}^2} = 9.6 \times 10^6 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2} = 13.66 \text{ kpsi}$$

De acuerdo al código de la construcción de la AISC el esfuerzo permisible para el metal de aporte en el caso de una carga cortante es $0.30 S_{ut}$

$$\tau_{per} = 0.30 S_{ut} \quad (2.133)$$

$$\tau_{per} = 0.30 (62000 \text{ psi}) = 18600 \text{ psi}$$

$$\eta = \frac{\tau_{per}}{\tau} \quad (2.134)$$

$$\eta = \frac{18600 \text{ psi}}{13667 \text{ psi}} = 1.36$$

Con este factor de seguridad se puede estimar que este elemento no fallará en la soldadura.

2.1.2.4.1.1.2.- Cálculo del elemento de unión del tren de poleas con el tubo horizontal de la torre

De igual manera aquí para efecto de cálculo se tomará la fuerza vertical mayor que se produce en la torre 1 y esta es de 26 Ton. Ver fig. 2.49 y 2.50

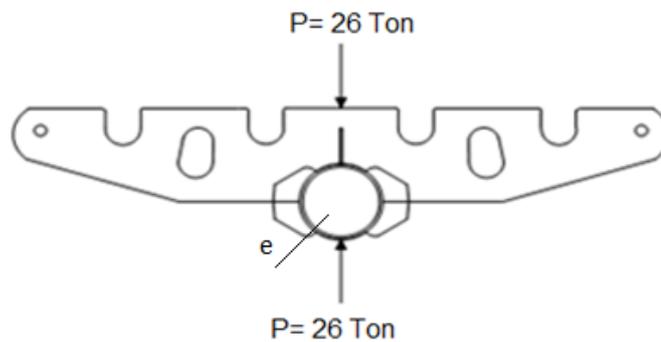


Fig. 2.49.- Fuerza vertical aplicada a las poleas del tren con espesor de tubería

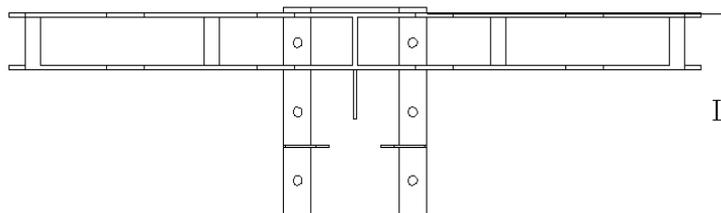


Fig. 2.50.- Vista superior del tren de poleas

Esta fuerza va estar distribuida en el interior del tubo horizontal considerando, este elemento como un cilindro de pared delgada, con la condición que el espesor debe ser menor o igual a 1/10 (10%) de su radio.

Donde se tendrá con los siguientes datos:

- $b = 91 \text{ mm}$
- $a = 84 \text{ mm}$
- $b - a = 91 \text{ mm} - 84 \text{ mm} = 7 \text{ mm}$; t equivale al 7.69% de b , cumpliendo las condiciones de cilindro de pared delgada²⁵. Ver fig. 2.49

En un cilindro de pared delgada se puede considerar que el esfuerzo radial producido por la presión del contenido del cilindro es muy pequeño en comparación con el esfuerzo tangencial. Es por esto que: $\sigma_r = 0$

$$\sigma_t = p \frac{d_{int}}{2t} \quad (2.135)$$

Cabe indicar que los cilindros totalmente cerrados a más del esfuerzo tangencial tienen el esfuerzo longitudinal.

$$\sigma_l = p \frac{d_{int}}{4t} \quad (2.136)$$

La ec. 2.136 se calculará con los siguientes datos:

- p : Presión producida por la fuerza
- t : Espesor de pared
- L : Longitud del elemento de unión
- d_{int} : Diámetro interno; $d_{int} = 2a$.- Por ser diámetro por eso se multiplicó por 2

$$A = \pi * a * L \quad (2.138)$$

$$A = \pi * 0.084 \text{ mm} * 0.4 \text{ m} = 0.1056 \text{ m}^2$$

²⁵ <http://www.slideshare.net/profefisico/cilindros-de-pared-delgada-y-gruesa-mecnica-de-materiales-presentation>

Aplicando la ec. 2.89 se obtiene

$$p = \frac{26000 \text{ kg}}{0.1056 \text{ m}^2} = 246.21 \times 10^3 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2}$$

$$\sigma_t = 246.21 \times 10^3 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2} \frac{2 * (0.084 \text{ m})}{2 * (0.007 \text{ m})} = 2.95452 \times 10^6 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2} = 4193.50 \text{ Psi}$$

$$\sigma_l = 246.21 \times 10^3 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2} \frac{2 * (0.084 \text{ m})}{4 * (0.007 \text{ m})} = 1.477260 \times 10^6 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2} = 2096.75 \text{ Psi}$$

$$\sigma_{eq} = \sigma_t + \sigma_l \quad (2.139)$$

$$\sigma_{eq} = 4193.50 \text{ psi} + 2096.75 \text{ psi} = 6290.25 \text{ psi}$$

A más de esta consideración se debe tomar en cuenta el esfuerzo cortante producido por esta fuerza así:

$$\tau_{max} = \frac{2V}{A} \quad (2.140)$$

$$V = 22000 \text{ kg}$$

$$A = t * L \quad (2.141)$$

$$A = 0.007 \text{ m} * 0.4 \text{ m} = 0.0028 \text{ m}^2$$

$$\tau_{max} = \frac{2(22000 \text{ kg})}{0.0028 \text{ m}^2} = 15.71 \times 10^6 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2} = 22304.10 \text{ psi}$$

El esfuerzo se calcula aplicando la teoría de la energía de distorsión de la siguiente manera con las siguientes igualdades:

$$\sigma_x = \sigma_{eq} = 6290.25 \text{ psi}$$

$$\sigma_y = \sigma_r = 0$$

$$\tau_{xy} = \tau_{max} = 22304.10 \text{ psi}$$

$$\sigma' = \sqrt{\sigma_x^2 - \sigma_x * \sigma_y + \sigma_y + 3(\tau_{xy}^2)} = \sqrt{\sigma_{eq}^2 - \sigma_{eq} * \sigma_r + \sigma_r + 3(\tau_{max}^2)}$$

(2.142)

$$\sigma' = \left[\sqrt{(6290.25)^2 - (6290.25 * 0) + 0 + 3(22304.10^2)} \right] psi$$

$$\sigma' = 39140.59 psi$$

Aplicando para este caso un F_y de 46 Ksi ya que tiene un esfuerzo σ' alto con la ec. 2.97 resulta así:

$$\eta = \frac{46000 psi}{39140.59 psi} = 1.17$$

Para el factor de seguridad calculado se determinará que aplicando la carga máxima en el tren de poleas no fallan.

2.1.2.4.1.2.- Diseño de los soportes de las poleas

Dentro del tren de poleas se encuentra dos grupos de soportes para poleas. Como se muestra en la fig. 2.51

Para visualizar mejor lo que se esquematizará los soportes así:

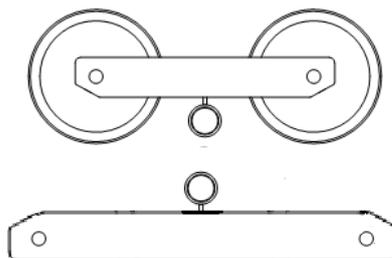


Fig. 2.51.- Esquema de los diferentes soportes de las poleas

Como se puede apreciar existen dos tipos los cuales se los nombra como soporte mayor (por ser de mayor longitud) y soporte menor.

Es conveniente indicar que para realizar el diseño se va a tomar la carga vertical mayor que se tendrá en las torres, siendo esta de 26 Ton.

2.1.2.4.1.4.- Diseño del soporte menor

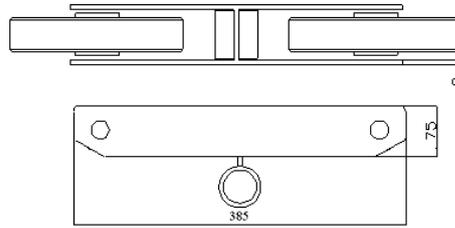


Fig. 2.52.- Esquema de la geometría del soporte menor de las poleas

Cálculo de las placas

Como primer paso para realizar el cálculo se debe determinar el valor de la fuerza vertical que va a soportar cada placa, tomando en cuenta que en cada placa van a estar presentes dos poleas, y son dos las placas las que van a soportar la carga máxima, con la ayuda de la ec. 2.119 y con los siguientes datos se obtiene: Ver fig. 2.53

- F_T : Fuerza vertical total que va a soportar el conjunto del tren de poleas; $F_T=26$ Ton
- $N_{total\ ruedas}$: Número total de poleas en cada tren; $N_{total\ ruedas} = 16$
- Fr: Fuerza en cada polea
- F_p : Fuerza en cada placa $F_p=0.8125$ Ton
- L_T : Longitud total de placa soporte $L_T=0.385$ m

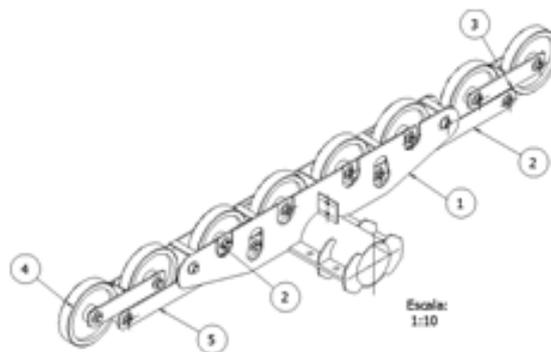


Fig. 2.53.- Esquema del tren de poleas

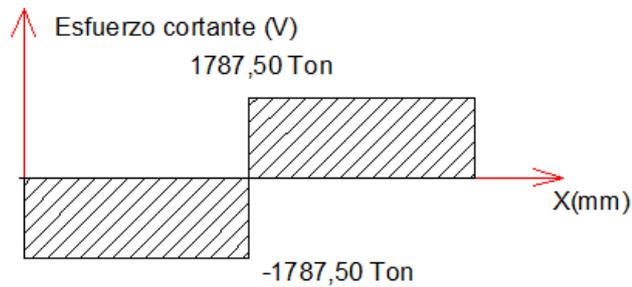
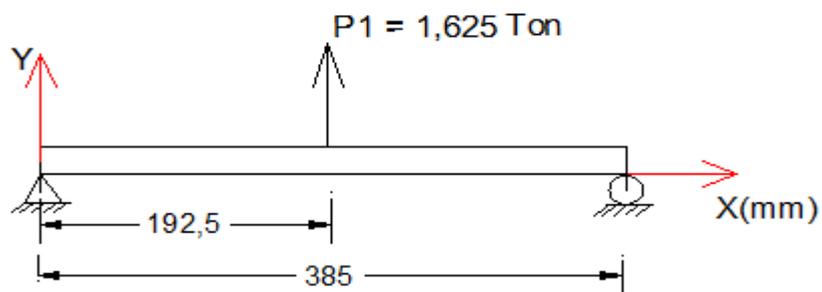
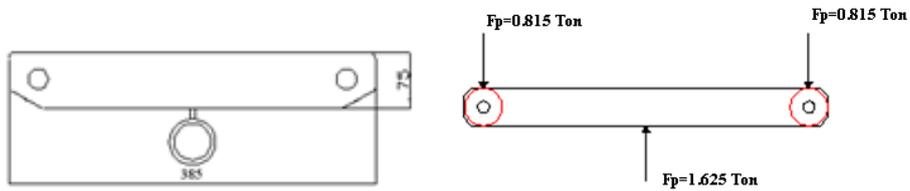
$$F_r = \frac{26000 \text{ kg}}{16} = 1.625 \text{ Ton}$$

Tomando en cuenta que son dos placas presentes esta fuerza se divide para 2

$$F_p = \frac{F_r}{2} \tag{2.145}$$

$$F_p = \frac{1.625}{2} \text{ Ton} = 0.8125 \text{ Ton}$$

De la fig. 2.53 se aparta un eslabón y aplicando en el MDSOLID para calcular y realizar los diagramas el esfuerzo cortante y momentos flector. Ver fig. 2.54



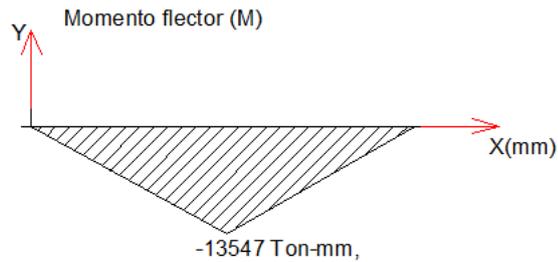


Fig. 2.54.- Esquema de cuerpo libre, con diagrama de momentos flectores y de corte

De acuerdo a las fuerzas aplicadas y a la geometría establecida por motivos constructivos se puede apreciar que se va a tener dos tipos de esfuerzos independientes entre sí, los cuales son: un esfuerzo a flexión y a corte, para la parte crítica con una consideración de cilindro de pared gruesa.

Esfuerzo por flexión.

Para determinar este parámetro se utilizará la siguiente expresión:

$$\sigma = \frac{MC}{I} \quad (2.146)$$

Se considerará que la placa tuviera un perfil completamente rectangular

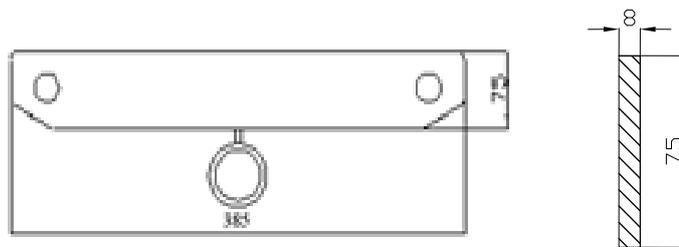


Fig. 2.55.- Esquema de la geometría de la placa soporte menor de las poleas

$$I = \frac{b h^3}{12} \quad (2.147)$$

$$I = \frac{8mm (75mm^3)}{12} = 281.25 \times 10^3 mm^4 = 2.8125 \times 10^{-7} m^4$$

$$M = 13547 lb pulg = 0.1564 Ton - m$$

$$C = 37.5 \text{ mm} = 0.0375 \text{ m}$$

$$\sigma = \frac{0.1564 \text{ Ton} - m * 0.0375 \text{ m}}{2.8125 \times 10^{-7} \text{ m}^4} = 20.854 \times 10^3 \frac{\text{Ton}}{\text{m}^2} = 29.60 \text{ kpsi}$$

Aplicando con la ec. 2.123 resulta:

$$\eta = \frac{36 \text{ Kpsi}}{29.60 \text{ kpsi}} = 1.21$$

Con cálculo realizado del factor de seguridad anteriormente se determina que la placa soporte menor no fallará a flexión.

Consideración de cilindro de pared gruesa en los extremos de la placa soporte menor

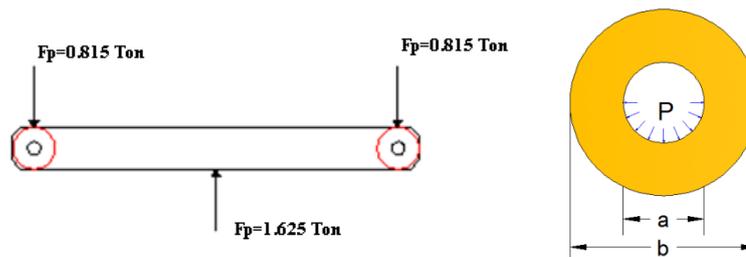


Fig. 2.56.- Esquema del cilindro de pared gruesa para la placa

- $a=13 \text{ mm} = 0.013 \text{ m}$
- $b=31.5 \text{ mm} = 0.0315 \text{ m}$
- $e = 8 \text{ mm} = 0.008 \text{ m}$; es el espesor de la pared
- $F= 0.8125 \text{ Ton}$

Aplicando las ecs. 2.119, 2.120 y para el σ_{eq} se aplicará la ec. 2.87

$$P = \frac{0.8125 \text{ Ton}}{\pi * 0.013 \text{ m} * 0.008 \text{ m}} = 2486.79 \frac{\text{Ton}}{\text{m}^2}$$

$$\sigma_{eq} = 2486.79 \frac{\text{Ton}}{\text{m}^2} \frac{2(0.0315 \text{ m})^2}{[(0.0315 \text{ m})^2 - (0.013 \text{ m})^2]} = 6 \times 10^3 \frac{\text{Ton}}{\text{m}^2}$$

$$\sigma_{eq} = 6 \times 10^3 \frac{\text{Ton}}{\text{m}^2} = 8.516 \text{ Ksi}$$

Para calcular el factor de seguridad se aplica la ec. 2.123

$$\eta = \frac{36 \text{ ksi}}{8.516 \text{ Ksi}} = 4.227$$

Con este factor de seguridad se puede determinar que la placa soporte menor no fallará al corte.

2.1.2.4.1.4.- Cálculo del cilindro sujetador de las placas menor

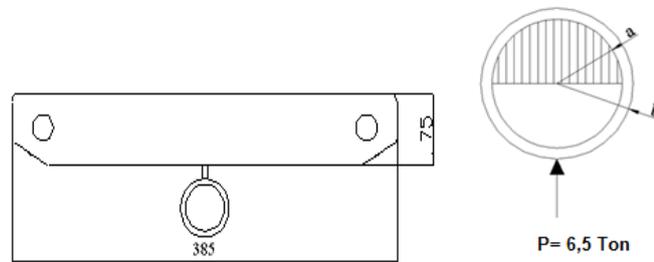


Fig. 2.57.- Esquema y aplicación de la fuerza en el elemento

Este elemento va a estar sujeto a dos consideraciones las cuales van estar sometidos al mismo tiempo. Consideración de acuerdo a las dimensiones como cilindro de pared gruesa y que se encuentra sometido a un esfuerzos de corte.

La fuerza de 5.5 Ton viene de la división de F_T (22 Ton) para 4 por estar presentes 4 elementos en todo el sistema. Ver fig. 2.53

Para la consideración de cilindro de pared gruesa se procederá a calcular los dos esfuerzos presentes, en base a la presión colocada en la mitad del área, con los siguientes datos:

- $a = 26 \text{ mm} = 0.026 \text{ m}$
- $b = 30.5 \text{ mm} = 0.0305 \text{ m}$
- $L = \text{Largo del elemento} = 0.07 \text{ m}$

Aplicando las ecs. 2.119 y 2.138

$$P = \frac{5.5 \text{ Ton}}{\pi * 0.026 \text{ m} * 0.07 \text{ m}} = 961.925 \frac{\text{Ton}}{\text{m}^2}$$

$$\sigma_t = p \frac{b^2 + a^2}{b^2 - a^2} \quad (2.155)$$

$$\sigma_t = 961.925 \frac{\text{Ton}}{\text{m}^2} \frac{[(0.0305 \text{ m})^2 + (0.026 \text{ m})^2]}{[(0.0305 \text{ m})^2 - (0.026 \text{ m})^2]} = 6077.061 \frac{\text{Ton}}{\text{m}^2} = 8.625 \text{ Kpsi}$$

$$\sigma_r = p \frac{2b^2}{4(b^2 - a^2)} \quad (2.156)$$

$$\sigma_r = 961.925 \frac{\text{Ton}}{\text{m}^2} * 1.829 = 1759.36 \frac{\text{Ton}}{\text{m}^2} = (-)2.497 \text{ kpsi}$$

Aplicando la ec. 2.141 resulta:

$$\tau_{max} = \frac{2 (5.5 \text{ Ton})}{A}$$

$$t = b - a \quad (2.159)$$

$$t = 0.0305 \text{ m} - 0.026 \text{ m} = 0.0045 \text{ m}$$

$$L = 70 \text{ mm} = 0.07 \text{ m}$$

Con las ecs. 2.142, y 2.141 resultará el área así:

$$A = 0.0045 \text{ m} * 0.07 \text{ m} = 3.15 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$\tau_{max} = \frac{2 (5.5 \text{ Ton})}{3.15 \times 10^{-4} \text{ m}^2} = 34920.63 \frac{\text{Ton}}{\text{m}^2} = 49.56 \text{ Kpsi}$$

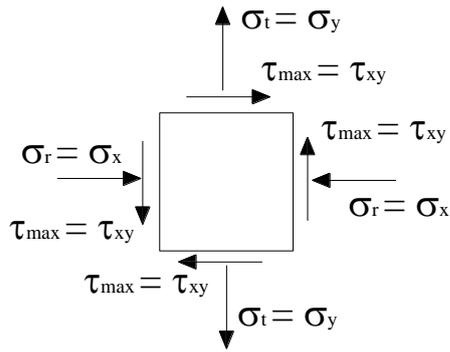


Fig. 2.58.- Esquema de los esfuerzos presentes en el elemento

De acuerdo a la teoría de la distorsión se tiene según la ec 2.142 y para el η resulta por la ec. 2.97 aplicando los datos siguientes:

- $\sigma_x = \sigma_r = (-)2.497 \text{ kpsi}$
- $\sigma_y = \sigma_t = 8.625 \text{ Kpsi}$
- $\tau_{xy} = \tau_{max} = 49.564 \text{ Kpsi}$
- $S_y = 66690 \text{ psi}$ (para barra perforada)

$$\sigma' = \sqrt{(-2.497)^2 - ((-2.497) * 8.625) + (8.625)^2 + 3(49.564^2)} \text{ [Kpsi]}$$

$$\sigma' = 86.4403 \text{ Kpsi}$$

$$\eta = \frac{66.690 \text{ Kpsi}}{86.44 \text{ Kpsi}} = 0.77$$

Con el factor de seguridad determinado anteriormente para la placa central menor fallará, pero a esta consideración no se tomará en cuenta el rodamiento que se colocará en su interior por lo que su diámetro se le aumenta un 80% y así garantizar el movimiento longitudinal de la placa soporte menor, resultando que el factor de seguridad aumenta en su totalidad a 1.386 y así garantizar que no fallará.

2.1.2.4.1.5.- Diseño de la placa central del soporte menor

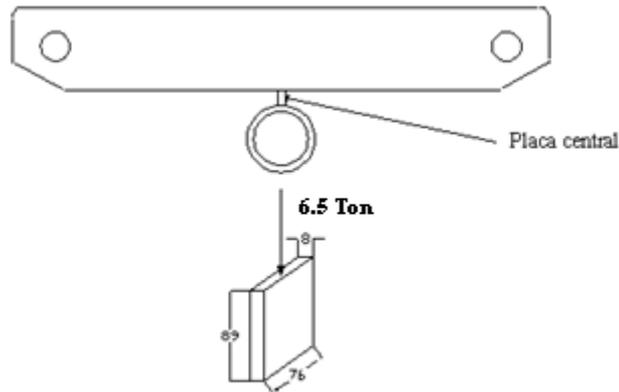


Fig. 2.59.- Esquema de la placa central

La fuerza se transmite del elemento sujetador de la placa central, como se muestra en la fig. 2.59 por lo tanto se tendrá una fuerza de 6.5 Ton, en los cuales se aplica las ecs. 2.96 y 2.129

$$A = 0.008 \text{ m} * 0.076 \text{ m} = 6.08 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$F = 6.5 \text{ Ton}$$

$$\sigma = \frac{6.5 \text{ Ton}}{6.08 \times 10^{-4} \text{ m}^2} = 10690.789 \frac{\text{Ton}}{\text{m}^2} = 15.17 \text{ Kpsi}$$

Para el cálculo del factor de seguridad (η) se lo realizará con la ec. 2.97 resultando:

$$\eta = \frac{36 \text{ Kpsi}}{15.17 \text{ Kpsi}} = 2.37$$

Con el factor de seguridad calculado se garantizará que la placa central del soporte menor no fallará.

Cálculo de las soldaduras de la placa central de la presente en la placa soporte menor

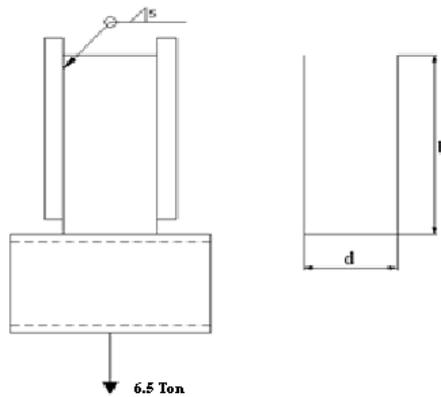


Fig. 2.60.- Esquema de la placa soporte menor

Se va emplear electrodos de tipo E60XX , con las ecs. 2.131 y 2.132 para calcular el área y el momento torsor, con los siguientes datos: Ver fig. 2.60

- $S_{ut} = 62 \text{ Kpsi} = 62000 \text{ psi} = 4368.2 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$
- $S_y = 50 \text{ Kpsi} = 3522.7 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$.
- $V = 6500 \text{ kg}$
- $h = 5 \text{ mm} = 0.005 \text{ m}$
- $b = 89 \text{ mm} = 0.089 \text{ m}$
- $d = 76 \text{ mm} = 0.076 \text{ m}$
- A: área de soldadura a ser calculada.

$$A = 0.707 * 0.005 \text{ m} (2 * 0.089 \text{ m} + 0.076 \text{ m})$$

$$A = 8.978 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$\tau = \frac{6500 \text{ kg}}{8.978 \times 10^{-4} \text{ m}^2} = 7.2399 \times 10^6 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2} = 10.2759 \text{ Kpsi}$$

Según el manual de la AISC el esfuerzo permisible, para el metal de aporte en el caso de una carga al corte es $0.30 S_{ut}$ según la ec. 2.133 y el factor de seguridad se calculará con la ec. 2.134

$$\tau_{per} = 0.3 * 62000 \text{ psi} = 18.6 \text{ kpsi}$$

$$\eta = \frac{18.6 \text{ kpsi}}{10.3 \text{ Kpsi}} = 1.805$$

Con este factor de seguridad se puede decir que las soldaduras no fallarán, al corte para este elemento.

2.1.2.4.1.6.- Diseño soporte mayor

2.1.2.4.1.6.1.- Cálculo de placas

Para estas placas se realizará el cálculo con la fuerza vertical más crítica siendo de 13 Ton, como se muestra en la fig. 2.61

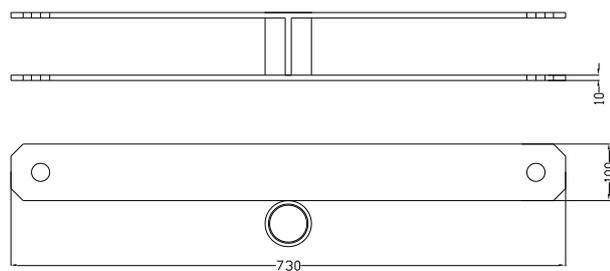


Fig. 2.61.- Esquema de la geometría de la placa soporte mayor de las poleas

En vista de que este grupo de placas, soportará dos placas menores, todas las fuerzas resultantes en las placas aquí se van a multiplicar por 2.

2.1.2.4.1.7.- Cálculo para la fuerza vertical más crítica de 13 Ton en las placas mayores.

Para el cálculo de las placas mayores se realizará con los siguientes datos:

$$F_p = 2 \frac{F_T}{N_{total \text{ ruedas}}} \quad (2.169)$$

Donde

- F_T : Fuerza vertical total que va a soportar el conjunto del tren de poleas; $F_T = 13 \text{ Ton}$
- $N_{total \text{ ruedas}}$: Número total de ruedas en cada tren; $N_{total \text{ ruedas}} = 16$

$$F_p = 2 * \frac{13000 \text{ kg}}{16} = 1.625 \text{ Ton}$$

Tomando en cuenta que son dos placas mayores la fuerza se multiplica por 2.

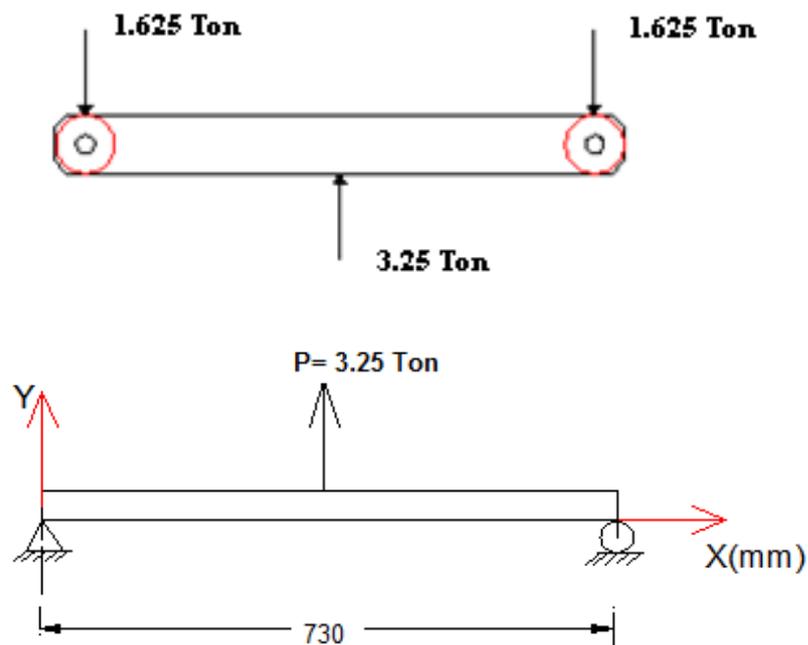
$$F_r = F_p * 2 \quad (2.170)$$

$$F_r = 1.625 \text{ Ton} * 2 = 3.25 \text{ Ton}$$

Ahora se considera los siguientes datos. Ver fig. 2.62

- F_p : Fuerza en cada placa $F_p = 1.625 \text{ Ton}$
- L_T : 0.730 m longitud total de placa soporte

Dando como resultado así:



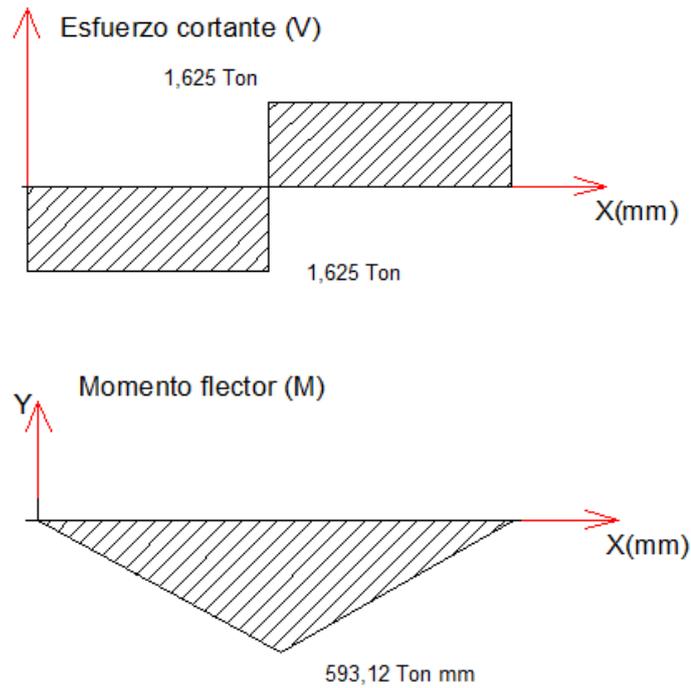


Fig. 2.62- Diagrama cuerpo libre, de momentos flectores, fuerzas cortantes y esquema de la geometría de la placa soporte mayor de las poleas

Esfuerzo por flexión

Considerando que la placa mayor tuviera un perfil completamente rectangular como se observa la fig. 2.63. Se aplicará la ec. 2.146 para el cálculo de C y para determinar la inercia se realizará en la ec. 2.147.

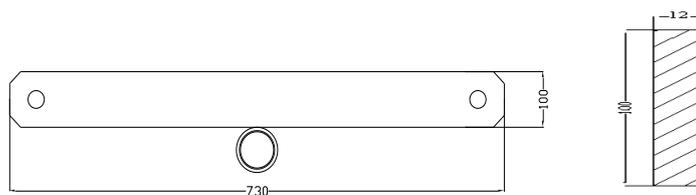


Fig. 2.63.- Esquema del perfil de la placa soporte mayor de las poleas.

$$I = \frac{12 (100^3)}{12} = 1 \times 10^{-6} m^4$$

$$M = 51.37 \text{ Klb} - \text{pulg} = 0.593 \text{ Ton} - m$$

$$C = 50 \text{ mm} = 0.05 \text{ m}$$

$$\sigma = \frac{0.593 \text{ Ton} - m * 0.05 \text{ m}}{1 \times 10^{-6} \text{ m}^4} = 29656.25 \frac{\text{Ton}}{\text{m}^2} = 42.09 \text{ kpsi}$$

Para el factor de seguridad se tomará la ec .2.123

$$\eta = \frac{36 \text{ kpsi}}{42.09 \text{ kpsi}} = 0.855$$

Como este elemento no es de mayor repercusión para el diseño de las poleas el factor de seguridad calculado es aceptable porque tiende a 1 y es suficiente para que no falle por flexión.

Consideración de cilindro de pared gruesa

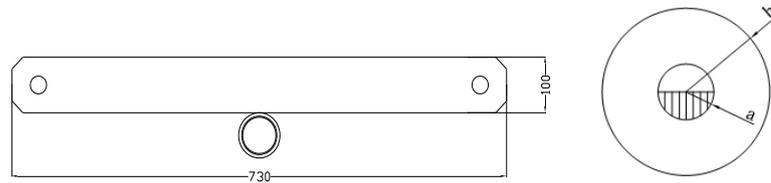


Fig. 2.64.- Esquema del cilindro de pared gruesa de la placa

Para calcular el factor de seguridad de este elemento se lo hace con los siguientes datos se puede ver en la fig. 2.64 así:

- a: 13 mm= 0.013 m
- b: 50 mm=0.05 m

La presión de la fuerza que va a estar distribuida en la mitad del área, y se puede determinar con las ecs. 2.119 y 2.120 y el σ_{eq} se calculará con la ec. 2.87.

$$A = \pi * 0.013 \text{ m} * 0.01 \text{ m} = 4.084 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$P = \frac{1.625 \text{ Ton}}{4.084 \times 10^{-4} \text{ m}^2} = 3978.942 \frac{\text{Ton}}{\text{m}^2}$$

$$\sigma_{eq} = 3978.942 \frac{\text{Ton}}{\text{m}^2} \frac{2 * (0.05 \text{ m})^2}{[(0.05 \text{ m})^2 - (0.013 \text{ m})^2]} = 8534.83 \frac{\text{Ton}}{\text{m}^2} = 12.113 \text{ Kpsi}$$

El factor de seguridad se obtiene con la ec. 2.123

$$\eta = \frac{36 \text{ Kpsi}}{12.113 \text{ Kpsi}} = 2.97$$

Como se puede verificar con este factor de seguridad garantizará que las placas mayores no fallen por flexión.

Cálculo del cilindro sujetador de las placas

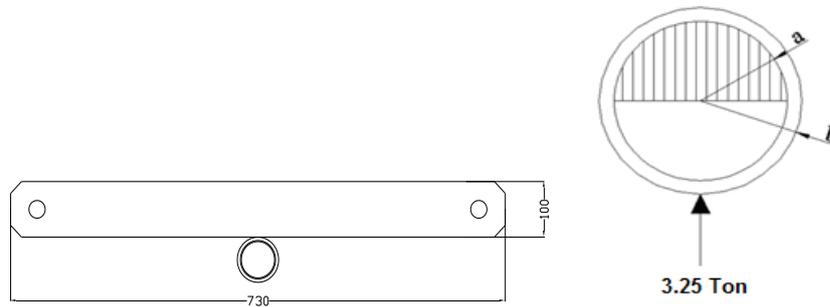


Fig. 2.65.- Esquema y aplicación de la fuerza en el elemento

Este elemento estará sujeto a dos consideraciones las cuales se someterá a la vez. Consideración de acuerdo a sus dimensiones como cilindro de pared gruesa y un esfuerzo por corte. La fuerza de 1.625 Ton de acuerdo a lo indicado al principio se va a multiplicar por dos dando un valor de 3.25 Ton (dos elementos presentes). Ver fig. 2.65

Para la consideración como cilindro de pared gruesa se calculará los dos esfuerzos presentes, en base a la presión ubicada en la mitad del área.

Con las ecs. 2.119, 2.138 se calculará la presión, y el área respectivamente, para σ_t se calculará con ec. 2.155 con los siguientes datos:

- $a = 26 \text{ mm} = 0.026 \text{ m}$
- $b = 32.5 \text{ mm} = 0.0325 \text{ m}$
- $t = a - b = 0.0325 - 0.026 = 0.0065 \text{ m}$
- $L = 90 \text{ mm} = 0.09 \text{ m}$
- $S_y = 66690 \text{ psi} = 66.690 \text{ Kpsi}$ (Barra perforada)

$$A = \pi * 0.026m * 0.09m = 7.35 \times 10^{-3}m^2$$

$$P = \frac{3.25 \text{ Ton}}{7.35 \times 10^{-3}m^2} = 442.097 \frac{\text{Ton}}{m^2}$$

$$\sigma_t = 442.097 \frac{\text{Ton}}{m^2} \frac{[(0.0325 \text{ m})^2 + (0.026 \text{ m})^2]}{(0.0325 \text{ m})^2 - (0.026 \text{ m})^2} = 2013.997 \frac{\text{Ton}}{m^2} = 2.858 \text{ kpsi}$$

El esfuerzo radial σ_r es igual a la presión obtenida así

$$\sigma_r = p = 442.097 \frac{\text{Ton}}{m^2} = 0.627 \text{ Kpsi}$$

Con la ec. 2.141 se calculará el esfuerzo al corte máximo:

$$\tau_{max} = \frac{2 * 3.25 \text{ Ton}}{0.0065m * 0.09 \text{ m}} = 11111.11 \frac{\text{Ton}}{m^2} = 15.770 \text{ Kpsi}$$

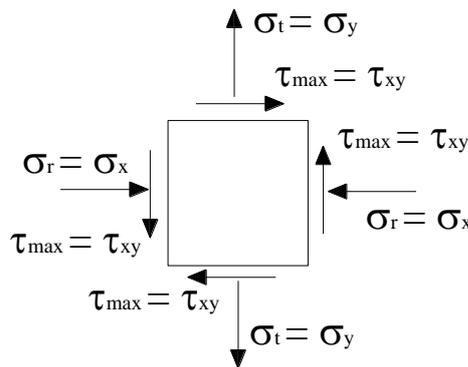


Fig. 2.66.- Esquema de los esfuerzos presentes en el elemento

De acuerdo a la teoría de la distorsión como se muestra en la fig. 2.66 se diseña con la ec 2.142 el esfuerzo y para el η se calculará con la ec. 2.123 con los siguientes datos:

- $\sigma_x = \sigma_r = 0.627 \text{ Kpsi}$
- $\sigma_y = \sigma_t = 2.858 \text{ kpsi}$
- $\tau_{xy} = \tau_{max} = 15.770 \text{ Kpsi}$
- $S_y = 66690 \text{ psi}$ (para barra perforada)

$$\sigma' = \sqrt{(0.627)^2 - 0.627 * 2.858 + (2.858)^2 + 3(15.770^2)} \text{ [Kpsi]}$$

$$\sigma' = 27.43 \text{ Kpsi}$$

$$\eta = \frac{66.690 \text{ Kpsi}}{27.43 \text{ Kpsi}} = 2.43$$

Con este factor de seguridad se determinará que no fallará el cilindro sujetador de las placas al corte.

2.1.2.4.1.8.- Diseño de la placa central

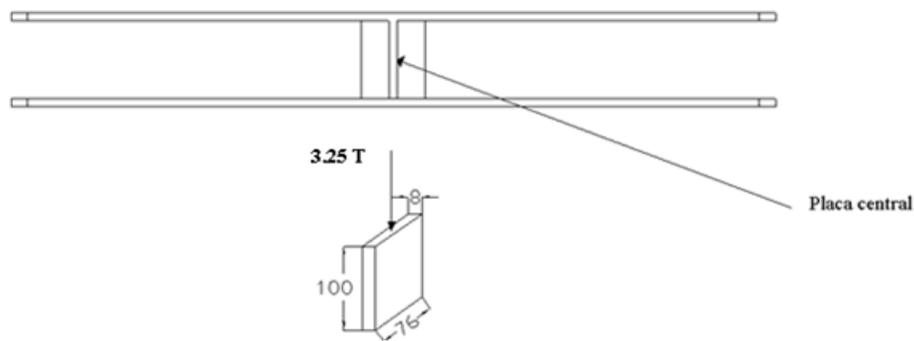


Fig. 2.67.- Esquema de la placa central

Con la misma fuerza que se transmite al elemento sujetador se prolonga a la placa central por tanto se tendrá una fuerza de 3.25 Ton. Ver fig. 2.67

Para el área se calculará con la ec. 2.129 y para el esfuerzo se lo realizará con la ec. 2.96 y para el factor de seguridad se analizará con la ec. 2.123

$$A = 0.008 \text{ m} * 0.076 \text{ m} = 6.08 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$\sigma = \frac{3.25 \text{ Ton}}{6.08 \times 10^{-4} \text{ m}^2} = 5345.394 \frac{\text{Ton}}{\text{m}^2} = 7.586 \text{ Kpsi}$$

$$\eta = \frac{36 \text{ Kpsi}}{7.586 \text{ Kpsi}} = 4.74$$

Este factor de seguridad nos garantizará que la placa central no fallará aplicando esta carga a flexión.

2.1.2.4.1.9.- Cálculos de los pernos del tren de poleas

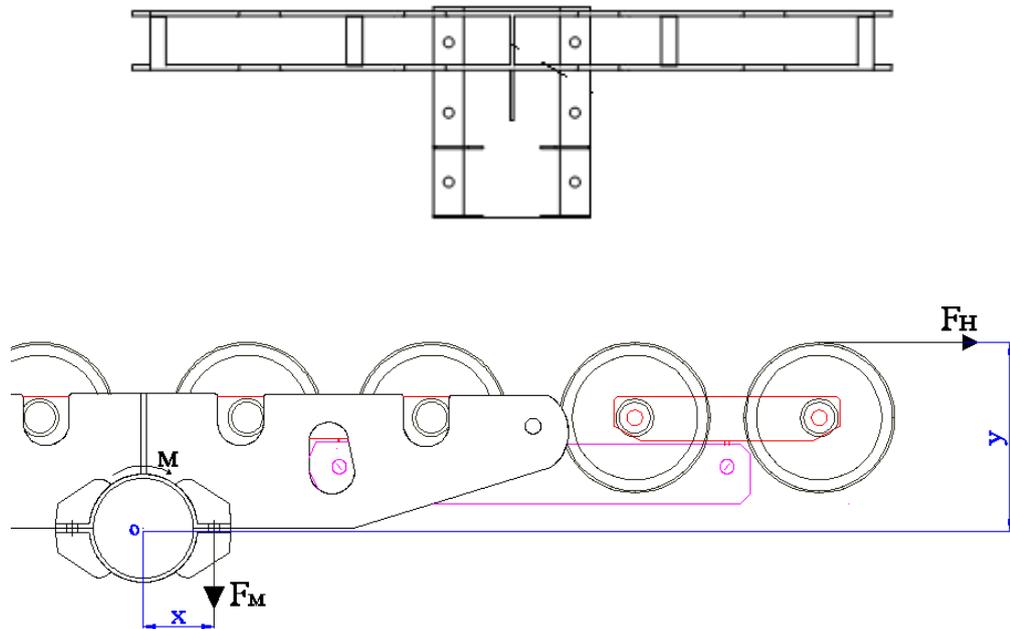


Fig. 2.68.- Fuerzas actuantes en el tren de poleas (cálculo de los pernos)

Debido a la presencia de F_H siendo el componente horizontal de la fuerza que se produce en la torre, existe un momento M que va a estar presente en los elementos de sujeción con el tubo horizontal, este momento resultará una fuerza F_M como muestra la fig. 2.68.

La resistencia máxima de las poleas es de $F_H = 1000 \text{ kg} = 1 \text{ Ton}$ por polea, entonces tomamos la siguiente consideración así:

$$F_H = 900 \text{ kg} = 0.9 \text{ Ton}$$

Los desplazamientos son los siguientes:

- $y = 320 \text{ mm} = 0.32 \text{ m}$
- $x = 119 \text{ mm} = 0.119 \text{ m}$

$$M_1 = F_H * y \quad (2.187)$$

$$M_1 = 0.90 \text{ Ton} * 0.32 \text{ m}$$

$$M_1 = 0.288 \text{ Ton} - m$$

$$M_2 = F_M * x \quad (2.188)$$

$$\therefore M_1 = M_2$$

$$F_M = \frac{M_2}{x} = \frac{0.288 \text{ Ton} - m}{0.119 \text{ m}}$$

$$F_M = 2.42 \text{ Ton}$$

$$F_H = 0.90 \text{ Ton}$$

Esta fuerza se dividirá para 3 pernos que están presentes en el lado, que se encuentra la tracción, dando un valor de:

$$F_{MP} = \frac{F_M}{3} \quad (2.189)$$

$$F_{MP} = \frac{F_M}{3} = \frac{2.42 \text{ Ton}}{3} = 0.81 \text{ Ton. Por cada perno}$$

$$F_{MP} = 0.81 \text{ Ton} = 1782 \text{ lb}$$

Para cada uno de los pernos se encuentra un valor de precarga (F_i) de la siguiente manera:

- Este valor de precarga por sugerencia está dentro de los intervalos siguientes:

$$0.6 F_p < F_i < 0.9 F_p \quad (2.190)$$

- F_p es la carga de prueba obtenida de la ec 2.191 así:

$$F_p = A_t S_p \quad (2.191)$$

- S_p es la resistencia a la prueba que por lo general se la obtiene en tablas, para el caso en la que no se cuenta con este valor en tablas, se tiene un valor aproximado:

$$S_p = 0.65 S_y \quad (2.192)$$

- A_t .- Es el área transversal del perno

- Para pernos de grado métrico 8.9 (grado SAE 4) $S_p = 0.65 * 10Kpsi = 65Ksi$
- Para pernos de $\frac{3}{4}$ plg de diámetro el $A_t = 0.334 plg^2$

$$F_p = 0.334 plg^2 * 65000 \frac{lb}{plg^2} = 21710 lb$$

Se tomará un valor promedio de F_i de acuerdo al intervalo $F_i = 0.75 F_p$

$$F_i = 0.75 (21710 lb) = 16282.5 lb$$

Ahora en cada perno se tendrá una fuerza total resultante de $F_{PT} = F_i + F_{MP}$

$$F_{PT} = 16282.5 lb + 1782 lb = 18064.5 lb$$

Para calcular el esfuerzo se lo hace con la ec. 2.193

$$\sigma = \frac{F_{PT}}{A_t} \quad (2.193)$$

$$\sigma = \frac{18064.5 lb}{0.334 plg^2} = 54085.32 Psi$$

Con la ec. 2.123 se obtiene el factor de seguridad así:

$$\eta = \frac{100 ksi}{54.085 ksi} = 1.85$$

Con este factor de seguridad garantizamos que el perno de falle al corte

Es necesario determinar un par torsor requerido para analizar la precarga específica para asegurar que se desarrolle la unión.

$$T = 0.2 F_i d \quad (2.195)$$

Entonces $d = \frac{3}{4}$ pulg = 0.75 pulg, diámetro del sujetador (perno)

$$T = 0.2 (16282.5 lb) \frac{3}{4} pulg = 2442.375 lb - pulg$$

Selección de la polea del tren

Para el cálculo de la selección de la polea se realizará con los siguientes datos aplicando la ec. 2.196 así:

$$C = \frac{P}{N \text{ de ruedas}} \quad (2.196)$$

- C : Es la capacidad de carga de rueda
- P : Carga máxima vertical en la torre es de 11000 kg=13 Ton
- N : Número de poleas (7 por recomendación)

$$C = \frac{11 \text{ Ton}}{7 \text{ ruedas}} = 1.857 \text{ Ton}$$

Por la falta de disponibilidad en el mercado nacional y en base a las características de trabajo que va a realizar esta polea, como es en el montaje y carga que va a soportar, se escoge una polea **JIR E-70 7337-Z-253-G- EXTRA PESADA de marca LAG, con una capacidad de carga de 1900 kg** y un diámetro de eje de 25,4 mm = 1 pulg.

La denominación EXTRA PESADA se refiere a que tiene una elevada resistencia a los golpes, a la abrasión, al desgarramiento, parámetros presentes en el funcionamiento del teleférico.

Cálculo de los ejes en el tren de poleas

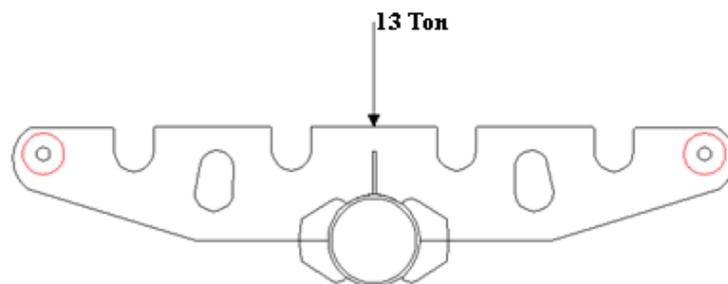


Fig. 2.69.- Esquema del tren de poleas

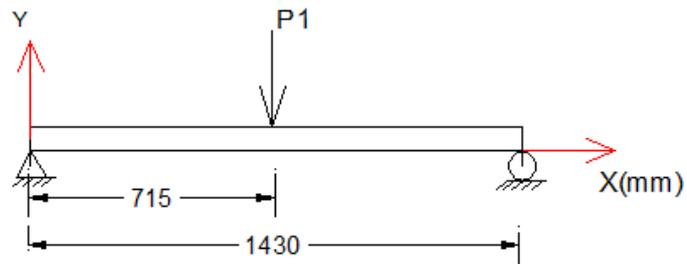


Fig. 2.70.- Esquema de la carga aplicada

$$V_r = \frac{P_{max}}{N_{trenes\ de\ poleas}} \quad (2.197)$$

$$V_r = \frac{13\ Ton}{2} = 6,5\ Ton = 14300\ lb$$

Esfuerzo cortante (V)

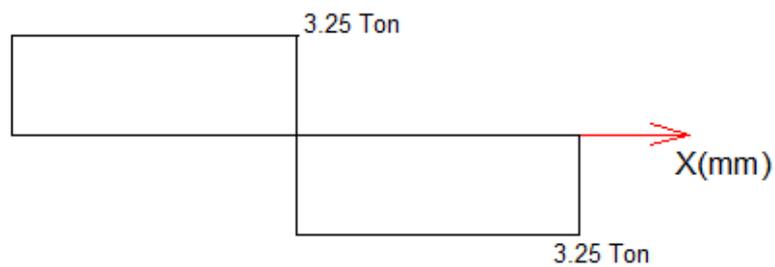


Fig. 2.71.- Diagramas de corte sobre el tren de poleas

$$V_r = 7150\ lb = 3.25\ Ton$$

$$\tau_{max} = \frac{4 V_r}{3 A} \quad (2.198)$$

$$d = 1\ pulg = 0,0254\ m$$

$$r = 0,0127\ m$$

$$A = \pi * r^2 \quad (2.199)$$

$$A = \pi * (0,0127m)^2 = 5,07 * 10^{-4} m^2 = 0,785\ pulg^2$$

$$\tau_{max} = \frac{4(7150 \text{ lb})}{3(0,785 \text{ pulg}^2)} = 12144.37 \text{ Psi}$$

$$S_{yc} = 0,6 S_y \quad (2.200)$$

- $S_y=34000$ psi para acero ASTM A-36

$$S_{yc} = 0,6(34000 \text{ Psi}) = 20400 \text{ psi}$$

$$\eta = \frac{S_{yc}}{\tau_{max}} \quad (2.201)$$

$$\eta = \frac{20400 \text{ psi}}{12144.37 \text{ Psi}} = 1.67$$

Con este factor de seguridad se puede determinar que los ejes del tren de poleas no fallarán al corte.

2.1.2.4.1.10.- Diseño de los trenes de poleas presentes en cada torre

2.1.2.4.1.10.1.- Cálculo del número de poleas de los trenes de poleas

Análisis por tramos

Para realizar este estudio primero se determina la ecuación para el peso del cable según la ec. 2.202, para luego determinar la tensión por tramos:

$$W = W_{cable} + \frac{P_{max}}{L} \quad (2.202)$$

Con los siguientes datos se obtiene el cálculo de peso de cable por tramos:

- W_{cable} : peso del cable para un diámetro de cable seleccionado 1 3/8 pulg; $5,21 \frac{kg}{m}$, según se determinó en la tabla 2.7
- P_{max} : para una cabina carga al máximo; 1100 kg
- $S=L$: Luz determinada previamente; 25 m
- t : tensión máxima del cable; 22 Ton
- h : altura determinada previamente; 4,38 m

$$W = 5,21 \frac{Kg}{m} + \frac{1100 Kg}{25 m} = 49,21 \frac{Kg}{m}$$

Se realizará el análisis para un punto cercano a la torre 1 según se muestra en la fig. 2.74 para facilidad de análisis.

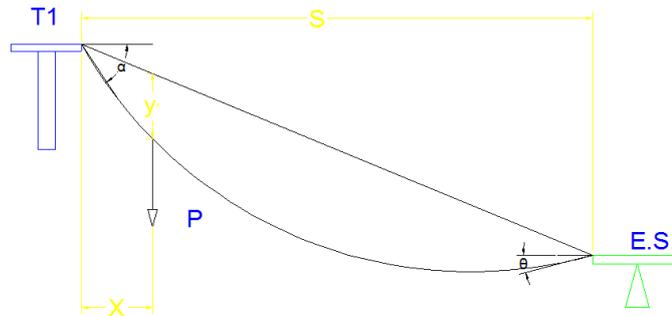


Fig. 2.72.- Esquema de cable entre estación de salida y torre 1 con posición de fuerza cercana a la torre 1

En el tramo I se analizará así:

$$y_x = \frac{W x(S-x)}{2 t} \quad (2.203)$$

$$y_x = \frac{49,21 \frac{kg}{m} (1m)(25 m - 1 m)}{2 (22000)} = 0,026 m$$

Con la ec. 2.13 se aplicará para obtener el ángulo θ así:

$$\tan \theta = \frac{0,026}{1} - \frac{4,38 m}{25 m}$$

$$\theta = -8,48^\circ$$

Para el cálculo de α se lo realizará con la ec. 2.14

$$\tan \alpha = \frac{0,026}{1} + \frac{4,38 m}{25 m}$$

$$\alpha = 11,37^\circ$$

Donde $\alpha = 11,37^\circ$ es el ángulo de entrada de la estación de salida a la torre 1

Realizando el análisis para el punto más cercano a la estación de salida según la fig. 2.75, para facilidad de análisis.

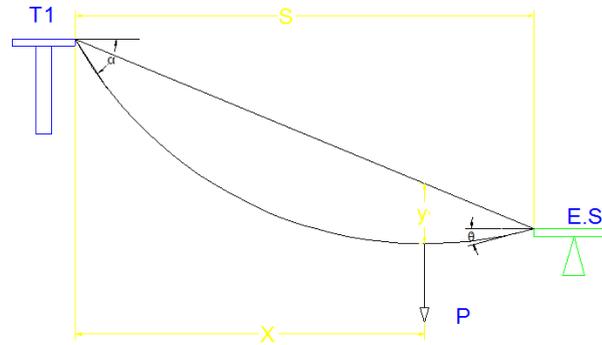


Fig. 2.75.- Esquema de cable entre estación de salida y torre 1 con posición de fuerza cercana en la estación de salida

Para calcular el ángulo θ se aplica la ec 2.13 y α es con la ec. 2.14

$$y_x = \frac{49,21 \frac{kg}{m} (1m)(25 m - 23 m)}{2 (22000)} = 0,0022 m$$

$$\tan \theta = \frac{0,0022}{23} - \frac{4,38 m}{25 m}$$

$$\theta = -9,93^\circ$$

$$\tan \alpha = \frac{0,0022}{23} + \frac{4,38 m}{25 m}$$

$$\alpha = 9,94^\circ$$

Se procede a realizar el análisis para todas las torres de manera similar obteniéndose los siguientes resultados. Ver fig. 2.76

TRAMO I				
X (m)	Y (m)	θ (°)	α (°)	
1	0,0268	-5,93	8,922	Torre 1
23	0,0514	-7,29	7,57	

Tabla 2.17.- Determinación de los grados de desviación por torres TRAMO I

Acuerdo a la fig. 2.76, y con las ecs. 2.13 y 2.14 para facilidad de análisis en los tramos II, III y IV así:

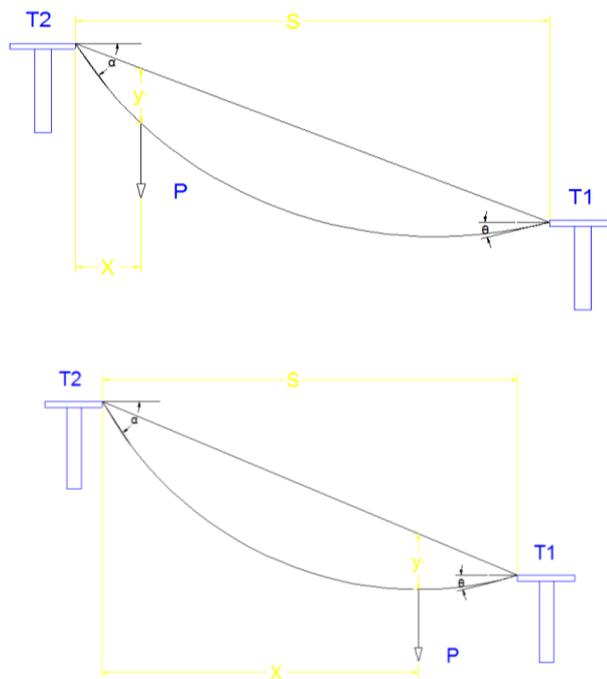


Fig. 2.76.- Esquema de cable entre torre 1 y torre 2

TRAMO II				
X (m)	Y (m)	θ (°)	α (°)	
2	1,56130	32,98	42,33	Torre 2
10	7,71702	32,61	42,05	
17	12,98585	32,29	41,82	
20	15,21036	32,16	41,7	
		Torre 1		

Tabla 2.18.- Determinación de los grados de desviación por torres TRAMO II

TRAMO II			
X (m)	Y (m)	θ (°)	α (°)
1	0,78177	33,02	42,61
5	3,88647	32,86	42,23
530	100,76866	3,376	17,79
670	22,48002	-5,54	9,313
Torre 3			

Tabla 2.19.- Determinación de los grados de desviación por torres TRAMO II

TRAMO III			
X (m)	Y (m)	θ (°)	α (°)
1	0,33440	9,737	26,42
280	6,26309	-7,96	10,48
Torre 3			

Tabla 2.20.- Determinación de los grados de desviación por torres TRAMO III

TRAMO IV			
X (m)	Y (m)	θ (°)	α (°)
1	0,08276	-5,59	14,73
5	0,39144	-5,82	14,03
E. LLEGA			

Tabla 2.21.- Determinación de los grados de desviación por torres TRAMO IV

TRAMO IV			
X (m)	Y (m)	θ (°)	α (°)
1	0,08276	-5,52	14,73
70	0,39144	-9,92	10,54

Tabla 2.22.- Determinación de los grados de desviación por torres TRAMO IV

En base a los ángulos obtenidos se calculará el ángulo de incidencia para cada torre y posteriormente se procede a calcular el número de poleas de cada tren de poleas para cada torre. Según las tablas 2.17, 2.18, 2.19, 2.20, 2.21, 2.22.

En la torre 1 se analizará así:

$$\gamma = b_{max} - a_{min} \quad (2.206)$$

$$\gamma = 8.922^\circ - 32.16^\circ = -23.238^\circ$$

$$N_{ruedas} = \frac{\gamma}{2^\circ} \quad (2.207)$$

$$N_{ruedas} = \frac{\gamma}{2^\circ} = \frac{23.238^\circ}{2^\circ} = 11.619 \approx 12 \text{ ruedas}$$

Para las torres 2, 3, 4 y 5 se calcula con las ecs. 2.206 y 2.207. Ver fig. 2.77

$$\gamma_{torre 2} = 42.33^\circ - 42.61^\circ = -0.28^\circ$$

$$N_{ruedas \text{ torre } 2} = \frac{-0.28^\circ}{2^\circ} = -0.14^\circ \approx 0 \text{ ruedas}$$

$$\gamma_{torre 3} = -5.54^\circ + 7.96^\circ = -2.42^\circ$$

$$N_{ruedas \text{ torre } 3} = \frac{-2.42^\circ}{2^\circ} = 1.21^\circ \approx 1 \text{ ruedas}$$

$$\gamma_{torre 4} = 26.42^\circ - 14.73^\circ = 11.69^\circ$$

$$N_{ruedas \text{ torre } 4} = \frac{11.69^\circ}{2^\circ} = 5.845^\circ \approx 6 \text{ ruedas}$$

$$\gamma_{torre 5} = -5.82^\circ - 14.73^\circ = -20.55^\circ$$

$$N_{ruedas \text{ torre } 5} = \frac{20.55^\circ}{2^\circ} = 10.275^\circ \approx 10 \text{ ruedas}$$

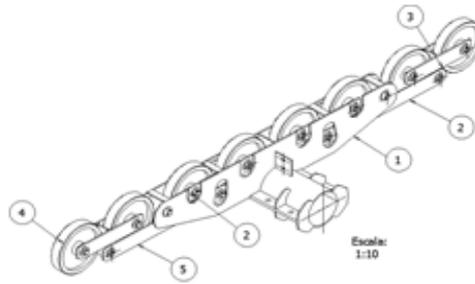


Fig. 2.77.- Esquema del tren de poleas

Como se puede observar el número de poleas calculadas no son mayores de 16 para cada torre, por lo que en cada extremo de las torres se coloca 8 poleas, en los dos trenes de poleas.

El número de poleas son los mismos para todas las torres ya que tiene las mismas medidas y tienen similares ángulos de incidencia.

2.1.2.5.- DISEÑO DE LAS SILLAS Y CABINAS

Para el diseño de las cabinas, y debido a la forma geométrica que se basa en aspectos funcionales, se tomará la parte más crítica de la estructura siendo esta, la que servirá de conexión con el cable. Ver fig. 2.78

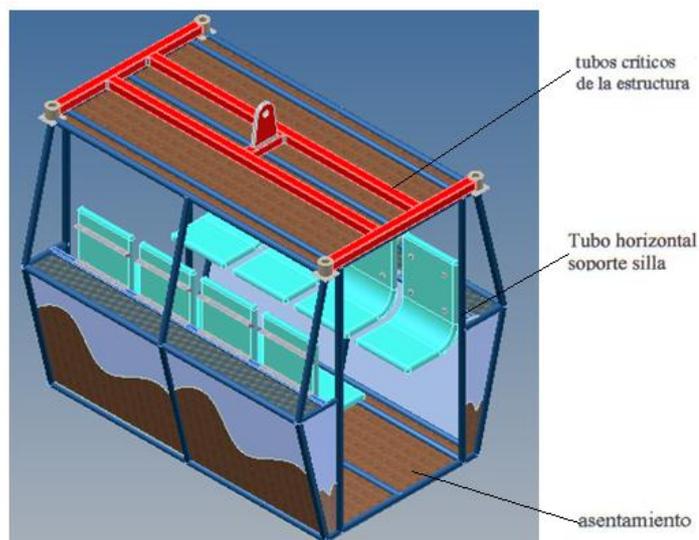


Fig. 2.78.- Forma de cabina a diseñar

2.1.2.5.1.- Cálculo del tubo crítico

Como se puede apreciar en la fig. 2.79 se considerará como una estructura simétrica en pórtico con soportes fijos.

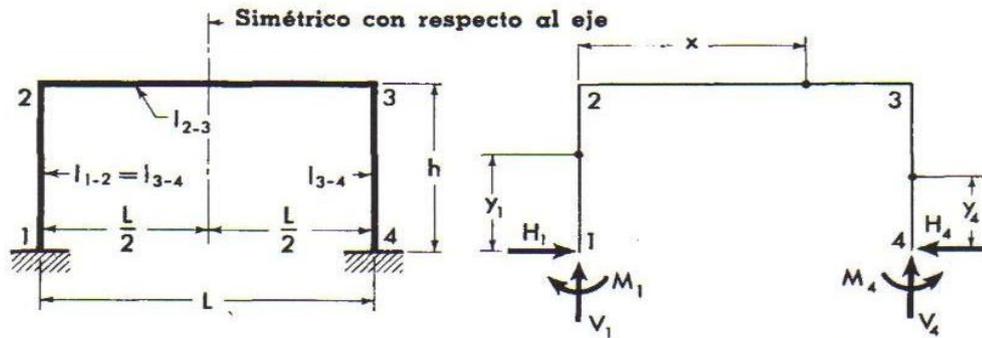


Fig. 2.79.- Esquema de marco formado en la cabina

En la tabla 2.23 se apreciará la carga máxima en la cabina con todos sus componentes.

CANT	ITEM	PESO INDIVIDUAL (KG)	TOTAL (KG)
1	Cabina	150	150
8	Personas	80	640
4	Sillas	80	320
		TOTAL	1110

Tabla 2.23.- Determinación de la cabina cargada al máximo

Para la geometría de la cabinas se las analizará como dos pórticos que van a soportar la carga máxima, tomada de la tabla 2.23 a la cual se dividirá para dos, quedando $P=550$ kg. Ver fig. 2.80

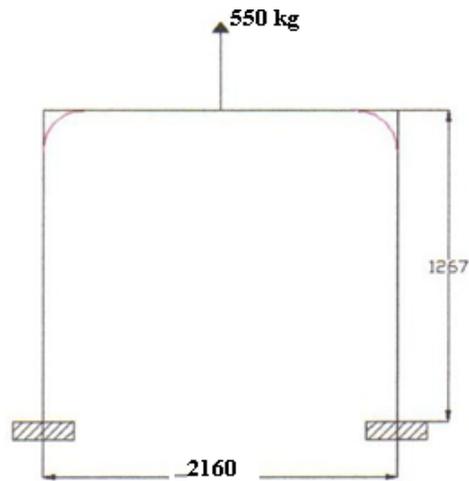


Fig. 2.80.- Dimensiones del pórtico

$$\varphi = \frac{I_{1-2}}{I_{2-3}} * \frac{L}{h} \quad (2.208)$$

$$\frac{I_{1-2}}{I_{2-3}} = 1$$

$$\frac{L}{h} = \frac{2160 \text{ mm}}{1267 \text{ mm}} = 1.704$$

$$\varphi = 1 * 1.704 = 1.704$$

$$F = 6 \left(2 + \frac{1}{\varphi} \right) \quad (2.209)$$

$$F = 6 \left(2 + \frac{1}{1.704} \right) = 15.52$$

Con la ec. 2.74 se obtiene las ecs. 2.210 y 2.111 para calcular los momentos así:

$$M_1 = M_4 = -\frac{3PL}{4F} \quad (2.210)$$

$$M_1 = -\frac{3(550 \text{ kg}) * 2.160 \text{ m}}{4(15.52)} = -57.40 \text{ kg m} = -0.05740 \text{ Ton - m}$$

$$M_2 = M_3 = -\frac{3PL}{2F} \quad (2.211)$$

$$M_2 = -\frac{3(550\text{kg}) * 2.160\text{ m}}{2(15.52)} = -114.81\text{ kg m} = -0.1148\text{ Ton - m}$$

Para calcular las fuerzas horizontales y verticales se aplica el equilibrio de fuerzas según las ecs. 2.72 y 2.73 así:

$$H_1 = H_4 - \frac{3M_1}{h} \quad (2.212)$$

$$H_1 = \frac{3 * 0.05740\text{ Ton - m}}{1.267\text{ m}} = 0.1359\text{ Ton}$$

$$V_1 = V_4 = \frac{P}{2} \quad (2.213)$$

$$V_1 = \frac{550\text{ kg}}{2} = 275\text{ kg} = 0.275\text{ Ton}$$

Para calcular de los momentos máximos se realizará con la ec. 2.75 y los cuales se muestran en la fig. 2.81 así:

$$M_{max} = \frac{P*x}{2} + M_2 \quad (2.214)$$

$$x = \frac{L}{2} \quad (2.215)$$

$$x = \frac{2160\text{mm}}{2} = 1080\text{ mm} = 1.08\text{ m}$$

$$M_{max} = \frac{550\text{ kg} * 1.08\text{ m}}{2} + (-114.81\text{ kg m}) = 182.19\text{ kg m} = 0.182\text{ Ton m}$$

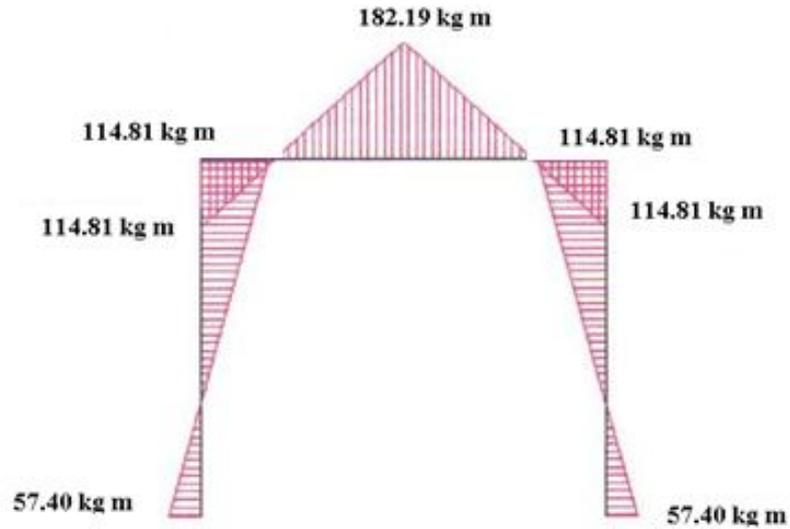


Fig. 2.81.- Diagrama de momentos en el marco de cabina

Se tomará los datos de tubería comerciales según ANEXO A1 por DIPAC.

Con los siguientes datos se calculará las inercias así:

- $d_{ext} = 1 \frac{1}{2}$ pulg = 48.3 mm = 0.0483 m
- $e = 0,14$ pulg = 3,68 mm
- $d_{int} = 40.94$ mm

$$I = \frac{\pi}{64} (d_{ext}^4 - d_{int}^4) \quad (2.217)$$

$$I = \frac{\pi}{64} [(0.0483 \text{ m})^4 - (0.04094 \text{ m})^4] = 1.297 \times 10^{-8} \text{ m}^4$$

Con la ec. 2.146 y aplicando el M_{max} se conoce el σ_{max} así:

$$C = \frac{d_{ext}}{2} \quad (2.218)$$

$$C = \frac{0.0483 \text{ m}}{2} = 0.0241 \text{ m}$$

$$\sigma_{max} = \frac{(0.182 \text{ Ton m}) * 0.0241 \text{ m}}{1.297 \times 10^{-8} \text{ m}^4} = 33794.30 \frac{\text{Ton}}{\text{m}^2} = 47.96 \text{ kpsi}$$

Con la ec. 2.123 y aplicando el σ_{max} resulta así

$$\eta = \frac{36 \text{ kpsi}}{47.96 \text{ kpsi}} = 0.75$$

Como se puede comprobar con un diámetro exterior de 1 ½ pulg fallará, por tanto se escogerá un tubo de diámetro mayor ósea de 2 pulg y se vuelve a analizar.

- $d_{ext} = 2 \text{ pulg} = 60.30 \text{ mm} = 0.0603 \text{ m}$
- $e = 0,15 \text{ pulg} = 3.91 \text{ mm}$
- $d_{int} = 52.4 \text{ mm} = 0.0524 \text{ m}$

$$I = \frac{\pi}{64} (d_{ext}^4 - d_{int}^4) \quad (2.217)$$

$$I = \frac{\pi}{64} [(0.0603 \text{ m})^4 - (0.0524 \text{ m})^4] = 2.78 \times 10^{-8} \text{ m}^4$$

Con la ec. 2.146 y aplicando el M_{max} se conoce el σ_{max}

$$C = \frac{d_{ext}}{2} \quad (2.218)$$

$$C = \frac{0.0603 \text{ m}}{2} = 0.0301 \text{ m}$$

$$\sigma_{max} = \frac{(0.182 \text{ Ton m}) * 0.0301 \text{ m}}{2.78 \times 10^{-8} \text{ m}^4} = 19641.31 \frac{\text{Ton}}{\text{m}^2} = 27.87 \text{ kpsi}$$

$$\eta = \frac{36 \text{ kpsi}}{27.87 \text{ kpsi}} = 1.29$$

Con el diámetro de 2 pulg., se puede comprobar que el pórtico con las medidas determinadas no fallará a flexión.

2.1.2.5.1.1.- Cálculo de las partes curvas

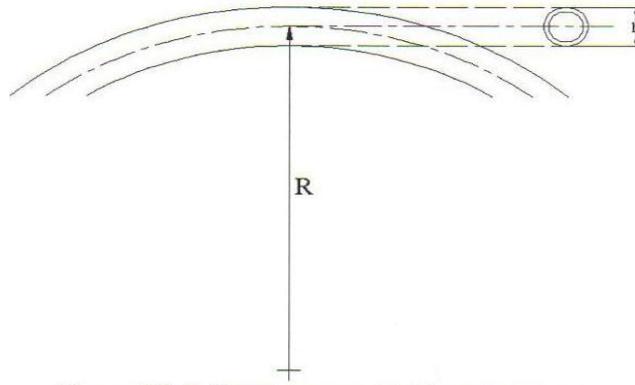


Fig. 2.82.- Forma de la parte curva del tubo

De acuerdo a la teoría de vigas curvas²⁶ se tendrá dos tipos de vigas:

- Viga de curvatura grande cuando $\frac{h}{R} < \frac{1}{5}$
- Viga de curvatura pequeña cuando $\frac{h}{R} > \frac{1}{5}$

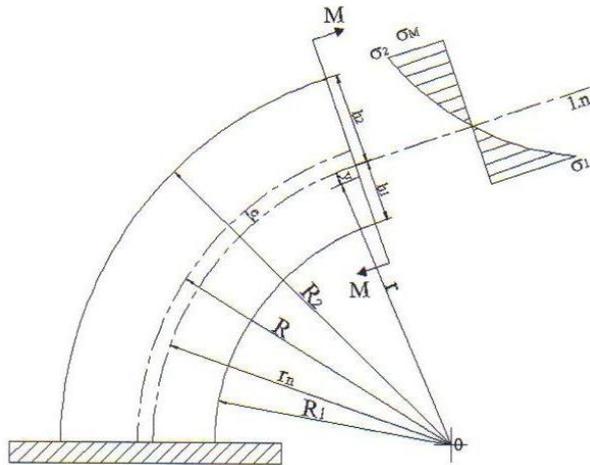


Fig. 2.83.- Diagrama de esfuerzos aplicado en la curva del tubo

²⁶ SHIGLEY, J. *Manual de Diseño Mecánico*. McGraw-Hill. 4 Ed. Mexico. p 854.

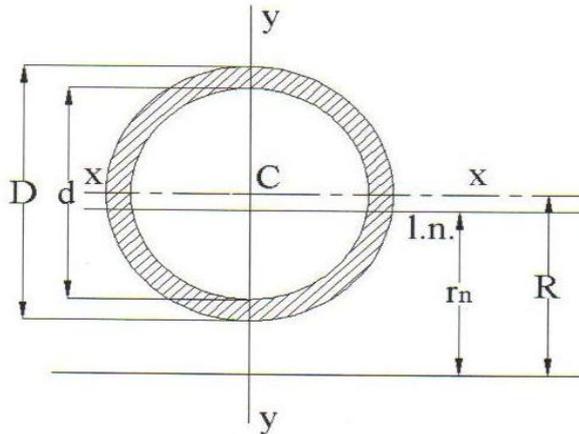


Fig. 2.84.- Dimensiones del tubo a utilizar

Para dimensionar el tubo se tendrá: Ver fig. 2.84

- $h = D = 2 \text{ pulg} = 60.30 \text{ mm}$
- $R = 150 \text{ mm}$
- C: Centro de gravedad
- Ln.: línea neutra
- A: Área de la sección transversal
- $M = M_2$: Momento Flector (máximo)
- N: fuerza normal
- y : se reemplazará por h_1 o h_2 de acuerdo a la tensión máxima calculada en los extremos con las siguientes fórmulas

$$\frac{h}{R} = \frac{60.3 \text{ mm}}{150 \text{ mm}} = 0.402 > \frac{1}{5}$$

Por este resultado se tendrá una viga de curvatura grande

$$r_n = \frac{\sqrt{4R^2 - D^2} + \sqrt{4R^2 - d^2}}{4} \quad (2.219)$$

$$r_n = \frac{\sqrt{4(150\text{mm})^2 - (60.3\text{mm})^2} + \sqrt{4(150\text{mm})^2 - (52.4\text{mm})^2}}{4}$$

$$r_n = 147.21 \text{ mm} = 0.147 \text{ m}$$

$$e = R - r_n \quad (2.220)$$

$$e = (150 - 147.21)mm = 2.78 mm$$

$$\sigma_{max} = \frac{M_y}{A e(r_n - y)} + \frac{N}{A} \quad (2.221)$$

$$\sigma_1 = \frac{M h_2}{A R_2} \quad \sigma_2 = \frac{M h_2}{A e R_2} \quad (2.222)$$

Según la fig. 2.81 el momento en la parte de la curvatura es $M = M_2 = 0.11481 \text{ Ton-m}$

$$h_1 = \frac{D}{2} - e \quad (2.223)$$

$$h_1 = \frac{60.3mm}{2} - 3.91mm = 26.24 mm = 0.0262 m$$

$$h_2 = \frac{D}{2} + e \quad (2.224)$$

$$h_2 = \frac{60.3mm}{2} + 3.91mm = 34.06 mm = 0.03406 m$$

$$A = \frac{\pi}{4} (D^2 - d^2) \quad (2.225)$$

$$A = \frac{\pi}{4} [(60.3mm)^2 - (52.4mm)^2] = 699.26 mm^2 = 6.99 \times 10^{-4} m^2$$

$$R_1 = R - \frac{D}{2} \quad (2.226)$$

$$R_1 = 150 mm - \frac{60.3 mm}{2} = 119.85 mm = 0.119m$$

$$R_2 = R + \frac{D}{2} \quad (2.227)$$

$$R_2 = 150 mm + \frac{60.3 mm}{2} = 180.15 mm = 0.180 m$$

Con la ec. 2.222 se determinará el esfuerzo 1 así:

$$\sigma_1 = \frac{0.11481 \text{ Ton-m} * 0.0262\text{m}}{6.99 \times 10^{-4} \text{m}^2 * 3.91 \times 10^{-3} \text{m} * 0.119\text{m}} \quad \sigma_2 = \frac{0.11481 \text{ Ton-m} * 0.03406\text{m}}{6.99 \times 10^{-4} \text{m}^2 * 3.91 \times 10^{-3} \text{m} * 0.180\text{m}}$$

$$\sigma_1 = 9248.68 \quad \sigma_2 = 7948.73$$

Debido, que en el punto 1 se tendrá mayor tensión, para el cálculo σ_{max} se reemplazará por h_1 , además se dimensionará en la ec. 2.221 sin la expresión $\frac{N}{A}$, ya que no se tiene fuerza normal quedando definida así:

$$\sigma_{max} = \frac{M * h_1}{A_e (r_n - h_1)}$$

$$\sigma_{max} = \frac{0.1148 \text{ Ton} - \text{m} * 0.0626\text{m}}{6.99 \times 10^{-4} \text{m}^2 * 3.91 \times 10^{-3} \text{m} (0.147\text{m} - 0.0262\text{m})}$$

$$\sigma_{max} = 12931.55 \text{ psi}$$

$$\eta = \frac{36000 \text{ psi}}{12931.55 \text{ psi}} = 2.78$$

Con este factor de seguridad se garantizará que no fallará en las partes curvas de la tubería superior del pórtico que conforma la cabina.

Con el valor del σ_{max} calculado se determinará el factor de seguridad

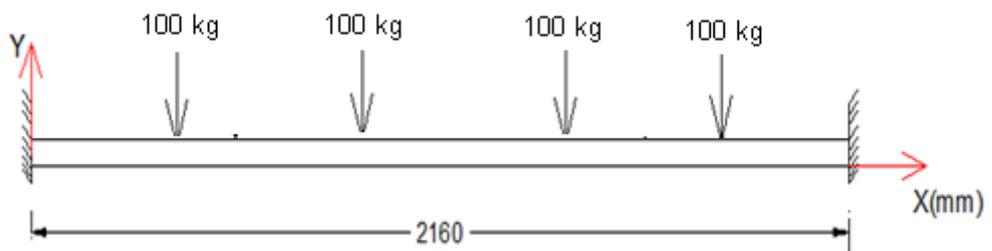


Fig. 2.85.- Dimensiones de la parte superior de la cabina

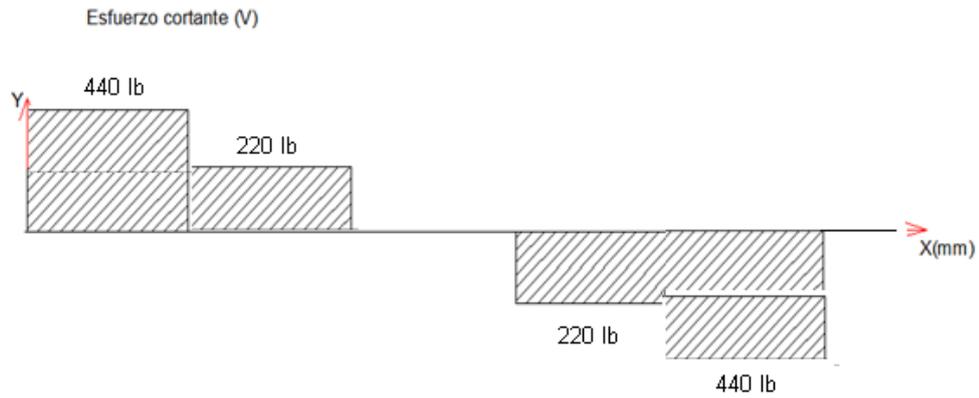


Fig. 2.86.- Diagrama de fuerzas cortantes en el tubo

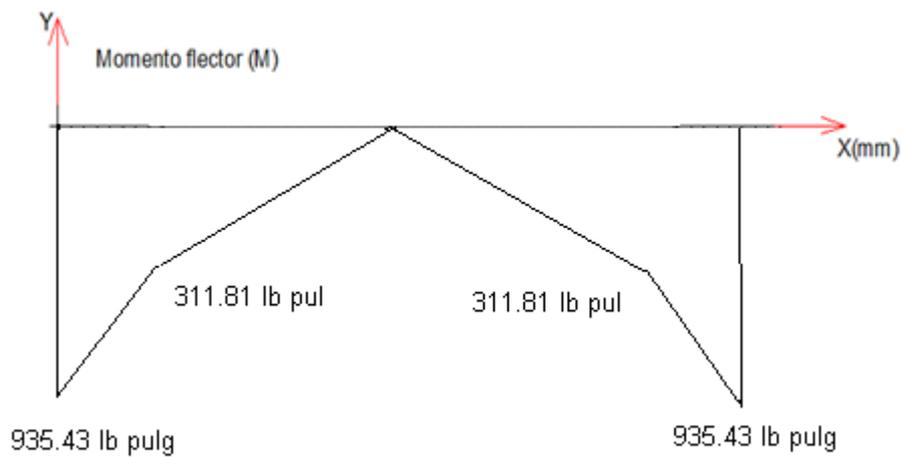


Fig. 2.87.- Diagrama de momentos flectores en el tubo de la parte superior

$$M_{\frac{2L}{2}} = -\frac{3P\frac{L}{2}}{2F} \quad (2.228)$$

Dónde:

- $M_{max} = 935.43 \text{ lb} - \text{pulg} = 10.79 \text{ kg m} = 0.01079 \text{ Ton-m}$
- $M_3 = 182.19 \text{ kg m} - 57.40 \text{ kg m} = 124.6 \text{ kg m} = 0.124 \text{ Ton m}$

Para el diagrama de momento flector se considera que la viga tiene doble empotramiento y se toma en cuenta el diagrama de diseño por vigas por esbeltez²⁷

Aplicando la ec. 2.217 se establece los momentos de inercia y con la ec. 2.218 se calculará C con los siguientes datos:

$$d_{ext} = 0.0603 \text{ m} ; d_{int} = 0.0524 \text{ m}$$

$$I = \frac{\pi}{64} [(0.0603\text{m})^4 - (0.0524\text{m})^4] = 2.78 \times 10^{-7} \text{ m}^4$$

$$C = \frac{0.0603 \text{ m}}{2} = 0.0301 \text{ m}$$

Aplicando la ec. 2.146 logrando conseguir los σ_{max} y para η se resolverá con la ec. 2.123 así:

$$\sigma_{max} = \frac{0.01079 \text{ Ton} - \text{m} * 0.0301 \text{ m}}{2.78 \times 10^{-7} \text{ m}^4} = 1169.34 \frac{\text{Ton}}{\text{m}^2} = 1.65 \text{ kpsi}$$

$$\eta = \frac{36 \text{ kpsi}}{1.65 \text{ kpsi}} = 21.81$$

Con este factor de seguridad garantizamos que las partes curvas del tubo fallarán.

²⁷ SHIGLEY, J. *Manual de Diseño Mecánico*. McGraw-Hill. 4 Ed. Mexico. p 854.

2.1.2.5.2.- Cálculo del elemento sujetador de la cabina

2.1.2.5.2.1.- Cálculo por esfuerzo a compresión

Debido a la geometría que se presenta, se tomará un área media para el soporte como se muestra en la fig. 2.88

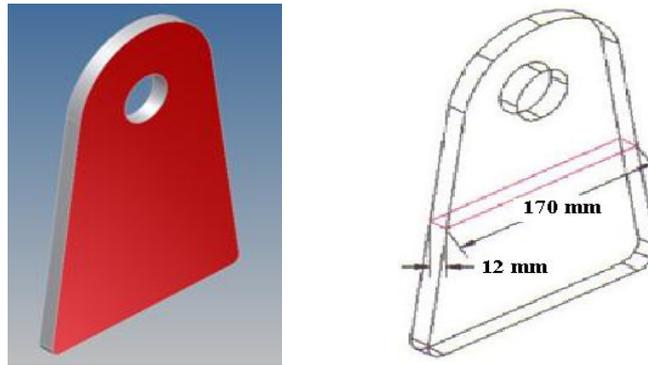


Fig. 2.88.- Esquema del elemento sujetador de la cabina

Con la ec. 2.129 se calculará el área de la fig. 2.88, y con la ec. 2.96 se calculará el esfuerzo, para finalmente con ec. 2.123 se resolverá η así:

$$A = 0.17 \text{ m} * 0.012 \text{ m} = 2.04 \times 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$F = 550 \text{ kg} = 0.55 \text{ Ton}$$

$$\sigma = \frac{0.55 \text{ Ton}}{2.04 \times 10^{-3} \text{ m}^2} = 269.60 \frac{\text{Ton}}{\text{m}^2} = 1.80 \text{ kpsi}$$

$$\eta_1 = \frac{36 \text{ kpsi}}{0.382 \text{ Kpsi}} = 94.240$$

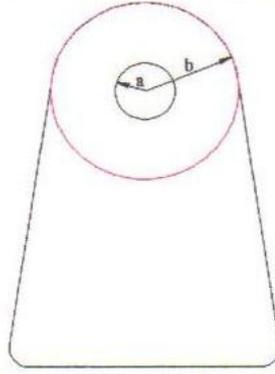


Fig. 2.89.- Esquema del elemento sujetador de la cabina considerando como cilindro de pared gruesa

Se considerará como un cilindro de pared gruesa para la parte curva del sujetador de la cabina como se muestra en la fig. 2.89, y se calculará η_2 con los siguientes datos:

- $a=19 \text{ mm} =0.019 \text{ m}$
- $b= 60 \text{ mm} =0.06 \text{ m}$
- $e= 12 \text{ mm} = 0.012 \text{ m}$ (espesor del elemento sujetador)

Y aplicando las ecs. 2.119, 2.120, 2.87; para el factor de seguridad se resolverá con la ec. 2.123 así:

$$A = \pi * 0.019\text{m} * 0.012\text{m} = 7.162 \times 10^{-4} \text{m}^2$$

$$\frac{P}{2} = F = 550\text{kg} = 0.55 \text{Ton}$$

$$p = \frac{0.55 \text{Ton}}{7.162 \times 10^{-4} \text{m}^2} = 767.85 \frac{\text{Ton}}{\text{m}^2}$$

$$\sigma_{eq} = 767.85 \frac{\text{Ton}}{\text{m}^2} \frac{2(0.06\text{m})^2}{[(0.06\text{m})^2 - (0.019\text{m})^2]} = 853.43 \frac{\text{Ton}}{\text{m}^2} = 1.211 \text{Kpsi}$$

$$\eta_2 = \frac{36 \text{Kpsi}}{1.211 \text{Kpsi}} = 29.71$$

En los dos factores de seguridad η_2 y η_1 se puede determinar que no fallará este elemento a compresión.

2.1.2.5.2.2.- Cálculo de la soldadura en el elemento sujetador de la cabina

Para calcular este elemento, se realizará en el tubo más crítico de la cabina para una carga máxima de 1100 kg. Ver fig. 2.90

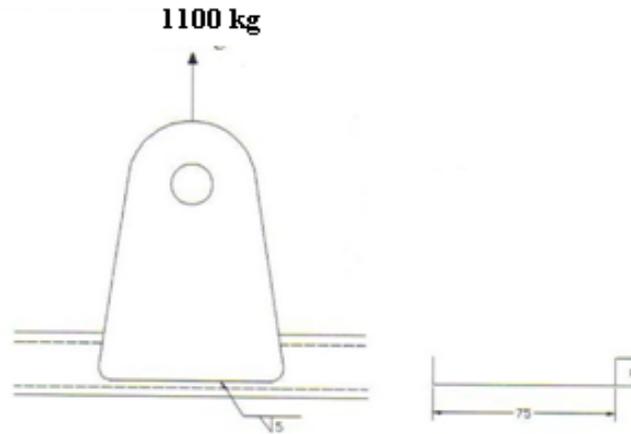


Fig. 2.90.- Esquema del elemento soldado con su geometría

Se utilizará electrodos de tipo E60XX cuyas características son:

- $S_{ut} = 62 \text{ Kpsi} = 4368.2 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$;
- $S_y = 50 \text{ Kpsi} = 3522.7 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$.

Cortante primario

Para el corte primario de la soldadura de este elemento se aplicará la ec. 2.132 y así se obtendrá el esfuerzo al corte, pero primero se calcula el área con la ec. 2.241, con los siguientes datos así:

$$A = 1.414 * \pi * h * r \quad (2.241)$$

- $V=275 \text{ kg} = 0.275 \text{ Ton}$, este valor se toma del tubo horizontal soporte de las sillas como se muestra la fig. 2.87
- $h = 3.5 \text{ mm} = 3.5 \times 10^{-3} \text{ m}$
- $l_{\text{tubo cuadrado}} = 60 \text{ mm} = 0.06 \text{ m}$

$$A = 1.414 * \pi * (3.5 \times 10^{-3} \text{ m}) * 0.06 \text{ m} = 9.328 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$\tau' = \frac{0.275 \text{ Ton}}{9.328 \times 10^{-4} \text{ m}^2} = 294.79 \frac{\text{Ton}}{\text{m}^2} = 0.418 \text{ Kpsi}$$

Cortante secundario

$$\tau'' = \frac{M C}{I} \quad (2.242)$$

Con la ec. 2.218 se conocerá C así:

$$C = \frac{0.0381 \text{ m}}{2} = 0.01905 \text{ m}$$

$$I = 0.707 h I_u \quad (2.244)$$

$$I_u = \pi l^3 \quad (2.245)$$

Con los siguientes datos se calculará las inercias y el cortante secundario aplicará las ecs. 2.244 y 2.245 así

- $h = 3.5 \text{ mm} = 3.5 \times 10^{-3} \text{ m}$
- $\text{lado cuadrado} = \frac{l}{2} = \frac{0.06 \text{ m}}{2} = 0.03 \text{ m}$
- $I =$ segundo momento de área, con base en el área de la garganta de la soldadura
- $I_u =$ segundo momento de área unitaria
- $M_1 = M_{\text{max}} = 124.6 \text{ kg m}$

$$I_u = \pi * (0.06 \text{ m})^3 = 6.78 \times 10^{-4} \text{ m}^3$$

$$I = 0.707 * 3.5 \times 10^{-3} \text{ m} * 6.78 \times 10^{-4} \text{ m}^3 = 1.677 \times 10^{-6} \text{ m}^4$$

$$\tau'' = \frac{124.6 \text{ kg} - \text{m} \cdot 0.03 \text{ m}}{1.677 \times 10^{-6} \text{ m}^4} = 2.228 \times 10^6 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2} = 3.163 \text{ kpsi}$$

$$\tau = \sqrt{\tau'^2 + \tau''^2} \text{ Resultante de magnitud de corte} \quad (2.248)$$

$$\tau = \sqrt{(0.418 \text{ Kpsi})^2 + (3.163 \text{ kpsi})^2} = 3.19 \text{ Kpsi}$$

$$S_y = 50 \text{ Kpsi}$$

Cuando se aplicará la ec. 2.93 logramos establecer S_{sy} así:

$$S_{sy} = 0.577 * 50 \text{ Kpsi} = 28.85 \text{ Kpsi}$$

$$\eta = \frac{S_{sy}}{\tau} \quad (2.249)$$

$$\eta = \frac{28.85 \text{ Kpsi}}{3.19 \text{ Kpsi}} = 9.04$$

Con este factor de seguridad garantizamos que con el corte primario y secundario del elemento sujetador de la cabina no fallará.

2.1.2.5.2.2.3.- Cálculo de la soldadura de unión de los tubos de la cabina

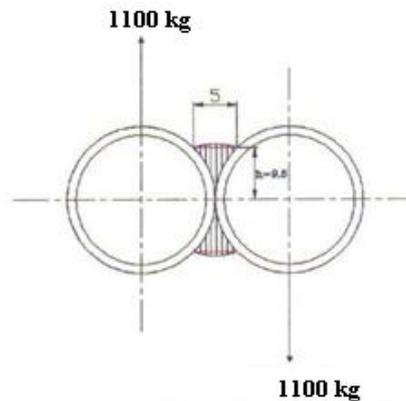


Fig. 2.91.- Soldadura de unión de los tubos de la cabina.

Para este caso existe un esfuerzo al corte con un valor de carga de $V= 1100 \text{ kg}$ cuando la cabina está cargada totalmente ver fig. 2.91, para calcular nos servirá las ecs. 2.129 y 2.132 con los siguientes datos:

- L : es la longitud del cordón de soldadura, $L = 160 \text{ mm} = 0,16 \text{ m}$
- h : altura del cordón de soldadura con base en la línea neutra del tubo, $h=9.5 \text{ mm}= 0,0095\text{m}$
- Electrodo E60XX, $S_{ut} = 62000 \text{ psi}$

$$A = 0,16 \text{ m} * 0,0095 \text{ m} = 1,52 \times 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$\tau = \frac{1100 \text{ kg}}{1,52 \times 10^{-3} \text{ m}^2} = 723,684 \times 10^3 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2} = 1027,16 \text{ psi}$$

Aplicando las ecs. 2.133 y 2.134 se calculará τ_{per} y η respectivamente:

$$\tau_{per} = 0.3 * 62000 = 18600 \text{ psi}$$

$$\eta = \frac{18600 \text{ psi}}{1027,16 \text{ psi}} = 18,10$$

Con el factor de seguridad calculado se garantizará que la soldadura no fallará en la unión de los tubos de la cabina.

2.1.2.5.2.2.4.- Diseño de la base de sujeción de la cabina

Se denominará como base de sujeción a la estructura superior de la cabina en la que se engancha al brazo soporte hacia el cable, con una cabina cargada totalmente y para calcular con una longitud de 2 m tanto de su estructura, sillas, pasajeros, etc. Como se muestra en la fig. 2.92

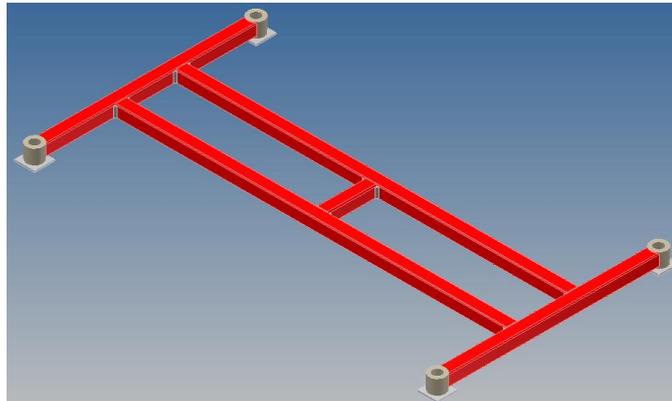


Fig. 2.92.- Soporte de la cabina al brazo

- El peso total de la cabina es 1110 kg = 2.442 Klb

Se sobredimensiona el valor de la carga cabina, por concepto de factor de seguridad a un 30%. Por tanto la carga aumenta de 1100 kg a 1443 kg = 3.17 klb y con este valor calculamos el esfuerzo correspondiente así:

$$\sigma = \frac{\text{Peso de cabina}}{\text{Área requerida}}$$

- $[\sigma] = 0.6F_y$.- esfuerzo admisible en tensión según la norma AISC

$$F_y = 21.67 \frac{\text{Klb}}{\text{plg}^2}$$

$$[\sigma] = 0.6 \left(21.67 \frac{\text{Klb}}{\text{plg}^2} \right) = 13 \frac{\text{Klb}}{\text{plg}^2}$$

$$\text{Área requerida} = \frac{\text{Peso de cabina}}{[\sigma]}$$

$$\text{Área requerida} = \frac{2.442 \text{ Klb}}{13 \frac{\text{Klb}}{\text{plg}^2}} = 0.186 \text{ plg}^2$$

$$\eta = \frac{36 \text{ ksi}}{13 \text{ ksi}} = 2.76$$

Como se puede observar en los manuales de la AISC no existe esta área de tubería se tomará una superior, pero primero se calculará el factor de seguridad (η) y se eligiera el perfil adecuado.

Con este factor de seguridad se escogerá un perfil de tubería cuadrada de 60 mm de lado y espesor de 3 mm de pared con un área de 2.02 plg^2 según Manual de AICS.

Como se puede verificar el área calculada, es mucho menor al área que sugiere el Manual de la AISC comprobando que es la adecuada para soporte.

2.1.2.5.3.- Diseño del sistema de unión cable –cabina

2.1.2.5.3.1.- Diseño de la pinza de sujeción del cable motriz

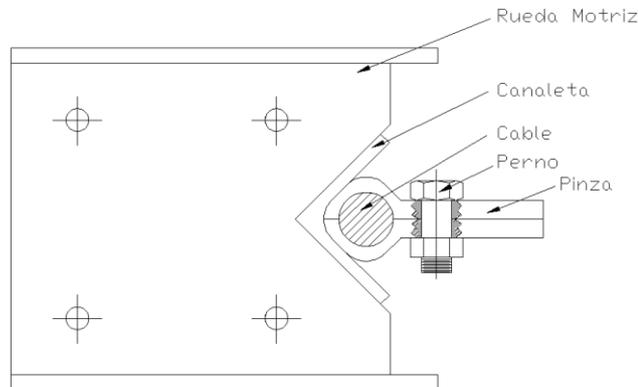


Fig. 2.93.- Sistema de unión cable –cabina

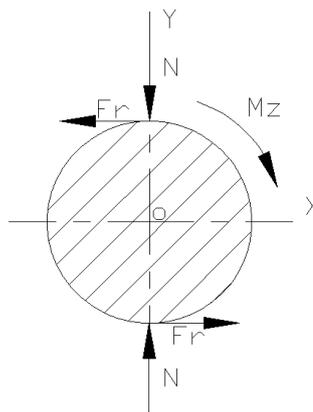


Fig. 2.94.- Diámetro de sujeción del cable motriz

Aplicando la ec. 2.188 con los siguientes datos se obtendrá:

- F : es la carga máxima en la cabina, $F = 1100 \text{ kg}$
- D_{cable} : Es el diámetro de cable escogido, $D_{cable} = 1 \frac{3}{8} \text{ pulg} = 34.925 \text{ mm} = 0,0349 \text{ m}$.
- r_{cable} : Radio que se considerará para el momento, $r_{cable} = \frac{D_{cable}}{2} = \frac{0,0349 \text{ m}}{2} = 0,0174 \text{ m}$.
- x : es la distancia al punto de aplicación de la fuerza, $x = 0,0174 \text{ m}$
- μ : Coeficiente de rozamiento cuando es acero –acero con lubricación $\mu = 0.1$

$$M_0 = 1,1 \text{ Ton} * 0 = 0$$

$$M_{z=x} = 1,1 \text{ Ton} * 0,0174\text{m} = 0,01914 \text{ Ton} - \text{m}$$

$$F_r = \mu * N \quad (2.255)$$

$$F_r = \frac{F}{2} \quad (2.256)$$

$$F_r = \frac{1,1 \text{ Ton}}{2} = 0,55 \text{ Ton}$$

$$N = \frac{0,55 \text{ Ton}}{0,1} = 5,5 \text{ Ton} = 12100 \text{ lb}$$

Este valor de la componente normal, es la fuerza con que se unen las placas que conforman las pinzas, para que el cable motriz no resbale, consecuentemente esta fuerza debe ejercer la junta empernada de estas.

Para determinar el espesor de la placa que conforma la geometría de la pinza, esta se analizará como un cilindro de pared gruesa (espesor mayor de un décimo de su radio) como se muestra en la fig. 2.95 así:

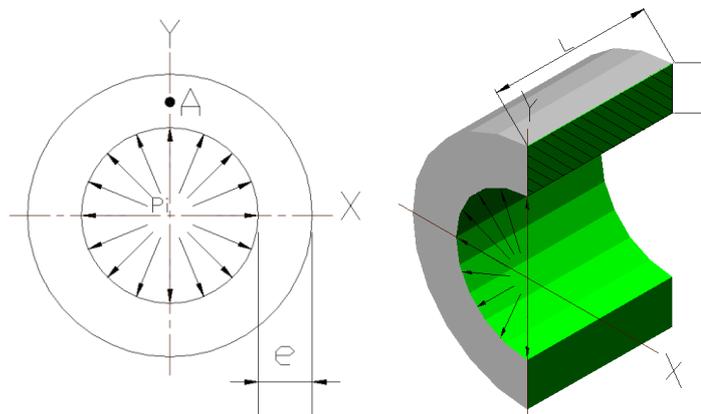


Fig. 2.95.- Analogía con un cilindro de pared gruesa

$$P_i = \frac{2N}{A} \quad (2.256)$$

$$A = 2 * \pi * r * L \quad (2.257)$$

Dónde:

- $e = 6,34\text{mm} = 0,00634\text{ m}$.- considerando para la construcción de la pinza una placa de $\frac{1}{4}$ pulg.
- $r_{cable} = \frac{D_{cable}}{2} = \frac{0,0349\text{ m}}{2} = 0,0174\text{ m}$

$$A = 2 * \pi * 0,0174\text{ m} * L = (0,1093 * L)\text{m}^2$$

$$P_i = \frac{2 (12.1\text{ Ton})}{(0,1093 * L)\text{m}^2} = \frac{221.40\text{ Ton}}{L} \frac{\text{Ton}}{\text{m}} = \frac{12371,83}{L} \frac{\text{lb}}{\text{pulg}}$$

En los cilindros de pared gruesa sometidos a presión interna los esfuerzos máximos tienen las siguientes magnitudes:

Aplicando las ec. 2.155 resulta el σ_t , con la ec. 2.193 se obtiene el σ_{Fr} ,

$$\sigma_t = p_i \frac{b^2+a^2}{b^2-a^2} \quad (2.258)$$

$$a = r_{cable} = \frac{D_{cable}}{2} = \frac{0,0349\text{ m}}{2} = 0,0174\text{ m}$$

$$b = a + e = 0,0174\text{ m} + 0,006\text{ m} = 0,0234\text{ m}$$

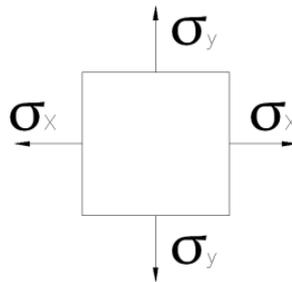


Fig. 2.96.- Esquema de esfuerzos radial y tangencial

$$\sigma_t = \frac{12371,83}{L} \frac{\text{lb}}{\text{pulg}} \frac{[(0,0234\text{ m})^2 + (0,0174\text{ m})^2]}{(0,0234\text{ m})^2 - (0,0174\text{ m})^2} = \frac{42930,25}{L} \frac{\text{lb}}{\text{pulg}}$$

$$\sigma_{Fr} = \frac{0,55\text{ Ton}}{0,006\text{ m} * L} = \frac{92\text{ Ton}}{L} \frac{\text{Ton}}{\text{m}^2} = \frac{5140,96}{L} \frac{\text{lb}}{\text{pulg}}$$

$$\sigma' = \sqrt{\sigma_x^2 - \sigma_x * \sigma_y + \sigma_y^2} \quad (2.261)$$

Siendo:

$$\sigma_{Fr} = \sigma_y = \frac{5140,96 \text{ lb}}{L \text{ pulg}} \quad (2.262)$$

$$\sigma_t = \sigma_x = \frac{42930,25 \text{ lb}}{L \text{ pulg}} \quad (2.263)$$

$$\sigma' = \sqrt{\left(\frac{42930,25 \text{ lb}}{L \text{ pulg}}\right)^2 - \frac{42930,25 \text{ lb}}{L \text{ pulg}} * \frac{5140,96 \text{ lb}}{L \text{ pulg}} + \left(\frac{5140,96 \text{ lb}}{L \text{ pulg}}\right)^2}$$

$$\sigma' = \frac{40604,59 \text{ lb}}{L \text{ pulg}}$$

Se asumirá un factor de seguridad tomado de la tabla 2.7 para el caculo de los cables $\eta = 4,78$ y para un acero A-36 con $S_y = 36 \text{ Kpsi}$, con la utilización de la ec. 2.123 para luego despejar el σ' así:

$$\frac{40604,59 \text{ lb}}{L \text{ pulg}} = \frac{36000 \text{ psi}}{4,78}$$

$$L = \frac{4,78 \left(40604,59 \frac{\text{lb}}{\text{pulg}}\right)}{36000 \text{ psi}} = 5,36 \text{ pulg} = 136,144 \text{ mm} \approx 137 \text{ mm}$$

El valor calculado (L) nos servirá para determinar el ancho de pinza adecuado según se muestra en la fig. 2.95.

2.1.2.5.3.2.- Diseño de la junta empernada

Una vez establecido el diseño de la pinza es necesario diseñar la junta empernada que garantice la fuerza normal recesaría, para que el cable no se deslice sobre la placa, la fuerza normal calculada previamente es de un valor de 6.5 ton, siendo de 12100 lb.

En la fig. 2.97 se propone el siguiente modelo de la junta empernada:

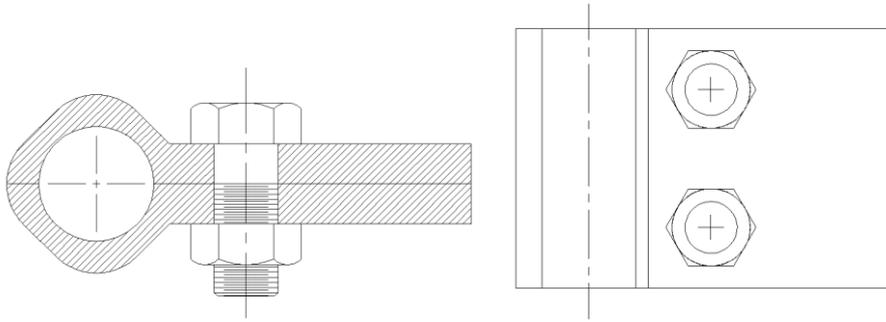


Fig. 2.97.- Junta empernada en la pinza

La junta empernada, solo se encuentra sometida a una fuerza de tracción que es igual al valor de la fuerza normal, los pernos a seleccionarse son de grado SAE 8

- Su valor de resistencia a la fluencia es $S_y = 150 \text{ Kpsi}$

$$F_p = N = 12100 \text{ lb}$$

Se propone el número de pernos igual a 2

En la tabla 2.24 se encontrará algunas de las características de los pernos según el grado SAE

Grado SAE	Intervalo de tamaños (inclusive) (in)	Resistencia límite mínima a la tracción S_p (ksi)	Resistencia de fluencia mínima a la tracción S_y (ksi)	Resistencia última mínima a la tracción S_u (ksi)	Características del acero
1	¼ a 1½	33	36	60	Medio o bajo carbono
2	¼ a ¾	55	57	74	Medio o bajo carbono
	7/8 a 1½	33	36	60	
4	¼ a 1½	65	100	115	Medio carbono estirado en frío
5	¼ a 1	85	92	120	Medio carbono templado y revenido
	1 1/8 a 1½	74	81	105	
5.2	¼ a 1	85	92	120	Martensítico de bajo carbono, templado y revenido
7	¼ a 1½	105	115	133	Aleado de medio carbono, templado y revenido
8	¼ a 1½	120	130	150	Aleado de medio carbono, templado y revenido
8.2	¼ a 1	120	130	150	Martensítico de bajo carbono, templado y revenido

Tabla 2.24.- Especificaciones SAE para pernos comerciales UNS de acero

El perno que se utilizará será de diámetro 1 pulg., grado SAE 8, con una área transversal de $A_t = 0,606 \text{ pulg}^2$

Con los siguientes los datos que se tomará de la tabla 2.24 así:

- Resistencia límite a la tracción es $S_p = 120 \text{ kpsi}$
- Resistencia a la fluencia mínima a la tracción $S_y = 130 \text{ Kpsi}$
- Resistencia última mínima a tracción $S_u = 150 \text{ Kpsi}$; y esta se tomará para el diseño

$$\sigma_t = \frac{F_p}{A_t} \quad (2.263)$$

$$\sigma_t = \frac{\frac{12100 \text{ lb}}{2}}{0,606 \text{ pulg}^2} = 9.983 \text{ Kpsi}$$

$$\eta = \frac{S_u}{\sigma_t} \quad (2.264)$$

$$\eta = \frac{150 \text{ Kpsi}}{9.983 \text{ Kpsi}} = 15.025$$

Este factor de seguridad, nos garantiza que aplicando la carga máxima al perno de diámetro 1 pulg., no fallará al corte.

2.1.2.5.3.3.-Elemento de unión (perno)

Este elemento se encuentra sometido al siguiente estado de carga (ver fig. 2.99)

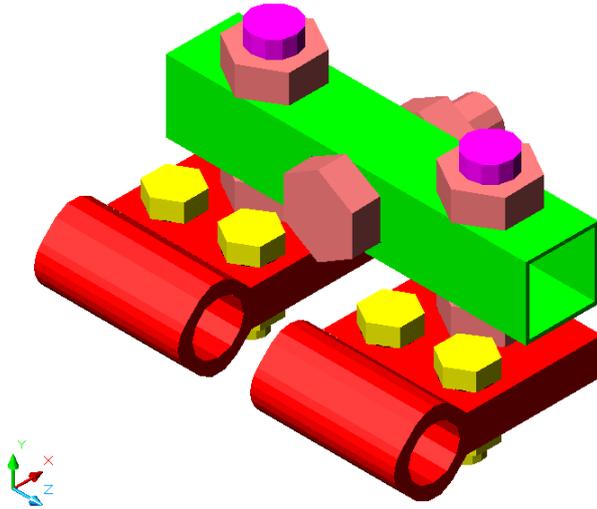


Fig. 2.98.- Unión de los Elementos 1,2,3,4

$$M_z = F * x \quad (2.265)$$

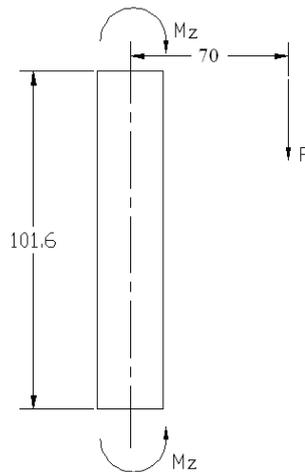


Fig. 2.99.- Elementos del perno

Siendo los siguientes datos utilizados así:

- $x = 70 \text{ mm} = 0,07 \text{ m}$, es la distancia desde el centro del elemento al punto donde se aplica la carga
- $F = 1100 \text{ kg} = 1,1 \text{ Ton}$
- $S_\mu = 150 \text{ kpsi}$: Perno grado SAE 8
- $D_{perno} = 1 \text{ pulg.} = 25.4 \text{ mm}$

$$M_z = 1,1 \text{ Ton} * 0,07 \text{ m} = 0,077 \text{ Ton} - \text{m}$$

Aplicando las ecs. 2.146, 2.218 y 2.217, y utilizando D_{pern} como único, siendo un elemento sólido, se calculará el momento de inercia y así obtener el σ_{max} por:

$$C = \frac{25,4 \times 10^{-3} m}{2} = 0,0127 m$$

$$I = \frac{\pi}{64} (25,4 \times 10^{-3} m)^4 = 2,043 \times 10^{-8} m^4$$

$$\sigma_{max} = \frac{0,077 \text{ Ton} - m * 0,0127 m}{2,043 \times 10^{-8} m^4} = 47865,88 \frac{\text{Ton}}{m^2} = 67938.53 \text{ psi}$$

Para el caso del factor de seguridad se aplicará $\frac{S_y}{\sigma_{max}}$ así:

$$\eta = \frac{150 \text{ kpsi}}{67,93 \text{ Kpsi}} = 2,208$$

Con este factor de seguridad se garantizará que el perno no fallará en su diámetro a la tracción.

2.1.2.5.3.4.- Elemento 3 (tubo cuadrado)

Este tubo cuadrado presenta el siguiente estado de carga (ver fig. 2.100):

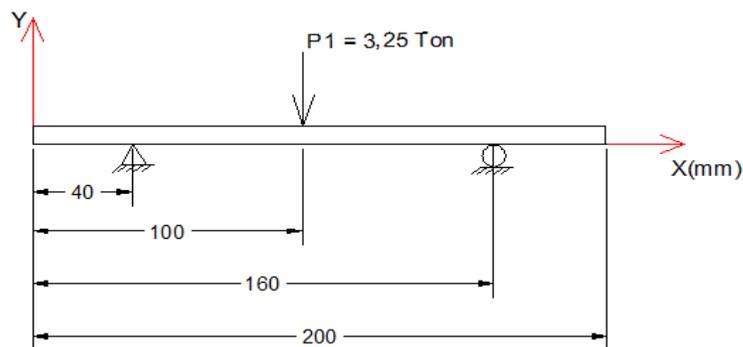


Fig. 2.100.- Esquema de fuerzas del tubo cuadrado

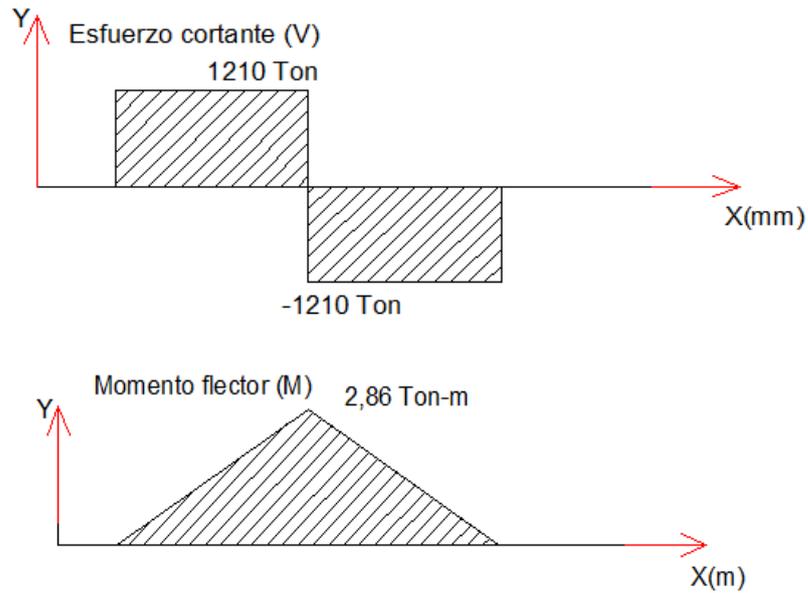


Fig. 2.101.- Esquema de fuerzas aplicadas, fuerzas cortantes y momento flector

Con los datos tomados de la fig. 2.101 se resumen así:

- P: Carga máxima aplicada a la cabina; $P = 1100 \text{ kg} = 1,1 \text{ Ton.} - c$
- $L_1 = L_2$: Longitud donde se encuentran los dos pernos y que nos sirve como apoyos fijos; $L_1 = 40 \text{ mm} = 0,04 \text{ m.}$
- L_T : Longitud total del elemento; $L_T = 200 \text{ mm} = 0,2 \text{ m.}$
- e: medida del espesor; $e = 2 \text{ mm.}$
- S_y : Esfuerzo ultimo a la fluencia del material; $S_y = 50000 \text{ psi}$
- I: Inercia para una sección cuadrada según manual AISC; $I = 6.93 \text{ cm}^4 = 6.93 \times 10^{-8} \text{ m}^4$

La ec. 2.146 se aplicará para determinar el $M = M_{max}$ y este nos servirá para verificar a flexión.

Para este análisis se utilizará una sección de tubo cuadrado de acero ASTM A-500 grado C como se muestra en la fig. 2.102 así:

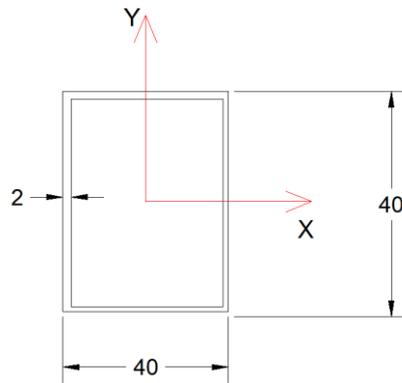


Fig. 2.102.- Medidas del tubo cuadrado utilizado

$$C = \frac{L}{2} \quad (2.270)$$

$$C = \frac{40mm}{2} = 20 \text{ mm} = 0.02 \text{ m}$$

- $M_{max} = 2.86 \text{ Klb} - \text{pulg} = 0.033 \text{ Ton} - \text{m}$; determinado previamente con la ayuda del software MDSOLID.

$$\sigma = \frac{0.033 \text{ Ton} - \text{m} * 0,02 \text{ m}}{6.93 \times 10^{-8} \text{ m}^4} = 9523.80 \frac{\text{Ton}}{\text{m}^2} = 13.517 \text{ kpsi}$$

Con la ec. 2.123 se calculará el factor de seguridad así:

$$\eta = \frac{50 \text{ kpsi}}{13.51 \text{ kpsi}} = 3.69$$

Con este factor de seguridad calculado anteriormente para el tubo cuadrado, nos indica que no fallará a flexión.

2.1.2.5.3.5.- Elemento 4 (perno)

Para este elemento se presenta el siguiente estado de carga como se muestra en las figs. 2.103 y 2.104 y se aplicará las ecs. 2.146 y 2.123 así:

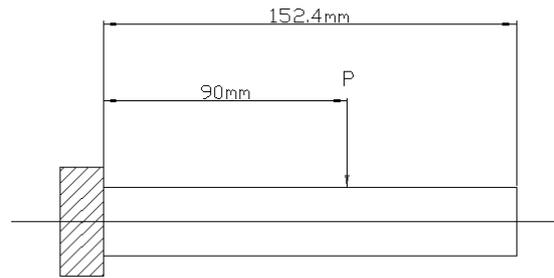


Fig. 2.103.- Medidas pasador, elemento 4

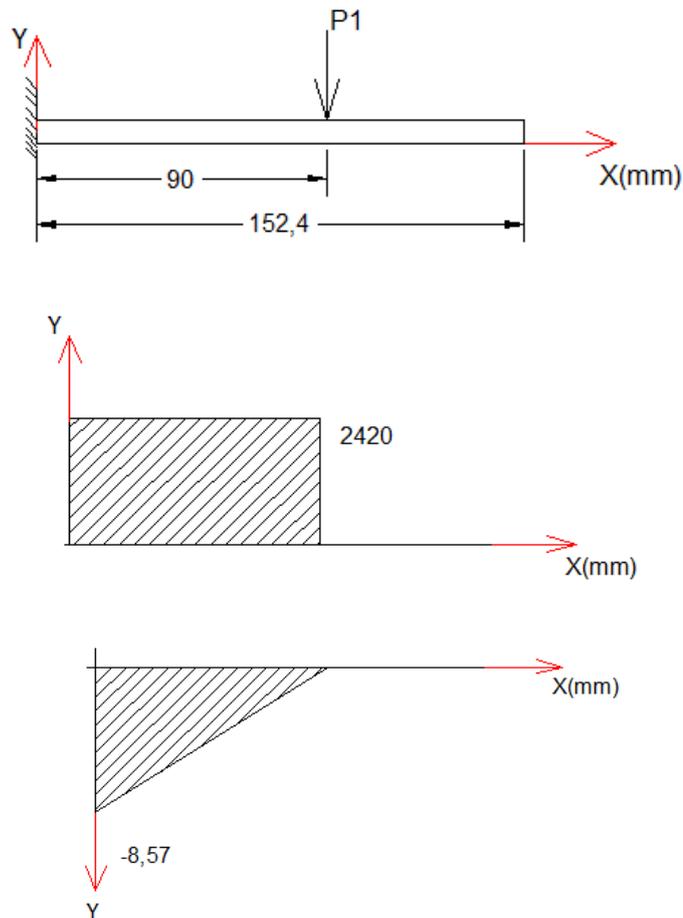


Fig. 2.104.- Esquema de carga, fuerzas cortantes, y momento a flexión del perno

Para verificar el η se tomará en cuenta las características del perno de grado SAE 8 que son:

- $D = 1 \text{ pulg} = 25,4 \text{ mm} = 25,4 \times 10^{-3} \text{ m}$
- $S_y = 130 \text{ kpsi}$

De la fig. 2.104 se obtendrá los datos de:

- $L_t = 0,1524 \text{ m}$
- $L_p = 0.09 \text{ m}$
- $P = 1100 \text{ kg} = 1,1 \text{ Ton}$

$$M_{max} = P * L_p \quad (2.275)$$

$$M_{max} = 1,1 \text{ Ton} * 0.09\text{m} = 0.099 \text{ ton} - \text{m} = 8.57 \text{ Klb} - \text{plg}$$

Aplicando las ecs. 2.146, 2.218, 2.217 y utilizando D_{pern} como único, ya que es un elemento solido, para el cálculo del momento de inercia, obteniendo el σ_{max} y con la ec. 2.123 se calculará el factor de seguridad así:

$$C = \frac{25,4 \times 10^{-3} \text{ m}}{2} = 0,0127 \text{ m}$$

$$I = \frac{\pi}{64} (25,4 \times 10^{-3} \text{ m})^4 = 2,043 \times 10^{-8} \text{ m}^4$$

$$\sigma_{max} = \frac{0.099 \text{ ton} - \text{m} * 0,0127 \text{ m}}{2,043 \times 10^{-8} \text{ m}^4} = 61.53 \times 10^3 \frac{\text{Ton}}{\text{m}^2} = 87,34 \text{ kpsi}$$

$$\eta = \frac{130 \text{ kpsi}}{87.34 \text{ kpsi}} = 1,48$$

Con este diámetro de perno se garantizará que no fallará por flexión, aplicando la carga máxima de 1100 kg.

2.1.2.5.4.- Placa intermedia unión chumacera-brazo.

Tomando en cuenta la forma de la chumacera, la placa debe presentar la geometría como se muestra en la figs. 2.105, 2.106 y el siguiente estado de carga:

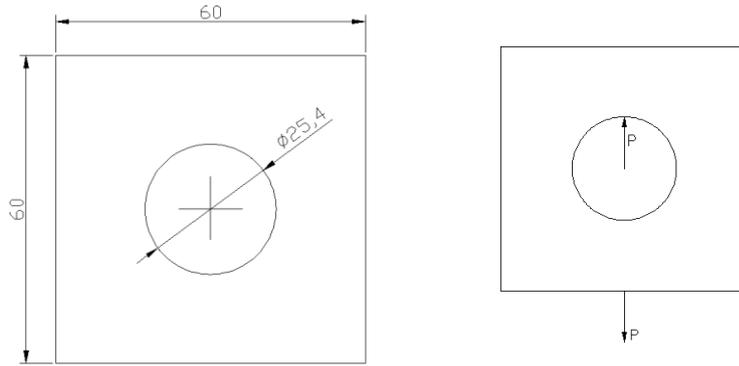


Fig. 2.105.- Geometría y estado de carga de la carga

Verificando la placa como un cilindro de pared gruesa como se muestra en la fig. 2.106:

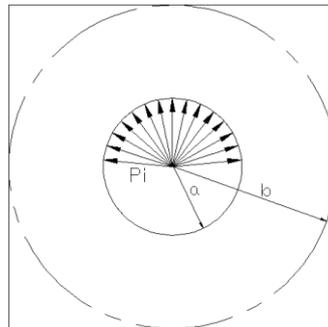


Fig. 2.106.- Esquema de fuerza distribuida en el elemento 5

Para el cálculo del σ_{eq} se realizará con la ec. 2.155, donde $P_i = \frac{P}{A}$ y para calcular el área se lo hará con la ec. 2.120 multiplicando por 2 obteniendo:

- L : Es la longitud de uno de los lados de la placa; $L = 60mm$.

Para un material de acero ASTM A36 se tendrá; $S_y = 36000 \text{ psi}$, y se calculará los siguientes parámetros donde $P_{max}=1,1 \text{ Ton}$ de la siguiente manera:

$$b = \frac{L}{2} = \frac{60 \times 10^{-3} \text{ m}}{2} = 0,03 \text{ m}$$

$$a = r = \frac{D}{2} = \frac{25,4 \times 10^{-3} \text{ m}}{2} = 0,0127 \text{ m}$$

$$P_i = \frac{P}{2\pi * a * e} = \frac{1,1 \text{ Ton}}{2\pi * 0,0127 \text{ m} * e} = \frac{13,78 \text{ Ton}}{e \text{ m}}$$

$$\sigma_{eq} = \frac{13,78 \text{ Ton}}{e} \frac{2(0,03\text{m})^2}{m (0,03\text{m})^2 - (0,0127\text{m})^2} = \frac{33,50 \text{ Ton}}{e} \frac{1}{m}$$

Se asumirá un espesor de placa de 5 mm y por la ec. 2.123 se calculará el factor de seguridad así:

$$\sigma_{eq} = \frac{33,50 \text{ Ton}}{e} \frac{1}{m} = 6700 \frac{\text{Ton}}{\text{m}^2} = 9510,89 \text{ psi}$$

$$\eta = \frac{36 \text{ Kpsi}}{9,510 \text{ Kpsi}} = 3,78$$

Con el espesor de 5 mm se determinará que la placa intermedia no fallará, aplicando una carga de 1.1 Ton.

2.1.2.6.- Placa inferior

Para el diseño de la placa inferior se seleccionara, en base al elemento inferior con el cual se unirá, siendo este un tubo cuadrado de 40 x 40 mm, con un espesor de 10 mm (ver fig. 2.107).

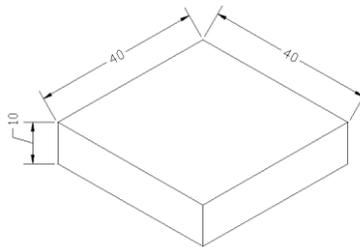


Fig. 2.107.- Geometría propuesta del elemento 6

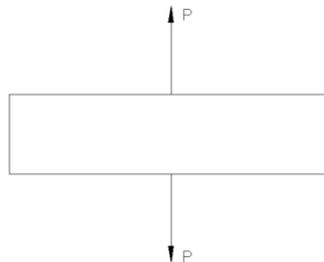


Fig. 2.108.- Placa sometida a tracción pura

El elemento de la fig 2.108 se encuentra sometido a tracción pura, se aplicará la ec. 2.193, para calcular σ de este elemento con los siguientes datos así:

- P: Carga máxima en la cabina; $P = 1100 \text{ kg} = 1,1 \text{ Ton}$.
- A: es el área de la sección transversal; $A = 0,04\text{m} * 0,04\text{m} = 1,6 \times 10^{-3}\text{m}^2$ con esta se calculará el esfuerzo σ , para luego calcular el factor de seguridad η .
- Material: ASTM A36; $S_y = 36000 \text{ psi}$

$$\sigma = \frac{1,1 \text{ Ton}}{1,6 \times 10^{-3}\text{m}^2} = 687,5 \frac{\text{Ton}}{\text{m}^2} = 975,80\text{psi}$$

$$\eta = \frac{S_y}{\sigma} = \frac{36000 \text{ psi}}{975,80 \text{ psi}} = 36,89$$

Con este factor de seguridad garantizamos que la placa inferior no falle, con la carga aplicada de 1.1 ton.

2.1.2.7.- Diseño de brazo

Para el diseño del brazo que sostiene la cabina al cable, se calculará mediante el esfuerzo a tracción producido por la fuerza $P=1100 \text{ kg}=1,1 \text{ Ton}$ que es el valor de la fuerza máxima cuando la cabina está cargada totalmente (ver fig. 2.109).

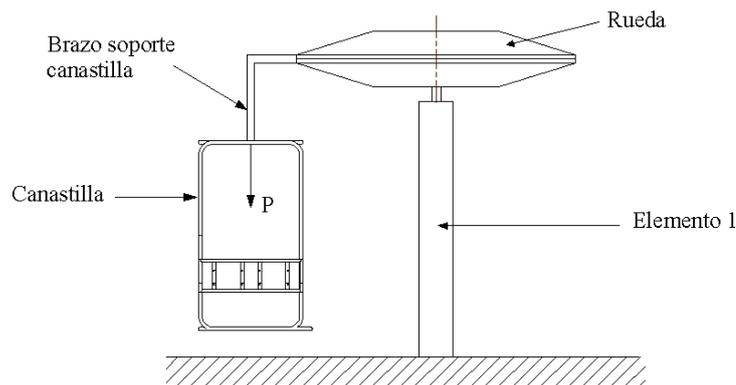


Fig. 2.109.- Ubicación del brazo soporte en el sistema de unión cable-cabinas

Se tomará un perfil cuadrado de 40 mm en uno de sus lados, como se muestra en la fig. 2.110 con las siguientes medidas:

- $a = 40 \text{ mm} = 0,04\text{m}$; lado del perfil rectangular
- $t = 2\text{mm} = 0,002 \text{ m}$; espesor del perfil
- $A = 2.94 \text{ cm}^2 = 2.94 \times 10^{-4}\text{m}^2$, área del perfil
- $S_y = 50000 \text{ psi}$.- utilizado un acero ASTM A500 con GRADO C

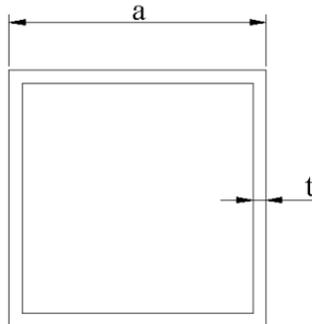


Fig. 2.110.- Esquema del tubo cuadrado para el brazo

Se aplicará la ec. 2.193 para calcular σ y para el η se lo realizará con la ec. 2.123 con los siguientes datos así:

$$\sigma = \frac{1,1 \text{ Ton}}{2.94 \times 10^{-4}\text{m}^2} = 3741,49 \frac{\text{Ton}}{\text{m}^2} = 5310,50 \text{ psi}$$

$$\eta = \frac{50000 \text{ psi}}{5310,5 \text{ psi}} = 9,41$$

Con este factor de seguridad se garantiza que el perfil cuadrado seleccionado para el brazo no fallará.

2.1.2.7.1.- Diseño de la placa de unión entre el brazo soporte y el eje de la cabina

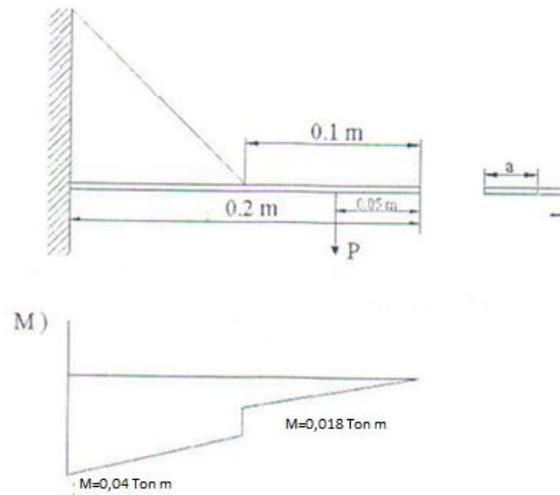


Fig. 2.111.- Momentos flector de la placa unión entre el brazo soporte y el eje

El diseño del brazo se hará en base al esfuerzo por flexión causado por el momento producto de la fuerza P (ver fig. 2.111).

Para realizar el diagrama de momentos con los respectivos valores de acuerdo al perfil seleccionado, se tomará con los siguientes datos así:

- $t = 0.020 \text{ m} = 20 \text{ mm}$
- $a = 0.06 \text{ m} = 60 \text{ mm}$
- Material: acero ASTM A-500 Grado A $S_y = 50000 \text{ psi}$
- $M_{max} = 0,04 \text{ Ton} - \text{m}$; tomado de la fig. 2.111

$$\sigma = \frac{MC}{I} \quad (2.283)$$

$$C = \frac{t}{2} \quad (2.284)$$

$$C = \frac{0,02 \text{ m}}{2} = 0,01 \text{ m}$$

$$I = \frac{a \cdot t^3}{12} \quad (2.285)$$

$$I = \frac{0,06 \text{ m} * (0,02 \text{ m})^3}{12} = 4 \times 10^{-8} \text{ m}^4$$

$$\sigma = \frac{0,04 \text{ Ton} - \text{m} \ 0,01 \text{ m}}{4 \times 10^{-8} \text{ m}^4} = 10000 \frac{\text{Ton}}{\text{m}^2} = 14193.52 \text{ psi}$$

$$\eta = \frac{S_y}{\sigma} = \frac{50000 \text{ psi}}{14193.52 \text{ psi}} = 3,52$$

Con este factor de seguridad se garantiza que no fallará en su espesor la placa unión, y con la carga aplicada de 1.1 Ton.

2.1.2.8.- Cálculo del eje de unión con la cabina

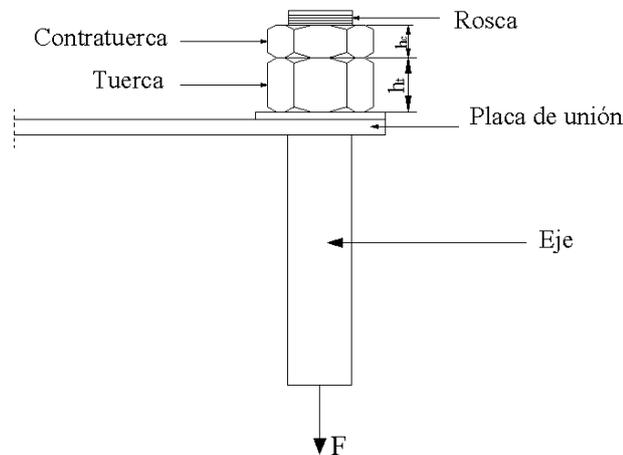


Fig. 2.112.- Ejemplo de pasador de unión con la cabina

Para el cálculo de este eje, se empleará un acero A-520 con un diámetro de 1 pulg., (25,4 mm = 0,0254 m) como se muestra en la fig. 2.112

2.1.2.8.1.- Esfuerzos en la rosca

Si se supone que la carga está distribuida uniformemente a lo largo de la altura de la tuerca h_t y que los hilos de la rosca del elemento (tornillo) fallarían por cortante en el diámetro menor, se calculará el esfuerzo cortante medio en la rosca con la ec. 2.286:

$$\tau = \frac{2F}{\pi d_r h_t} \quad (2.286)$$

Los hilos de la rosca de la tuerca experimentan cortante en el diámetro mayor y en consecuencia el esfuerzo medio de corte de la rosca se calculará con las ecs. 2.287 y 2.286

$$\tau = \frac{2F}{\pi d h_t} \quad (2.287)$$

$$S_{yc} = 0,6 S_y \quad (2.288)$$

Para el cálculo del factor de seguridad se utilizará la ecuación del esfuerzo en los hilos de rosca de la tuerca, ya que el diámetro es mayor que d_r como se puede ver en la fig. 2.113 y así se verificará si falla al corte o no.

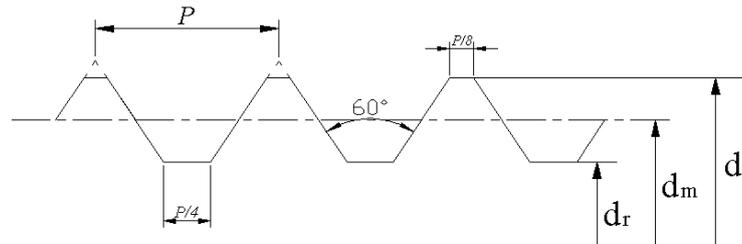


Fig. 2.113.- Geometría de la sección roscada

Según el manual de la AISC se tiene las siguientes características para una rosca de diámetro de 1 pulg.:

- $d_r = 0.847 \text{ pulg} = 0.0215 \text{ m.}$ - Diámetro de base de rosca
- $d = 1 \text{ pulg} = 0.0254 \text{ m.}$ - Diámetro de filo de rosca
- $d_m = 0.9235 \text{ pulg} = 0.0234 \text{ m.}$ - Diámetro medio de rosca
- $h_t = 0,831 \text{ pulg} = 0.0211 \text{ m.}$ - altura de rosca
- $F = 1100 \text{ kg} = 2420 \text{ lb.}$ - Fuerza máxima aplicada en la cabina carga totalmente

$$\tau = \frac{2 (2420 \text{ lb})}{\pi(0,847 \text{ pulg}) * (0,831 \text{ pulg})} = 2188,82 \text{ psi}$$

$$S_{yc} = 0,6 (52000 \text{ psi}) = 31200 \text{ psi}$$

$$\eta = \frac{S_{yc}}{\tau} = \frac{31200 \text{ psi}}{2188,82 \text{ psi}} = 14,25$$

Este factor de seguridad garantizará que no fallarán al corte los hilos de rosca, de la tuerca.

2.1.2.8.2.- Cálculo del eje por esfuerzo a tracción

Con las ecs. 2.289 y 2.290 se calculará el σ y A con los siguientes datos así:

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad (2.289)$$

$$A = \pi \frac{d^2}{4} \quad (2.290)$$

Dónde:

- $d = 1 \text{ pulg} = 0,0254 \text{ m}$.- diámetro del eje
- $F = 1100 \text{ kg}$.- fuerza aplicada a la cabina cargada en su totalidad
- $S_y = 52000$.- acero ASTM A500 Grado C

$$A = \pi \frac{(0,0254 \text{ m})^2}{4} = 5,027 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$\sigma = \frac{1100 \text{ kg}}{5,027 \times 10^{-4} \text{ m}^2} = 2,188 \times 10^6 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2} = 3105,64 \text{ psi}$$

$$\eta = \frac{S_y}{\sigma} = \frac{52000 \text{ psi}}{3105,64 \text{ psi}} = 16,7$$

Con el dato del esfuerzo a la tracción, calculado en el eje de unión con la cabina y bajo el η calculado se garantiza que esté no falle en su rosca.

2.1.2.9.- Cilindro inferior

Para determinar el diámetro exterior del elemento unión con la cabina, se realizará el análisis como un cilindro de pared gruesa que se encuentra sometido a una presión interna en la parte superior de su agujero, como se muestra en la fig. 2.114

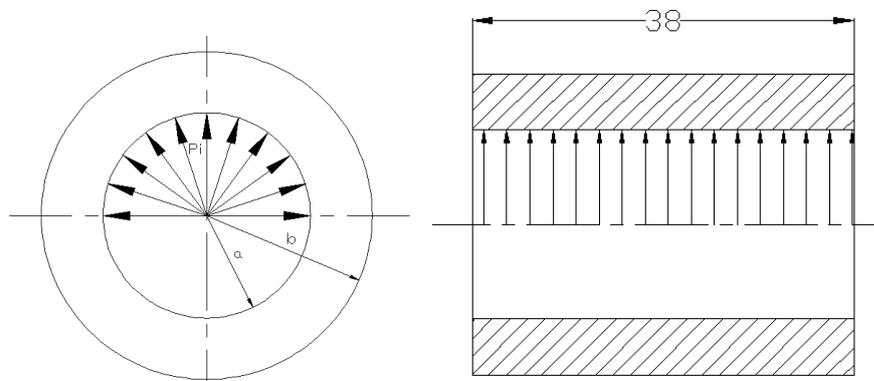


Fig. 2.114.- Verificación del cilindro inferior como cilindro de pared gruesa

Con la ec. 2.291 y con los siguientes datos se determina P_i así:

$$P_i = \frac{P}{A} = \frac{F}{\pi * a * L} \quad (2.291)$$

- $F = 1,1 \text{ Ton}$
- $a = 9,525 \text{ mm} = 9,525 \times 10^{-3} \text{ m}$
- $L = 38 \text{ mm} = 0,038 \text{ m}$
- $S_y = 36000 \text{ psi}$.- se considera un acero ASTM A36

$$P_i = \frac{1,1 \text{ Ton}}{\pi * 9,525 \times 10^{-3} \text{ m} * 0,038 \text{ m}} = 967,37 \frac{\text{Ton}}{\text{m}^2} = 1373,04 \text{ psi}$$

Aplicando la teoría de un cilindro de pared gruesa sometido a presión interior, donde según la teoría de las tensiones tangenciales máximas, el esfuerzo equivalente y η se calculará con las ecs. 2.292 y 2.293 así:

$$\sigma_{equ} = P_i \frac{2b^2}{b^2 - a^2} \quad (2.292)$$

$$\sigma_{equ} = 1373,04 \text{ psi} \frac{2b^2}{b^2 - (9,525 \times 10^{-3} \text{ m})^2}$$

Se supondrá $b = 15 \text{ mm} = 0,015 \text{ m}$

$$\sigma_{equ} = 1373,04 \text{ psi} \frac{2(0,015 \text{ m})^2}{(0,015 \text{ m})^2 - (9,525 \times 10^{-3} \text{ m})^2} = 4598,27 \text{ psi}$$

$$\eta = \frac{S_y}{\sigma_{equ}} \quad (2.293)$$

$$\eta = \frac{36000 \text{ psi}}{4598,27 \text{ psi}} = 7,8$$

Con la carga distribuida aplicada en el cilindro inferior se garantiza que con el factor de seguridad calculado para este elemento no fallará.

2.1.2.9.1.- Calculo del perno de unión del cilindro inferior con la oreja de la cabina

Tomando en consideración que la oreja de la cabina presenta un agujero de 19,05 mm es decir $\frac{3}{4}$ pulg, entonces se seleccionará un diámetro de perno de la misma dimensión y además se considerará las características de un perno de grado SAE 8 (ver fig. 2.115).

Dónde:

- $d = 19,05 \text{ mm}$
- $S_y = 130 \text{ kpsi}$
- $S_{yt} = 150 \text{ kpsi}$
- $L = 38 \text{ mm}$.- distancia interior entre placas
- $P = V = 1100 \text{ kg} = 1,1 \text{ Ton}$

$$S_{yc} = 0,557 * S_y \quad (2.294)$$

$$S_{yc} = 0,557 * 130 \text{ kpsi} = 75,01 \text{ Kpsi}$$

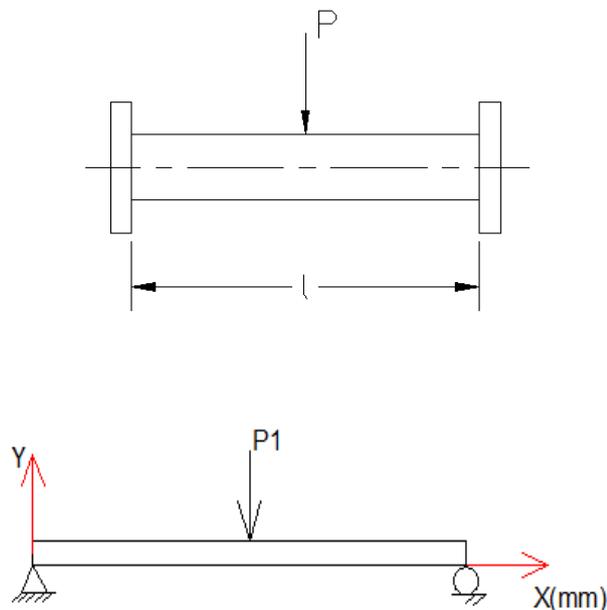


Fig. 2.115.- Diagrama de fuerzas en el perno de unión del cilindro inferior con la oreja de la cabina

Aplicando el equilibrio de fuerzas en el eje, se obtiene las reacciones en los extremos del perno así:

$$R_1 + R_2 = P \quad (2.295)$$

$$\therefore R_1 = R_2$$

$$2R_1 = P$$

$$R_1 = \frac{P}{2} = \frac{1100 \text{ kg}}{2} = 550 \text{ kg}$$

En las fig. 2.116 se muestra los diagramas de corte para la carga aplicada de la cual se tomará el valor máximo de corte así:

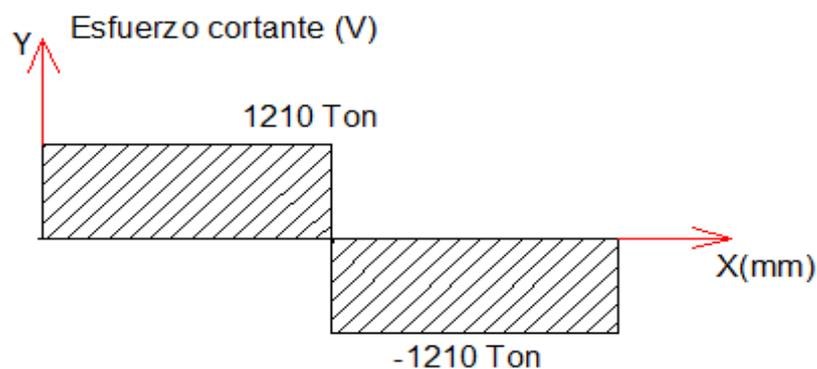


Fig. 2.116.- Diagrama de corte para el perno de unión del brazo con la cabina

Con las ecs. 2.296 y 2.297 se calcularán el esfuerzo al corte con el η y el área para este elemento así:

$$\tau = \frac{V}{A_s} \quad (2.296)$$

$$A_s = \frac{\pi d^2}{4} \quad (2.297)$$

$$A_s = \frac{\pi (0,01905m)^2}{4} = 2,85 \times 10^{-4} m^2$$

$$\tau = \frac{1,1 \text{ Ton}}{2,85 \times 10^{-4} m^2} = 3859,33 \frac{\text{Ton}}{m^2} = 5,477 \text{ Kpsi}$$

$$\eta = \frac{75,01 \text{ kpsi}}{5,47 \text{ kpsi}} = 13,71$$

Con este factor de seguridad se garantizará plenamente y tomando en consideración que es un elemento de gran importancia, por la unión del brazo, con la oreja de cabina, el mismo no fallará al corte.

2.1.3.- SISTEMA DE SOPORTE.

2.1.3.1.- ESTRUCTURAS DE SOPORTE (TORRES)

2.1.3.1.1.- Análisis

Un análisis primario estructural de las torres indica, que éstas pueden resistir las cargas de compresión y flexión, generadas desde el cable y el producto de cargas externas que soportarán, como son las cargas de viento y sismo.

Pero siempre que los procedimientos constructivos y la calidad de las juntas de las torres sean las estipuladas en las normas debidamente calificadas.

Estas torres son de tipo marco rígido de alma abierta, (torres de transmisión), las que están ancladas en el plano perpendicular a la tangente de la catenaria del cable, el material a utilizarse es un acero ASTM A-36, siendo la más común y de fácil obtención en el mercado.

Para el diseño de las torres únicamente se calculará la parte superior y no la estructura continua. Además se considerarán a las torres como de alma abierta.

2.1.3.1.1.1.- Torres

2.1.3.1.1.1.1.- Cálculo de las reacciones en cada torre

Una vez que se ha determinado el valor de los ángulos del cable con el tren de poleas según la tabla 2.7, con los que actúan las tensiones en cada tramo se procede a determinar las reacciones presentes en la torre. Para este análisis se utilizará un diagrama de cuerpo libre, como muestra la fig. 2.117

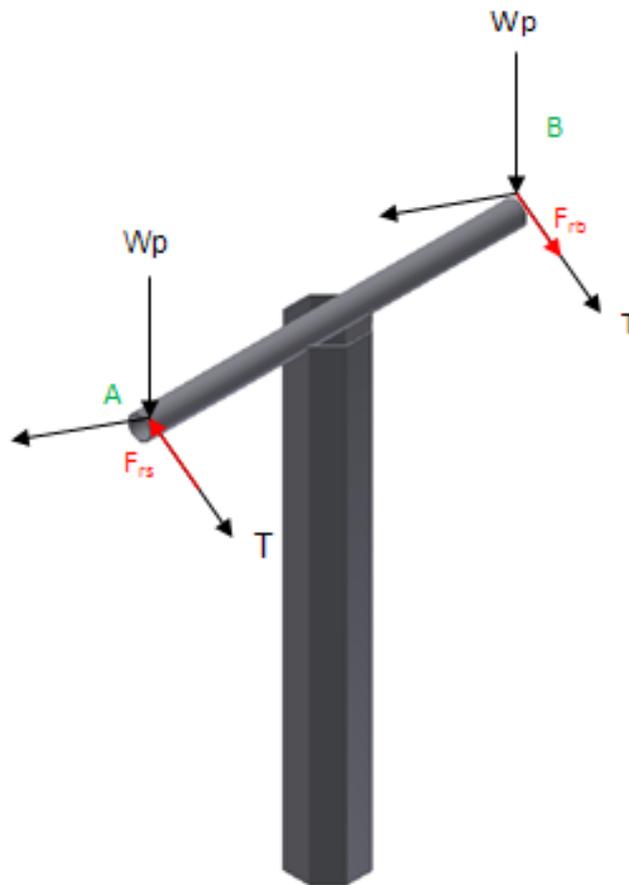


Fig. 2.117.- Diagrama de cuerpo libre de fuerzas de las torres

En la práctica se toma los siguientes valores:

- T : Tensión del cable, que es la máxima siendo $22125,83 \text{ kg} = 22,125 \text{ Ton}$
- F_{rb} , F_{rs} : Fuerza de rozamiento presente en las ruedas del tren de poleas en la bajada y subida del cable respectivamente.

Para analizar y plantear las ecuaciones se utilizará el siguiente sistema de coordenadas como se muestra en la fig. 2.118

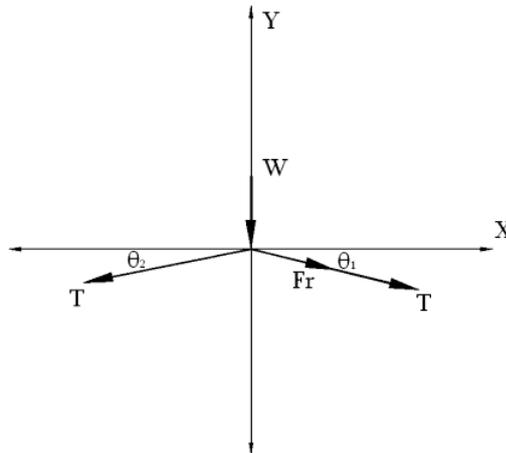


Fig. 2.118.- Coordenadas para determinar las reacciones

Para el ascenso

Aplicando la ley del equilibrio de los cuerpos y colocando un punto fijo en A, se obtendrá las reacciones a los ejes de las y e x así:

$$R_{AX} = T \cos \theta_1 + F_R \cos \theta_1 - T \cos \theta_2 \quad (2.299)$$

$$R_{AY} = -T \sin \theta_2 - F_R \sin \theta_1 - T \sin \theta_1 - Wp \quad (2.301)$$

Para el descenso

Aplicando la ley del equilibrio de los cuerpos y colocando un punto fijo en B, se obtendrá las reacciones a los ejes de las y e x así:

$$R_{BX} = T \cos \theta_1 - F_R \cos \theta_1 - T \cos \theta_2 \quad (2.303)$$

$$R_{BY} = -T \sin \theta_2 - F_R \sin \theta_2 - T \sin \theta_1 - Wp \quad (2.305)$$

Para calcular las reacciones en los empotramientos (cimientos) de las torres en los puntos A y B según las ecs. 2.299, 2.301, 2.302, 2.303 y 2.305, primero se determinará la fuerza de rozamiento (f_r) con la ec. 2.36 y multiplicado por 2 ya que es de ida y vuelta. Es importante recalcar que estos valores solamente corresponden a las cargas producidas por los elementos que conforman las torres, en otras palabras para determinar los factores de seguridad en el diseño de las torres, los

elementos se consideran con una carga de viento o de sismo con los siguientes datos (ver fig. 2.119):

- n : Número de poleas (8 poleas) las cuales se determinó anteriormente
- u : Factor de rozamiento entre el cable y las poleas (0.005)
- T : Tensión máxima en el punto de análisis, teniendo una carga máxima de 22 Ton obtenidas de la tensión del cable
- α : Angulo de flexión del cable en las poleas. (En este caso se considerará 2)

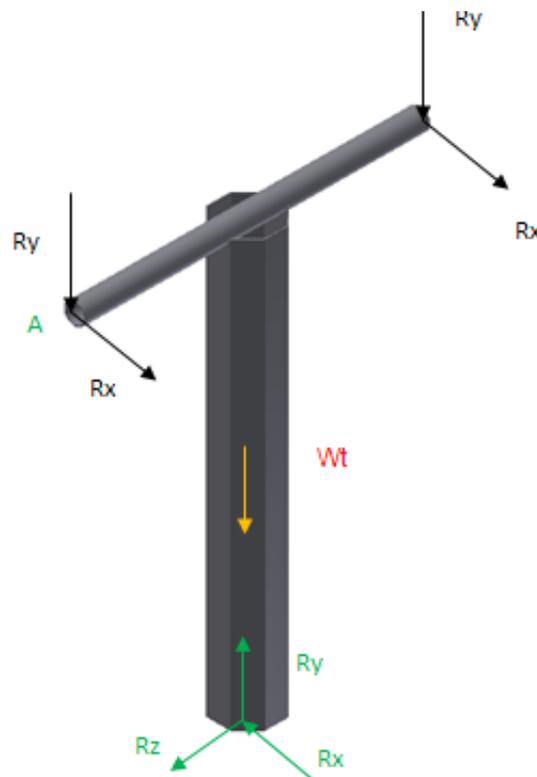


Fig. 2.119.- Diagrama de cuerpo libre de reacciones en las torres

Además se considera los siguientes parámetros

- W_t : Peso de la Torre
- W_{t2} : Peso del soporte del tren de poleas
- W_p : Peso del tren de poleas
- R_x, R_y, R_z : Reacciones en el empotramiento.

Con los valores obtenidos se realizará la tabla 2.25 (en este análisis se considera cada una de las torres ubicados perpendicular a la superficie). Además se tomará una carga de 22 Ton, en la cual se verifica las reacciones en los puntos A y B, cimientos y momentos.

TORRES	TENSION	PUNTO A		PUNTO B		CIMENTACIÓN			MOMENTOS		
		Rx (Ton)	Ry (Ton)	Rx (Ton)	Ry (Ton)	Rx (Ton)	Ry (Ton)	Rz (Ton)	Mx (Ton.m)	My (Ton.m)	Mz (Ton.m)
1	22	0,0288	-6,49	-0,0288	-6,51	0,0577	-13,00	13,00	0,3461	-78,00	78,00
2	22	0,0302	-6,51	-0,0302	-6,49	0,0604	-13,00	13,00	0,3627	-78,00	78,00
3	22	0,0305	-6,50	-0,0305	-6,50	0,0609	-13,00	13,00	0,3656	-78,00	78,00
4	22	0,0252	-6,48	-0,0252	-6,52	0,0503	-13,00	13,00	0,3019	-78,00	78,00

Tabla 2.25.- Valores de reacciones y momentos en la torre

A continuación se muestra en la fig. 2.120 los diagramas de fuerzas en el empotramiento presentes en las torres como

TORRE 1, TORRE 2, TORRE 3, TORRE 4 Altura 6m

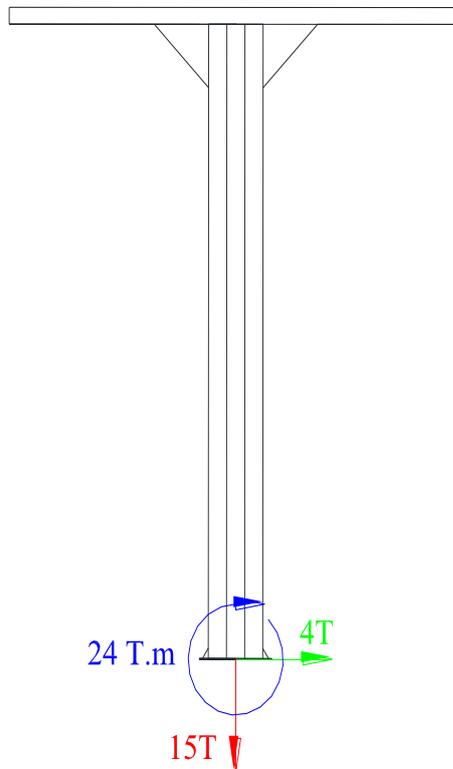


Fig. 2.120.- Diagrama de cuerpo libre de fuerzas en la base de la torre

Diseño de torres

En función de los valores de fuerzas obtenidos en los apoyos tanto de los trenes de poleas y en la base de la torre, se procede a determinar los efectos que estos producen sobre las mismas.

Como se conoce en el sistema teleférico se dispondrá de 4 torres principales sobre las cuales actuarán los efectos producidos por las cargas (peso del cable, personas, viento, sillas, cabinas etc.)

Los valores correspondientes de fuerzas y reacciones para todas las torres se evaluarán con los ejes orientados en la dirección del cable (eje X), en la dirección de la longitud de la torre (eje Y) y en la dirección del soporte del tren de poleas (eje Z) (ver fig. 2.121).



Fig. 2.121.- Diagrama de cuerpo libre de la torre y base

Del estado de cargas mostrado se concluirá que en cada una de las torres se presentará los esfuerzos de:

- 1.-Compresión.- Se analizará la torre como una columna, lo que implica la utilización de la teoría de Euler. Estos esfuerzos se producen por la reacciones en el eje Y.
- 2.- Torsión.- Se analizará el esfuerzo cortante que se produce por la diferencia en los valores de las reacciones en el eje X, mismas que causan un momento torsor alrededor del eje Y.
- 3.- Flexión.- Se analizará los efectos que producen las reacciones en el eje X alrededor del eje Z, así como también las reacciones en el eje Y alrededor del eje X.

Sección de torres

Para todas las torres se tiene la siguiente sección transversal: Ver fig. 2.122

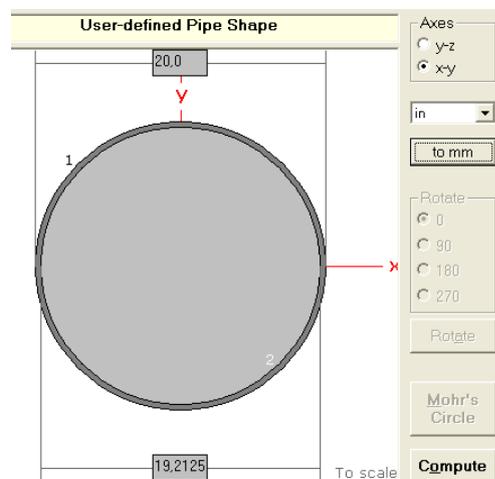


Fig. 2.122.- Diagrama de la sección transversal de la torre según MDSOLID

La sección transversal de las torres es a una sección circular de $D_{ext}=20$ pulg y espesor de pared de $12.70 \text{ mm}=0.5$ pulg, utilizando el programa MDSOLIDS y con la ayuda de los valores de la tabla de tubería estructural redonda tomado del anexo A2 de la empresa Soluciones Tubulares se obtuvieron las características mostradas en tablas 2.26 y 2.27:

X Axis Properties			
Elastic Modulus	E	200.0000	GPa
From bottom to centroid	y (bot)	254.0000	mm
From centroid to top	y (top)	254.0000	mm
Area of shape	A	15.645,1008	mm ²
Moment of Inertia	I _x	485,2015E+06	mm ⁴
Section Modulus	S _x	1,9102E+06	mm ³
Section Modulus (bottom)	S (bot)	1,9102E+06	mm ³
Section Modulus (top)	S (top)	1,9102E+06	mm ³
Radius of Gyration	r _x	176,1051	mm
Plastic Modulus	Z _x	2,4804E+06	mm ³
Shape Factor		1,2985	
From bottom to plastic n.a.	y _p (bot)	254,0000	mm
From plastic n.a. to top	y _p (top)	254,0000	mm
Polar Moment of Inertia	J	970,4031E+06	mm ⁴
Product of Inertia	I _{xy}	0,0000	mm ⁴
Maximum Moment of Inertia	I _{max}	485,2015E+06	mm ⁴
Minimum Moment of Inertia	I _{min}	485,2015E+06	mm ⁴
Angle from x axis to I _{max} axis	B	0,0000	degrees
			Clockwise

Tabla 2.26.- Propiedades en el eje x de la tubería seleccionada

Y Axis Properties			
Elastic Modulus	E	200.0000	GPa
From left to centroid	x (left)	254.0000	mm
From centroid to right	x (right)	254.0000	mm
Area of shape	A	15.645,1008	mm ²
Moment of Inertia	I _y	485,2015E+06	mm ⁴
Section Modulus	S _y	1,9102E+06	mm ³
Section Modulus (left)	S (left)	1,9102E+06	mm ³
Section Modulus (right)	S (right)	1,9102E+06	mm ³
Radius of Gyration	r _y	176,1051	mm
Plastic Modulus	Z _y	2,4804E+06	mm ³
Shape Factor		1,2985	
From left to plastic n.a.	x _p (left)	254,0000	mm
From plastic n.a. to right	x _p (right)	254,0000	mm
Polar Moment of Inertia	J	970,4031E+06	mm ⁴
Product of Inertia	I _{xy}	0,0000	mm ⁴
Maximum Moment of Inertia	I _{max}	485,2015E+06	mm ⁴
Minimum Moment of Inertia	I _{min}	485,2015E+06	mm ⁴
Angle from y axis to I _{max} axis	B	90,0000	degrees
			Counterclockwise

Tabla 2.27.- Propiedades en el eje Y de la tubería seleccionada.

Resumiendo las tablas 2.26 y 2.27 se obtendrá la tabla 2.28.

Propiedades del eje X			
Abajo del centroide	y (Abajo)	0,254	m
Arriba del centroide	y (Arriba)	0,254	m
Área de la forma	A	0,01564	m ²
Momento de Inercia	I _x	4,852x10 ⁻⁴	m ⁴
Módulo de sección	S _x	1,91x10 ⁻³	m ³
Módulo de sección	S (Abajo)	1,91x10 ⁻³	m ³
Módulo de sección	S (Arriba)	1,91x10 ³	m ³
Radio de giro	R _x	0,1761	m
Módulo de plástico	Z _x	2,48x10 ⁻³	m
Propiedades del eje Y			
Abajo del centroide	x (Izquierda)	0,254	m
Arriba del centroide	x (Derecha)	0,254	m
Área de la forma	A	0,01564	m ²
Momento de Inercia	I _y	4,852x10 ⁻⁴	m ⁴
Módulo de sección	S _y	1,91x10 ⁻³	m ³
Módulo de sección	S (Izquierda)	1,91x10 ⁻³	m ³
Módulo de sección	S (Derecha)	1,91x10 ⁻³	m ³
Radio de giro	R _y	0,1761	m

Tabla 2.28.- Resumen de la propiedades en el eje de X e Y, de la tubería seleccionada

Una vez obtenidos estos valores se calculara los siguientes efectos.

Efectos por torsión

Para el cálculo de estos valores se tiene la tabla 2.29:

CARACTERÍSTICA	MAGNITUD	UNIDAD	MAGNITUD	UNIDAD
LONGITUD	6	M	152.4	in
TORQUE	0,3656	T-m	31,66	Klb-in
DIÁMETRO INTERIOR	488	mm	19.21	in
DIÁMETRO EXTERIOR	508	mm	20	in
MOMENTO POLAR DE INERCIA			2331,402763	in ⁴

Tabla 2.29.- Resumen de las propiedades en el eje a torsión

Usando la ec. 2.306 para calcular el esfuerzo por torsión, el cual se obtendrá con los siguientes datos: (ver fig. 2.123)

$$\tau = \frac{T \cdot r}{J} \quad (2.306)$$

$$J = \frac{\pi}{32} (d_{\text{ext}}^4 - d_{\text{int}}^4) \quad (2.307)$$

- τ : Esfuerzo de corte por torsión
- r : Brazo de momento
- J : Momento polar de inercia
- d_{ext} : Diámetro exterior de la sección transversal
- d_{int} : Diámetro interior de la sección transversal

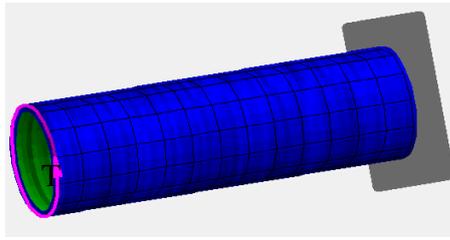


Fig. 2.123.- Diagrama de momento flector de la torre.

Por tanto resulta el esfuerzo así:

$$\tau = \frac{31.66 \text{ Klb} - \text{pulg} * 152.4 \text{ pulg}}{2331.402 \text{ pulg}^4}$$

$$\tau = 2.069 \text{ ksi}$$

Una vez calculado el esfuerzos se realizará el círculo de Mohr para el estado de carga y perfil determinado según la fig 2.124:

$$\sigma_{1,2} = \left(\frac{\sigma_X + \sigma_Y}{2} \right) \pm \sqrt{\left(\frac{\sigma_X + \sigma_Y}{2} \right)^2 + \tau_{XY}^2} \quad (2.308)$$

$$\sigma_1 = \sqrt{2.069^2} = 2.069 \text{ [ksi]}$$

$$\sigma_1 = -2.069 \text{ [ksi]}$$

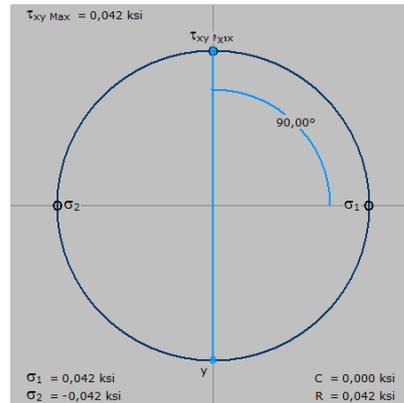


Fig. 2.124.- Diagrama del círculo de Mohr para la torre.

En las figs. 2.125, 2.126 se muestran la dirección de los esfuerzos principales y cortantes máximos.

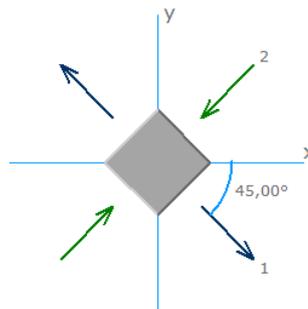


Fig. 2.125.- Orientación de los esfuerzos principales

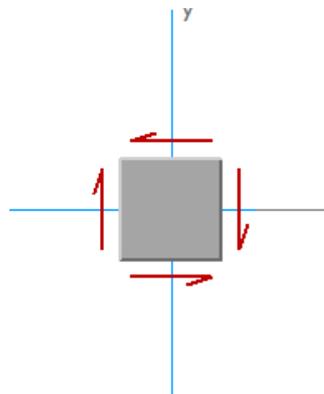


Fig. 2.126.- Orientación de los esfuerzos cortantes máximos

Aplicando el criterio de seguridad estructural para corte se calculará con la ec. 2.309 y aplicando con los siguientes datos:

- σ_1 : Esfuerzo real por corte, este valor se calculo con la ec. 2.308
- $[\sigma]$: Esfuerzo admisible (Acero estructural A – 36 corresponde a 24 ksi)
- In_{vt} : Índice de trabajo cortante

$$\frac{\sigma_1}{[\sigma]} = In_{vt} \quad (2.309)$$

Y para verificar el índice de trabajo al corte se lo realiza con la siguiente consideración:

$$I_{nt_v} \leq 1$$

De la igualdad anterior se comprueba que el índice de trabajo al corte para la torres y aplicando la ec. 2.309 es:

$$In_{vt_v} = \frac{2.069}{24} = 0,0862$$

Con los valores obtenidos se utilizará para todas las torres y se encuentran muy por debajo del límite (ósea 1) por lo que no se tendrá ningún tipo de falla como se puede observar en la estructura de la torre.

Flexión

Plano x-y

Para el cálculo de estos valores se tiene la tabla 2.30:

CARACTERÍSTICAS	MAGNITUD	UNI	MAGNITUD	UNI
LONGITUD	6	m	236.22	in
CARGA	13	T	28,6	Klb
C	254	mm	10	in

Tabla 2.30.- Resumen de la propiedad en el eje de flexión

En este plano se observará una viga con el siguiente estado de carga, para posterior realizar los diagramas de corte y momento flector como se muestra en la fig. 2.127

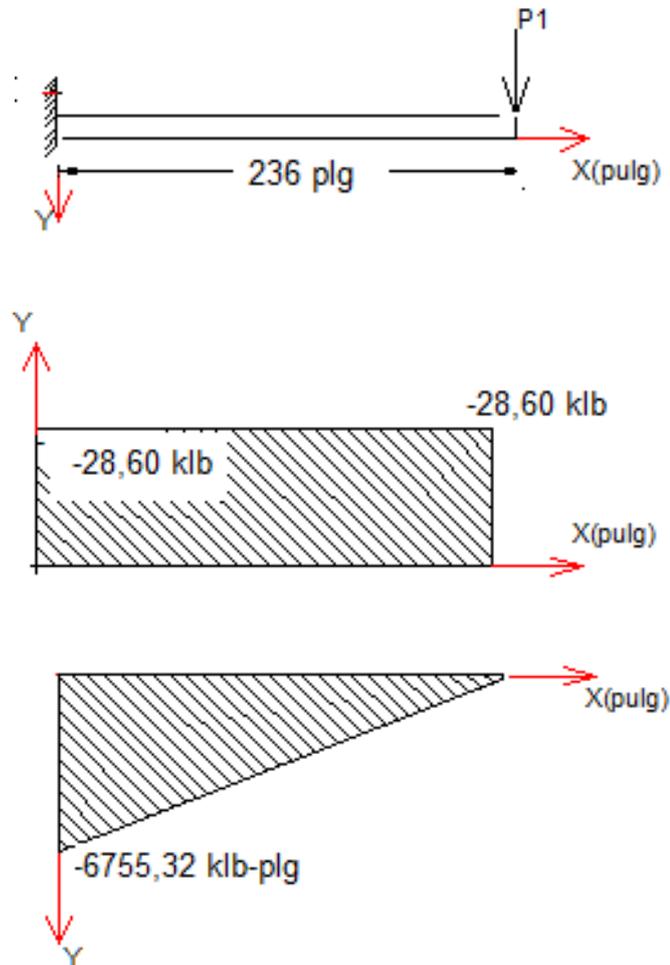


Fig. 2.127.- Esquema de cuerpo libre de la torre, diagrama de esfuerzo cortante, momento flector

Para el análisis de los esfuerzos normales por flexión producidos por esta carga se utilizará la ec. 2.146, en el caso de C se aplicará la ec. 2.218 y para el momento de inercia se calculará con la ec. 2.217 como se muestra en las figs. 2.128, 2.129:

$$c = \frac{508[mm]}{2} \times \frac{[in]}{25.4[mm]} = 10 [in]$$

$$I = \frac{\pi}{64} (508^4 - 488^4) = 1165.7 [in^4]$$

$$\sigma = \frac{6755.32[\text{kip} - \text{in}] \times 10 [\text{in}]}{1165.7 [\text{in}^4]} = 57.95 \left[\frac{\text{kip}}{\text{in}^2} \right]$$

Debido a que la flexión es un esfuerzo compuesto de compresión y tensión se analizará este elemento en 3 puntos como se observa en fig. 2.130

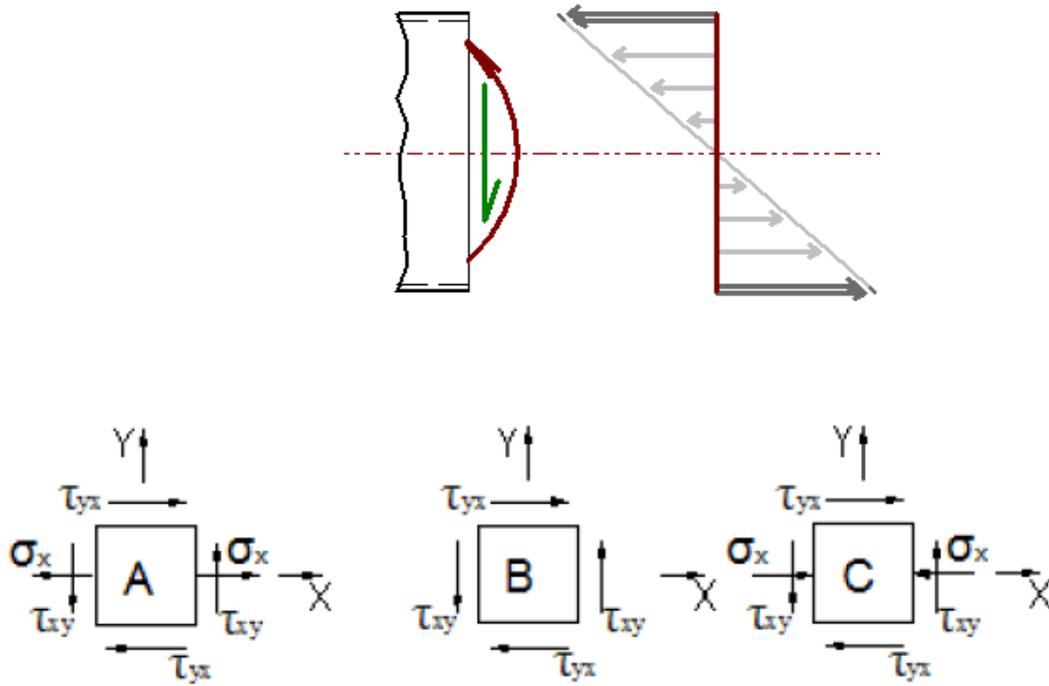


Fig. 2.130.- Diagrama de esfuerzos cortantes y momentos flectores

Por tanto los materiales dúctiles son más resistentes a compresión, entonces este elemento se analizará a tensión. Aplicando la ec. 2.381 cómo se muestra en la fig. 2.131 que corresponde al cálculo para el círculo de Mohr.

$$\sigma_1 = \left(\frac{18,72}{2} \right) + \sqrt{\left(\frac{18,72}{2} \right)^2 + 0,026^2} = 37.39 [\text{ksi}]$$

$$\sigma_2 = \left(\frac{18,72}{2} \right) - \sqrt{\left(\frac{18,72}{2} \right)^2 + 0,026^2} = 0 [\text{ksi}]$$

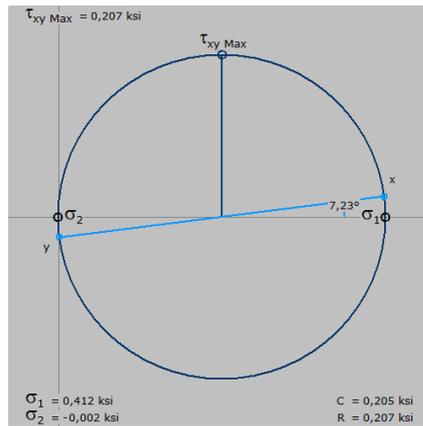


Fig. 2.131.- Diagrama del círculo de Mohr

En las figs. 2.132 y 2.133 se muestran la orientación de los esfuerzos principales y cortantes máximos.

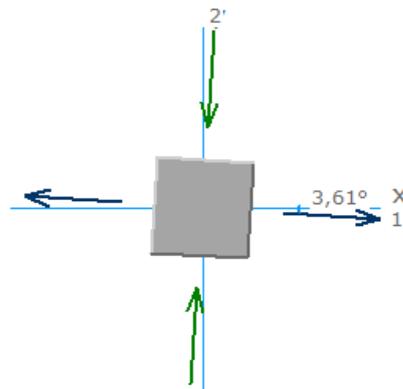


Fig. 2.132.- Orientación de los esfuerzos principales

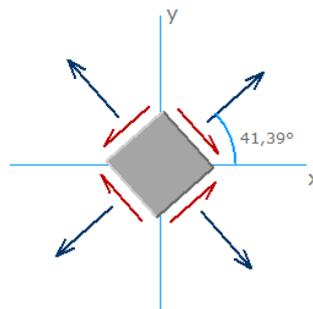


Fig. 2.133.- Orientación de los esfuerzos cortantes máximos

Conociendo que el esfuerzo máximo para dicho material es el equivalente a $0.6 \cdot S_y$ ó $0.66 \cdot S_y$, aplicando las ecuaciones que establece para este material la AISC se determinará el radio de giro, con la ec. 2.309 así:

$$R_T = \sqrt{\frac{I}{A}} \quad (2.309)$$

Con la ayuda del software Autocad se determinará el área de la sección transversal siendo de $A=3771.055 \text{ mm}^2$ ó sea 5.845 in^2 . Para calcular las inercias se realizará con la ec. 2.310 así

$$I = \left[\frac{(b_f \cdot t_f^3)}{12} + (b_f \cdot t_f)^2 \cdot d_o \right] + 2 \left[(t_w + m^3) + (m \cdot t_w) \cdot d_o'^2 \right] \quad (2.310)$$

$$I = \left[\frac{(219.53 \cdot 6^3)}{12} + (6 \cdot 6)^2 \cdot 501.97 \right] + 2[(6 + 165.34^3) + (165.34 \cdot 6) \cdot 413.33^2]$$

$$I = 348657998.294 [mm^4] = 837,65 [in^4]$$

$$R_T = \sqrt{\frac{837.65}{5.845}} = 11.97 [in]$$

Como es una viga de longitud prologada se utilizará la ec. 2.311 de la esbeltez así:

$$\frac{L}{R_T} = \frac{236.22}{11.97} = 19.73$$

$$\sqrt{\frac{102 \times 10^3 C_b}{F_y}} \leq \frac{L}{R_T} \leq \sqrt{\frac{510 \times 10^3 C_b}{F_y}} \quad (2.311)$$

Para un material ASTM A-36 se evaluará C_b con la ec. 2.312 así:

$$C_b = 1.75 + 1,05 \left(\frac{M_1}{M_2} \right) + 0.3 \left(\frac{M_1}{M_2} \right) \quad (2.312)$$

Donde los momentos son:

- M_1 : Menor momento en los apoyos
- M_2 : Mayor momento en los apoyos

Para este caso M_1 toma un valor de 0, y con la ec. 2.311 se obtendrá C_b así:.

$$53\sqrt{C_b} \leq \frac{L}{R_T} \leq 119\sqrt{C_b}$$

$$C_b = 1.75 + 1,05(0) + 0.3(0) = 1.75$$

$$53\sqrt{C_b} \leq \frac{L}{R_T} \leq 119\sqrt{C_b}$$

$$70 \leq \frac{L}{R_T} \leq 157$$

Puesto que no se cumple este parámetro se utiliza la ec. 2.309 para el $[\sigma]$ sabiendo que para este material se determinará con la ec. 2.313 y luego se calculará el σ_{\max}

$$[\sigma] = 0.6 S_y \quad (2.313)$$

$$[\sigma] = 0.6 * 36 = 21,6 \text{ [ksi]}$$

$$\sigma_{\max} = \frac{M}{I} \quad (2.314)$$

$$\sigma_{\max} = \frac{6755.32 \text{ [klb.in]}}{1165.7 \text{ [in}^3\text{]}} = 5.795 \text{ [ksi]} = 39.92 \text{ MPa}$$

Entonces se verificará el índice de trabajo al corte y se aplicará la ec. 2.309 para posterior determinar que la igualdad $Inv_t \leq 1$ se cumpla con los valores obtenidos así:

$$Inv_{t_b} = \frac{5.7985 \text{ ksi}}{24.6 \text{ ksi}} = 0.26$$

Por lo tanto el efecto de flexión actuante sobre la torre cumple con los requerimientos de seguridad adecuados. Con la tabla 2.31 se verifica los valores del índice de seguridad de trabajo (Inv_{tb}) del análisis de las torres.

TORRE	LONGITUD (m)	CARGA (T ₀)	MOMENTO (T ₀ .m)	C(m)	Le/r	A (in ²)	S (in ³)	σ _{max}	[σ]	Inv _{tb}
1	6	4	15,48	0,254	12,7 3	6,45x10 ⁻⁴	1165.7	39.92	148,9 3	0,26

Tabla 2.31.- Resumen de las características de la torre.

Se analizará solo en una torre, ya que para las otras tienen las mismas características tanto físicas, como de carga, y como se puede observar estas cumplen con los requerimientos de seguridad estructural.

Plano y-z

En la tabla 2.32 se considera las características de la torre:

CARACTERÍSTICAS	MAGNITUD	UNIDAD	MAGNITUD	UNIDAD
LONGITUD	6	M	236.22	In
MOMENTO FLECTOR	6.3	T-m	545.46	Klb-in
C	254	Mm	10	In
MOMENTO DE INERCIA			1165,7	In ⁴

Tabla 2.32.- Resume de las características de la torre.

En este plano se tiene una viga con el siguiente estado de carga como muestra la fig. 2.134:



Fig. 2.134.- Esquema de momentos torsor en viga

Para analizar los esfuerzos normales por flexión σ producidos por esta carga se utilizará la ec. 2.309, en el caso de C se aplicará la ec. 2.218 y para el momento de inercia se calculará con la ec. 2.217 con los siguientes datos:

$$c = \frac{508[mm]}{2} \times \frac{[in]}{25.4[mm]} = 10 \text{ in}$$

$$I = \frac{\pi}{64} (508^4 - 488^4) = 1165.7 \text{ in}^4$$

$$\sigma = \frac{545.46[kip - in] \times 10 [in]}{1165,7 [in^4]} = 4.67 \frac{kip}{in^2}$$

Aplicando el criterio de seguridad estructural por flexión y considerando que por este efecto se tiene esfuerzos de corte y tensión se evalúa ambos criterios y se aplicará la igualdad $Inv_{t_b} \leq 1$ y así verificar la seguridad, de la torre:

$$Inv_{t_b} = \frac{4.67}{24,6} = 0.189$$

Con este índice se comprueba que cumple con la condición que sea menor a 1 y así se verificará que es segura está estructuralmente.

En la tabla 2.33 se resumen los valores de las características de las torres así:

TORRE	LONGITUD (m)	MOMENTO (T.m)	C (m)	I (m4)	σ (Klb/in2)	$[\sigma]$ (Klb/in2)	Inv_{t_b}
1	6	6.3	0,254	4,85x10 ⁻⁴	4.67	24.6	0.189

Tabla 2.33.- Resumen de los valores de flexión YZ.

Efectos por compresión

Para analizar este efecto producido por las cargas en la dirección del eje longitudinal de la torre, se observará que las condiciones en los apoyos corresponden a los mostrados en la fig. 2.135 y se aplicará las ecs. 2.315, 2.316, 2.317 para la carga crítica de Euler.

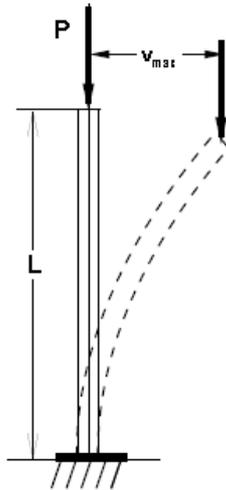


Fig. 2.135.- Esquema de la torre cargada a compresión

Donde

- E: Módulo de rigidez de material
- I: Momento de inercia de la sección transversal
- L_e : Longitud efectiva de la columna
- L: Longitud de la columna
- K: Factor de apoyo(Para las condiciones de apoyos de esta columna $K = 2$)
- L_e/r : Relación de esbeltez de la columna

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot EI_{min}}{L_e^2} \quad (2.315)$$

$$L_e = K \cdot L \quad (2.316)$$

$$\sigma_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot EI_{min}}{(L_e/r)^2} \quad (2.317)$$

Como se observa en la tabla 2.34 las características de las torres en función de sus datos que le considera como columna, y se realizará el cálculo de la esbeltez aplicada a este elemento así:

CARACTERÍSTICAS	MAGNITUD	UNIDAD	MAGNITUD	UNIDAD
LONGITUD	6	M	236.22	in
CARGA	22	T	48.2	Klb
MODULO DE RIGIDEZ	2,00E+06	kg/cm2	28387,04	Klb/in2
MOMENTO DE INERCIA			1165.7	in ⁴
Le	12	M	472.44	in
RADIO DE GIRO	176.1	Mm	6.93	in

Tabla 2.34.- Características de las torres.

Conociendo que una columna pandeará en el plano que presente menor rigidez a la flexión, es decir, en el plano respecto del cual el módulo de rigidez a la flexión sea mínimo, para este caso la sección transversal presenta el mismo valor de inercia por tanto se utilizará el valor mostrado en la tabla 2.34 y para calcularlo se realizará con la ec. 2.309 así:

$$L_e = 2 * 6m = 12m = 472.44 \text{ pulg}$$

$$r = \sqrt{\frac{1165.7}{24.25}} = 6.93 \text{ pulg}$$

$$L_e/r = \frac{472.44}{6.93} = 68.17$$

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 \times 29000 \text{ klb/pulg}^2 \times 1165.7 \text{ pulg}^4}{(68.17)^2 \text{ pulg}^2} = 71795.62 \text{ klb}$$

Para determinar que en la torre (columna) mantenga su equilibrio estable, deberá cumplir con la consideración de pandeo y que se lo realizará con la ec. 2.318

$$P < P_{cr} \quad (2.318)$$

$$48.4 \text{ klb} < 71795.62 \text{ klb}$$

De la consideración anterior se concluye que en la torre no existe pandeo.

Una vez que se ha analizado el efecto de todas las cargas sobre la torre se determinará la sección crítica de la misma (ver fig. 2.136).

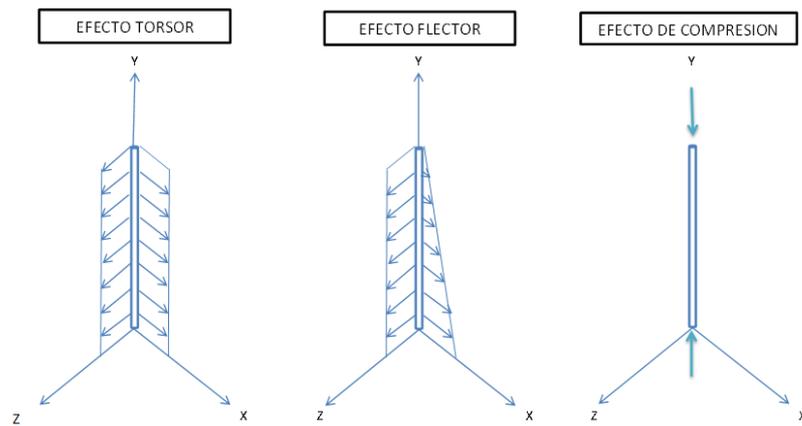


Fig. 2.136.- Esquema para determinar la sección crítica de la torre

De las fig. 2.136, se puede concluir que la sección crítica se encuentra ubicada en la base de la torre. En la cual se tiene el siguiente elemento ordinario bajo influencia de los siguientes esfuerzos (ver 2.137).

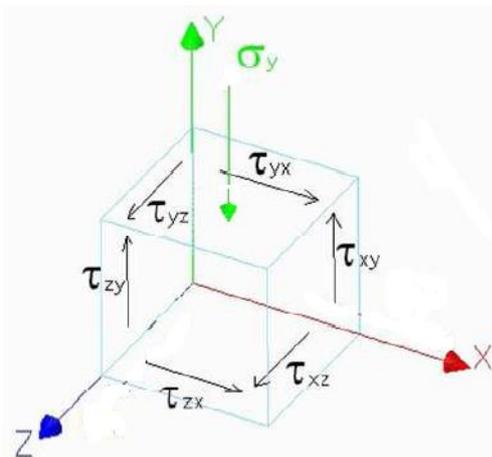


Fig. 2.137.- Diagrama de los esfuerzos producidos en la torre

Siendo

- σ_y : Esfuerzos normales de compresión, y para calcular este esfuerzo se aplicará la ec. 2.193 así:

$$\sigma_y = \frac{48.4 \text{ [klb]}}{24.25 \text{ [in}^2\text{]}} = 1.995 \text{ [ksi]}$$

- τ_{xy} : Esfuerzo cortante por flexión = 0.026 [ksi]
- τ_{xz} : Esfuerzo cortante por torsión = 0.04246 [ksi]
- τ_{yz} : Esfuerzo cortante por flexión = 0 [ksi]

Aplicando el criterio de seguridad estructural para compresión se evaluarán los siguientes esfuerzos con la ec. 2.81 y se obtiene I_{ntv_a} así siendo:

- σ_y : Esfuerzo real por compresión, calculado anteriormente
- $[\sigma]$: Esfuerzo admisible (Valor obtenido del manual del AISC)
- I_{ntv_a} : Índice de trabajo

Entonces para verificar la seguridad estructural debe cumplir con la siguiente consideración así:

$$I_{ntv_a} \leq 1$$

Utilizando el manual del AISC, en función de la relación de esbeltez se tendrá:

$$[\sigma] = 18.86 \text{ ksi}$$

$$\frac{\sigma_y}{[\sigma]} = \frac{1.995}{18.86} = 0.105$$

Por lo tanto se verifica la seguridad estructural de la torre. Y se realizará la tabla 2.35 de los valores obtenidos para esta.

TORRE	LONGITUD (in)	r(in)	Le(in)	Le/r	σ_y	[σ]	I_{ntv_a}
1	236.22	6,93	472.44	68.173	1.995	18.86	0,105

Tabla 2.35.- Resumen de los factores de seguridad estructural de la torre.

Debido a que la torre está actuando a esfuerzos combinados de flexión, compresión y torsión se utilizará la ec. 2.319 que establecerá que:

$$I_{ntv_a} + I_{ntv_t} + I_{ntv_t} \geq 1 \quad (2.319)$$

En la tabla 2.36 en función de los factores se establecerá el factor de seguridad de las torres en resumen.

TORRE	COMPRESIÓN	FLEXIÓN	ESFUERZOS COMBINADOS	η
1	0,105	0,26	0,70	1,065

Tabla 2.36.- Factor de seguridad de la torre.

En conclusión los índices de trabajo estructural se consideran como aceptables puesto que se encuentran en el intervalo admisible a pesar de que las cargas de diseño consideradas están sobredimensionadas. Además se concluirá que el factor de seguridad total para la torre es mayor a 1, por lo que se considerará que la tubería seleccionada no fallará a flexión, compresión y torsión.

2.1.3.2.- Calculo del tubo soporte para el tren de poleas en la torre

Para analizar el tubo soporte de la torre, primero se toma en cuenta un sistema de coordenadas y se calcularán las fuerzas actuantes en cada plano obteniendo los datos de longitud, espesor, y puntos de referencia como se muestra en la fig. 2.138, así también las reacciones determinadas en el diagrama de cuerpo libre espacial de la fig. 2.139 para la torre:

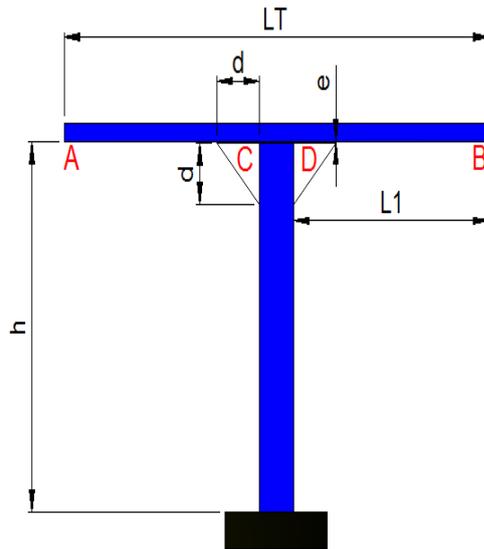


Fig. 2.138.- Esquema general de la torre

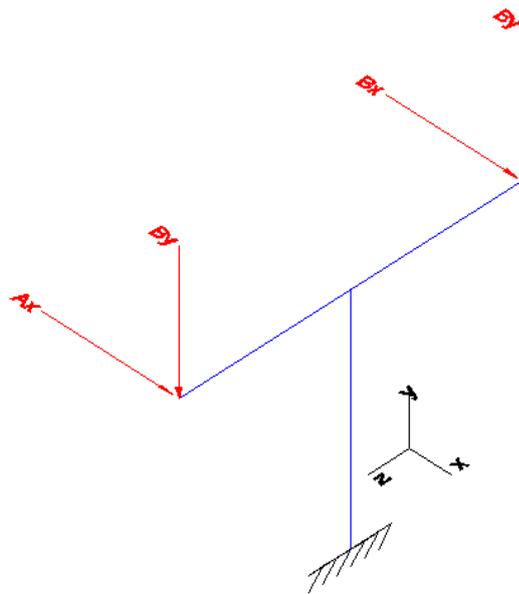


Fig. 2.139.- Diagrama de cuerpo libre espacial de la torre

Debido a que la tubería de soporte horizontal de la torre se encuentra unida a la tubería de soporte vertical mediante soldadura a una placa soporte que se utiliza como atezador y esta se considerará como un nodo continuo en dicho punto, el cual tiene una rigidez muy alta, en dicha sección, se considerará una rigidez infinita y por ello para facilidad de cálculo se considerará como una viga empotrada en los puntos C y D, como se muestra en la fig. 2.140 a continuación:

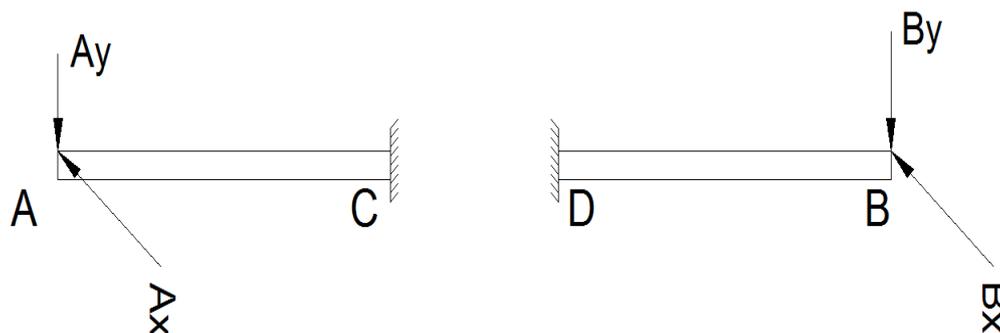


Fig. 2.140.- Diagrama de cuerpo libre en las secciones de A-C, D-B.

Se tomará en referencia a la fig. 2.140 para diseñar los diagramas de momentos en el plano y-z así como en el plano x-z, para calcular la carga establecida por el tren de poleas en la sección A-C, con la ayuda del programa MDSolids para este elemento.

2.1.3.3.- Parante soporte del tren de poleas

Para calcular la carga establecida por el tren de poleas en la sección A-C se establece a los planos y-z e z-x así:

Plano y-z

En este plano se considera una longitud de 90.56 pulg., ósea 2.3 m con una carga de 14.3 klb aproximadamente de 6.5 Ton del tren de poleas, como se muestra en la fig. 2.142 y 2.143 se determinarán los diagramas de corte y flexionante así:

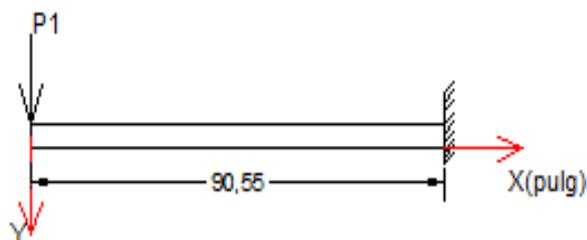


Fig. 2.141.- Esquema general de la sección de A-C

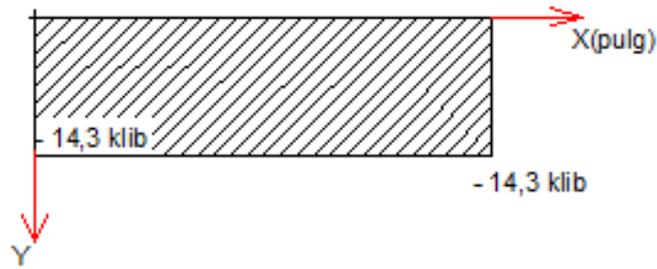


Fig. 2.142.- Esquema de los esfuerzos cortantes en A-C.

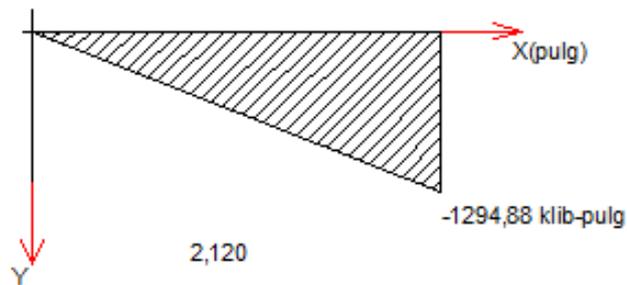


Fig. 2.143.- Diagrama de momento flector.

Plano x-z

Para este plano se considerará una longitud de 90.56 pulg aproximadamente de 2.3 m, con una carga de 22 Ton de la tensión máxima de cable, como se muestra en las figs. 2.146 y 2.145 para determinar los diagramas de corte y flexionante así:

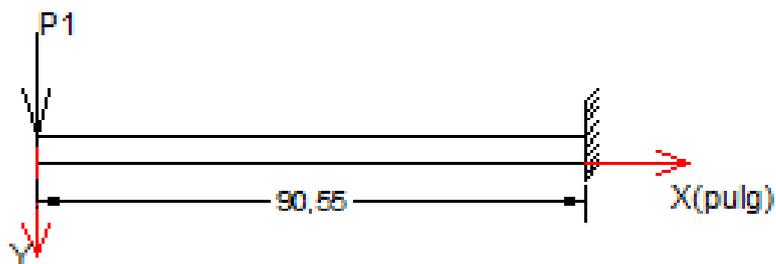


Fig. 2.144.- Esquema general de la secciones de A-C

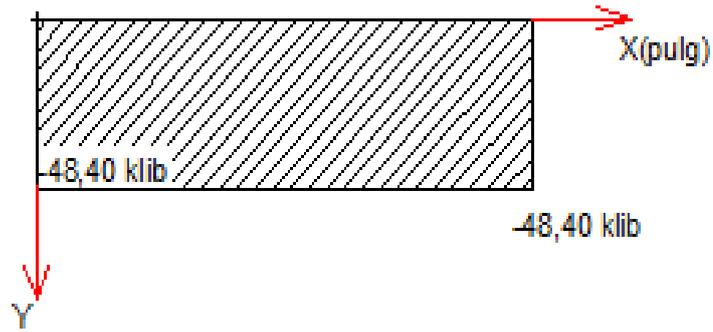


Fig. 2.145.- Diagrama de esfuerzo cortante de la sección de A-C

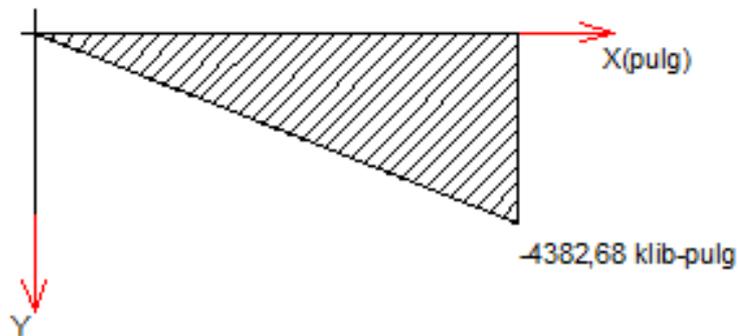


Fig. 2.146.- Diagrama de momento flector de la sección de A-C

De las fig. 2.143 y 2.146 se tomarán los valores de momentos para calcular el máximo como se observa en la ec. 2.320:

$$M_T = \sqrt{M_{yz}^2 + M_{xz}^2} \quad (2.320)$$

$$M_T = \sqrt{(1294.88)^2 + (4382.68)^2} = 4569.966 \text{ klb. plg}$$

En primer lugar se analizará la tubería, sin atezador y sin cartagón, es decir, con sección simple, en el lugar donde se tiene el mayor momento, y así determinar si la misma fallará. Las características físicas y mecánicas de la tubería estructural son las que se muestran en la fig. 2.147 y se detallarán a continuación así:

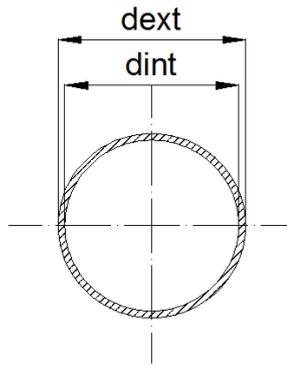


Fig. 2.147.- Esquema de la tubería utilizada

- Material: Acero ASTM A-569.
- $S_{y\text{mínimo}} = 25000 \text{ psi}$
- $S_{ut\text{mínimo}} = 45000 \text{ psi}$

Los datos de tubería son tomados de la tabla de tubería estructural de la empresa de Soluciones Tubulares del Anexo A2 así:

- $d_{\text{nominal}} = 6 \text{ pulg}$
- $d_{\text{ext}} = 0.168 \text{ m}$
- $d_{\text{int}} = 0.156 \text{ m}$
- $I = 24.099 \text{ plg}^4$
- $c = 0.084 \text{ m} = 3.30 \text{ plg}$

Para el cálculo de los esfuerzos se aplicará la ec. 2.146 y el factor de seguridad por flexión se calculará con la ec. 2.123 así:

$$\sigma = \frac{(4569.966 \text{ klb. plg}) \cdot (3.30 \text{ plg})}{(24.099 \text{ plg}^4)} = 625.76 \text{ ksi}$$

$$\eta = \frac{25 \text{ ksi}}{625.76 \text{ ksi}}$$

$$\eta = 0.0399$$

Con el factor de seguridad calculado, se concluye que la tubería fallará y se procede a determinar la sección compuesta incorporando el atizador y el cartagón (ver fig. 2.148, 2.149).

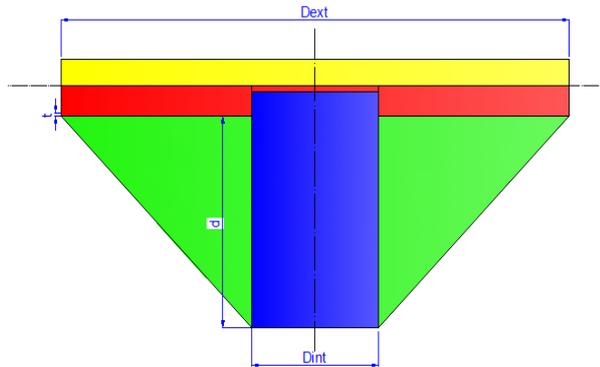


Fig. 2.148.- Esquema del atizador

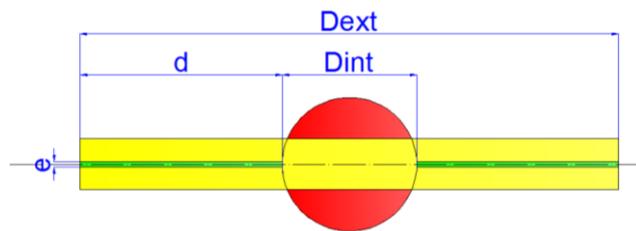


Fig. 2.149.- Esquema del cartagón

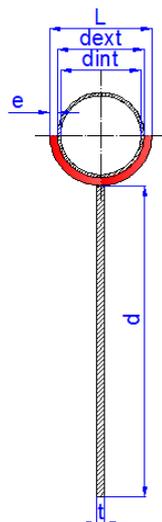


Fig. 2.150.- Esquema de la región compuesta

Como se observa en la fig. 2.150 con los valores para la torre en la seccion crítica, de la tabla 2.37, se representará la región compuesta donde se tendrá los mayores esfuerzos.

DIMENSIONES	mm	m	plg
Lc	180	0.18	7.09
Dext_a	1400	1.40	55.12
Dint_a	400	0.40	15.75
d_a	600	0.60	23.62
e_c	15	0.01500	0.59055
t_a	15	0.01500	0.59055
dext_c	152.4	0.15	6.00
dint_c	140.4	0.140	5.528
ei_c	6	0.006	0.236

Tabla 2.37.- Dimensiones de la torre.

Donde

- Lc: longitud total del cartagón
- Dext_a: diámetro exterior del atiezador
- Dint_a: diametro interior del atiezador
- d_a: longitud del atiezador
- e_c: espesor del cartagon
- t_a: espesor del atiezador
- dext_c: diámetro exterior del cartagón
- dint_c: diámetro interior del cartagón
- ei_c: espesor del conjunto

Una vez obtenidos los valores de la tabla 2.37, se a realizara el cálculo del momento de inercia y centroides para la sección compuesta en la tabla 2.38

AREA, m ²		Y'i, m	Ai.Y'i, m ³
A1	0.00275957	0.6912	0.00190742
A2	0.0027	0.6075	0.00164025
A3	0.009	0.3	0.0027
$\sum Ai$	0.01445957	$\sum Ai.Y'i$	0.00624767
	M	Plg	
Y'	0.432	17.01	

Tabla 2.38.- Centroides de la torre

A partir de la tabla 2.38 y mediante el teorema de los ejes paralelos se determinará la inercia de la sección compuesta en la tabla 2.39 así

AREA	A1	A2	A3
(Ix') m	7.4057E-06	5.0625E-08	0.00027
d m	0.259	0.175	0.132
(Ix) m	0.00019269	0.00008314	0.00042700

Tabla 2.39.- Aéreas de la torre

Siendo:

$$I_x = 0.00070283 \text{ m} = 1688.56 \text{ plg}$$

Para el análisis de los esfuerzos normales por flexión σ producidos por esta carga se utilizará la ec. 2.146 y se cambiará por f_b , en el caso de C se aplica la ec. 2.218 y para el momento de inercia se aplicará la ec. 2.217.

Con los valores de las tablas 2.38, 2.39, y con la consideración del párrafo anterior, se calculará de los esfuerzos normales, y se obtendrá el factor de seguridad presente en las torres con la ec. 2.146, repitiendo, el procedimiento utilizado en el cálculo de la sección simple, para obtener el factor de seguridad por flexión con la ec. 2.123 así:

$$\sigma = \frac{(4569.966 \text{ klb. plg}) \cdot (17.01 \text{ plg})}{(1688.56 \text{ plg}^4)} = 46.03 \text{ ksi}$$

$$n = \frac{36 \text{ ksi}}{46,03 \text{ ksi}} = 0.782$$

Ahora se sobredimensiona la carga viva en un 30% por sobresfuerzos inesperados, y con esta carga se calculará el nuevo factor de seguridad que es de:

$$\eta_s = 1.02$$

Con este factor se garantizará que todas las torres no fallarán a flexión.

2.1.3.4.- Diseño de las placas de unión de las torres

Para analizar la placa de unión de las torres, se considera una geometría circular hueca como se muestra en la fig. 2.151, así:

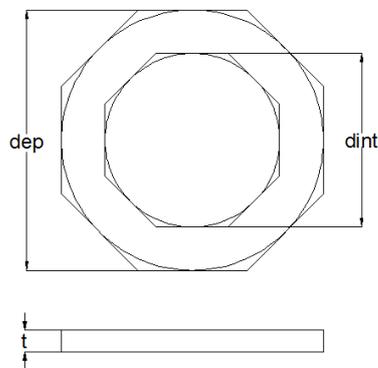


Fig. 2.151- Esquema de las placas hueca.

El diseño de esta placa se lo realizará en todas las torres.

2.1.3.4.1.- Torre de 6 m

Para este análisis se utilizará la tabla 2.40, donde están las características físicas de la placa y en la tabla 2.41 de las propiedades del material que se utilizará:

PLACA 1		
	Mm	m
Dep	600	0.6
Dint	400	0.4
P	1256.64	1.26
A	300	0.3

Tabla 2.40.- Propiedades físicas de la PLACA 1

	material	KSI	kg/m ²
Sy	A-36	36000	25363687.1

Tabla 2.41.- Propiedades del acero A-36

Para una fuerza de 6500 kg, se tendrá una carga distribuida de 5200 kg/m y con estos valores se calculará el momento máximo según la ec. 2.321 así:

$$M = \frac{q \cdot a^2}{2} \quad (2.321)$$

$$M = \frac{(5200 \frac{kg}{m}) \cdot (0.3 m)^2}{2} = 234 kg \cdot m$$

Siendo:

- M: Momento
- q.: la carga distribuida
- a.: área de la sección transversal

El valor que interesa calcular es el espesor, y con la ec. 2.322, que se tomará de la teoría de placas planas se lo realizará:

$$t = \sqrt{\frac{10 \cdot M}{D \cdot S_y}} \quad (2.322)$$

$$t = \sqrt{\frac{10 \cdot (234 kg \cdot m)}{(0.6m - 0.4m) \cdot (25.36 \times 10^6 \frac{kg}{m^2})}}$$

$$t = 0.0214 m = 21.4 mm$$

Por lo cual se seleccionara una placa de 25 mm de espesor para el soporte de la placa base de todas las torres, con una longitud de 6 metros.

2.1.3.4.5.- ANÁLISIS ESTRUCTURAL DE LA ESTACIÓN DE SALIDA

Para analizar las cargas en la estación de salida se tomarán las medidas de las tuberías estructurales según la empresa Soluciones Tubulares en el anexo A2, por motivos de estética se utilizará el mismo diámetro para toda la estructura con los siguientes datos:

- $d_{\text{nominal}} = 6 \text{ pulg}$
- $d_{\text{ext}} = 0.168 \text{ m}$
- $d_{\text{int}} = 0.156 \text{ m}$
- $I = 24.099 \text{ plg}^4$
- $c = 0.084 \text{ m} = 3.30 \text{ plg}$

En el análisis estructural de la estación de salida, el primer paso es determinar las reacciones actuantes en cada apoyo (extremidades), de acuerdo a lo establecido en la estructura que soportara la carga del peso de la rueda ($P_{\text{RUEDA}}=2500 \text{ kg}$) y el sistema de motorización ($P_{\text{M}}=1000 \text{ kg}$), además esta estación soportara la carga sísmica.

2.1.3.4.5.1.- Carga sísmica reactiva (w)

La carga sísmica W , se representará con la carga reactiva por sismos y es igual a la carga muerta total de la estructura más el 25% de la carga viva (ver fig. 2.153).

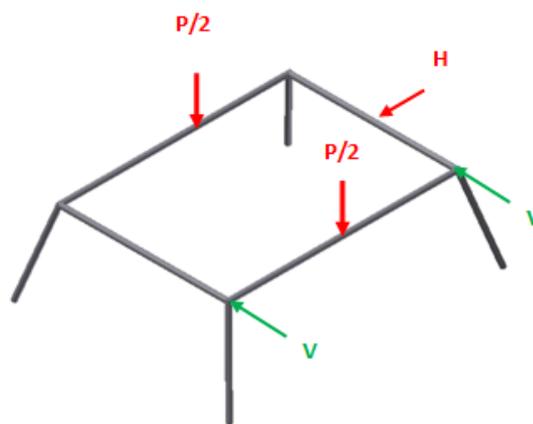


Fig. 2.153.- Esquema de la estación de salida

Para el caso de la estación de salida se tendrá:

- C_{m_T} : Carga muerta (Peso propio de la estructura y carga lateral H)
- Carga Lateral (H): se considerará al sistema de transporte soportando la máxima cantidad de personas transportadas, siendo 24 personas.
- C_{v_T} : Carga viva (Peso de la rueda motriz, sistema motorizado y estructura de soporte)

$$C_{m_T} = \text{Peso } 24_{\text{pers}} + \text{ peso estructural} \quad (2.323)$$

$$C_{m_T} = 1920 \text{ Kg} + 8.08 \times 10^3 \text{ kg} = 10000 \text{ kg} = 10 \text{ Ton}$$

$$C_{v_T} = (\text{p. rueda motriz} + \text{p. sistema motor.}) + \text{p. estructura soport.} \quad (2.324)$$

$$C_{v_T} = (2500 \text{ kg} + 1000 \text{ kg}) + 1500 \text{ kg} = 5000 \text{ kg} = 5 \text{ Ton}$$

$$W = C_{m_T} + 0.25C_{v_T} \quad (2.325)$$

$$W = 10 \text{ Ton} + 0.25(5 \text{ Ton}) = 11.25 \text{ Ton}$$

2.1.3.4.5.2.- Diseño por cortante basal

El cortante basal total de diseño V , a nivel de cargas últimas, se aplicará en la estructura de la estación de salida en una dirección específica, y se determinará mediante la ec. 2.326 así:

$$V = \frac{F_i S_a}{R \varphi_p \varphi_E} W \quad (2.326)$$

- F_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.
- φ_p, φ_E : Factores de configuración estructural en planta y en elevación.

2.1.3.4.5.3.- Factor de importancia

En base a la tabla 2.42 se determinara el factor de importancia (F_i), en función de la categoría de la edificación (teleférico).

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. Torres de control aéreo. Estructuras de centros de telecomunicaciones u otros centros de atención de emergencias. Estructuras que albergan equipos de generación y distribución eléctrica. Tanques u otras estructuras utilizadas para depósito de agua u otras sustancias anti-incendio. Estructuras que albergan depósitos tóxicos, explosivos, químicos u otras sustancias peligrosas.	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 2.42.- Propiedades del factor de importancia de las construcciones

2.1.3.4.5.4.- Aceleración espectral

El espectro de respuesta elástico de aceleraciones expresado como fracción de aceleración de gravitacional (S_a), para el nivel del sismo de diseño, se considerará mediante la ec. 2.327 y 2.328 así:

$$S_a = n Z F_a \quad \text{para } 0 \leq T \leq T_c \quad (2.327)$$

$$S_a = n Z F_a \left(\frac{T_c}{T}\right)^r \quad \text{para } T \geq T_c \quad (2.328)$$

El factor Z de las ecs. 2.327 y 2.328 corresponde al factor de zona sísmica, que se determinará en base a la ubicación del proyecto, el cual aproximadamente está en la zona sísmica verde donde el valor de Z corresponde a 0.4 g (ver fig. 2.154).

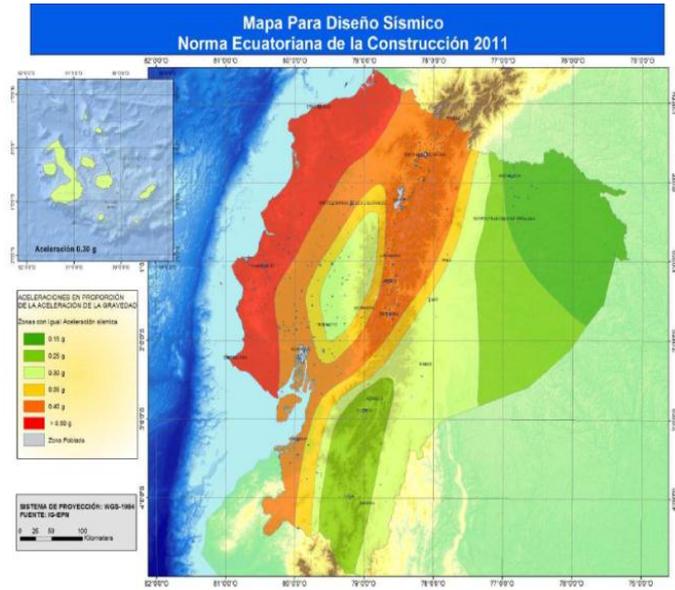


Fig. 2.154.- Esquema de las zonas de sísmicas

2.1.3.4.6.- 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 y se determinará el valor de T_c , mediante la ec. 2.329:

$$T_c = 0.55 \frac{F_s F_d}{F_a} \quad (2.329)$$

Los valores de F_s , F_d y F_a se obtendrá de las tablas 2.43, 2.44, 2.45 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	1.2	1.15
E		1.8	1.5	1.4	1.28	1.15	1.05
F		ver nota					

Tabla 2.43.- Tipo de suelo y factor de sitio F_a

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
F		ver nota					

Tabla 2.44.- Tipo de suelo y factor de sitio Fd

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
F		ver nota					

Tabla 2.45.- Tipo de suelo y factor de comportamiento inelástico del subsuelo Fs

Por lo tanto:

$$T_c = 0.55 \frac{1.025 \times 1.15}{1.1} = 0.059$$

Puesto que $T \geq T_c$ se aplica la ec. 2.328 así:

$$S_a = n Z F_a \left(\frac{T_c}{T} \right) r$$

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 los espectros de peligro uniforme en roca con el 10% de probabilidad de excedencia, que se obtendrá 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 definirá 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
- $n = 2.48$.- Provincias de la Sierra, Esmeraldas y Galápagos
- $n = 2.6$.- Provincias del Oriente.

Estos valores se consideraran para el cálculo de la aceleración espectral (S_a).

2.1.3.4.7.- Periodo de vibración T

El periodo de vibración de la estructura, para cada dirección principal, será estimado a partir de la ec. 2.330 así:

$$T = C_t \cdot h_n^\alpha \quad (2.330)$$

- Para estructuras de acero sin arriostramientos, $C_t = 0.072$ y $\alpha = 0.80$
- De igual manera $h_n = 3$ m (altura de la estructura)

$$T = 0.072 \times 3^{0.8} = 0.174$$

Una vez determinado el periodo de vibración (T) se calculara S_a con la ec. 2.328 así:

$$S_a = 2.48 \times 0.4 \times 1.1 \left(\frac{0.059}{0.174} \right) 1$$

$$S_a = 0.37$$

2.1.3.4.7.1.- Factor de reducción de respuesta estructural

Una vez seleccionada la estructura de ductilidad limitada del tipo, pórticos espaciales sismo-resistentes, de acero laminado en caliente o con elementos armados de placas se obtendrá el valor de reducción de resistencia sísmica (R) correspondiente según la tabla 2.46.

Pórticos resistentes a momentos	
Pórticos espaciales sismo-resistentes, de hormigón armado con vigas descolgadas.	6
Pórticos espaciales sismo-resistentes, de acero laminado en caliente o con elementos armados de placas.	6
Pórticos con columnas de hormigón armado y vigas de acero laminado en caliente.	6

Tabla 2.46.- Factor de respuesta estructural.

2.1.3.4.7.2.- Factores de configuración estructural

Debido a que estos valores están dados para configuraciones estructurales no tan simples y de varios pisos no se la tomará en consideración, por esa razón se la considerará con el valor más bajo siendo 1.

Teniendo todos los parámetros necesarios se obtendrá el valor de la carga estática por sismo Basal (V).

$$V = \frac{1.5 \times 0.37}{6 \times 1} (22 \text{ T}) = 2.035 \text{ Ton}$$

Con el valor de la carga de sismo Basal se simulará la estructura de la estación de salida con ayuda del software SAP 2000 y se obtendrá los datos de la tabla 2.47:

Restricción	Reacción		Momento	
	Magnitudes (Ton)	Componentes (Ton) (Fx,Fy,Fz)	Magnitud (Ton-m)	Componentes (Ton-m) (Mx,My,Mz)
1	6,09	1,70	2,32	-1,84
		2,50		1,36
		5,29		0,38
2	3,01	1,10	1,79	1,17
		-1,50		1,34
		2,36		-0,20
4	5,47	-0,60	2,14	-1,75
		2,38		0,92
		4,89		-0,82
3	2,39	-2,58	1,57	1,08
		-1,38		0,94
		1,95		0,64

Tabla 2.47.- Valor de reacciones y momentos.

2.1.3.4.8.- Esquema de fuerzas

Como se puede observar en la fig. 2.155 en el diagrama de fuerzas presentes en cada uno de los empotramientos de la estructura, y se tomará los mayores valores.

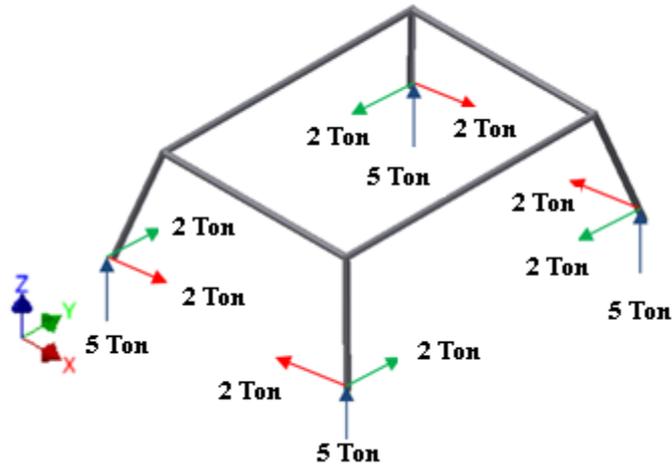


Fig. 2.155.- Esquema de las fuerzas aplicadas en la estación de salida

2.1.3.4.9.- Esquema de momentos

Por último en la fig. 2.156 se muestra el diagrama de momentos presentes en los empotramientos de la estructura de la estación de salida, los valores de la tabla 2.47 se los incrementará en un 30% de su valor nominal para introducir un factor de seguridad y la dirección de estos momentos se determinará como positivo en sentido anti horario (ver fig. 2.156).

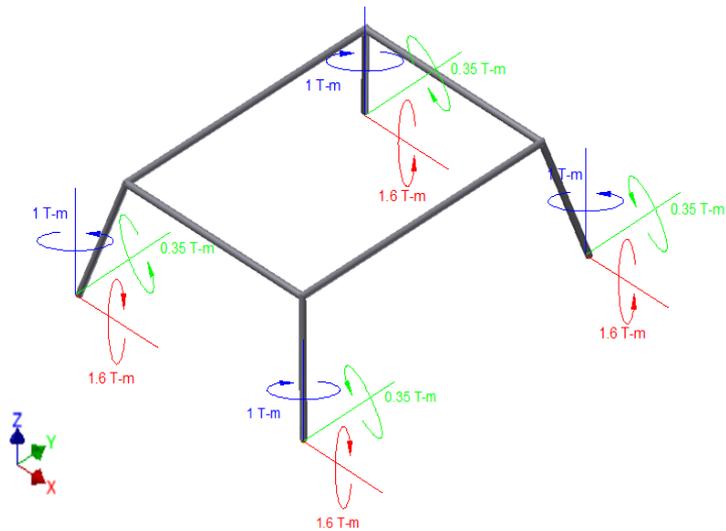


Fig. 2.156.- Esquema de los momentos aplicados en la estación de salida

Finalmente en la tabla 2.48 se muestran los parámetros necesarios para determinar el factor de seguridad estructural de la estación de salida

2.1.3.4.10.- Análisis para el factor de seguridad

Para resumir en la tabla 2.48 se presenta el estado estático de la carga

Parámetro	Mínimo	Máximo
Desplazamiento	0,000 pulg	0,422 pulga
Fuerza (Klb)		
F _x	-1,75	2,38
F _y	-9,77	9,75
F _z	2,50	13,26
Momentos (Ton-m)		
M _x	-7,80	8,14
M _y	-2,92	6,18
M _z	-0,60	0,61
Momento (psi)		
σ _{max}	15,08	9017,45
σ _{min}	-10416,56	-383,90
σ _{max} (M _x)	34,66	7393,39
σ _{min} (M _x)	-7393,39	-34,66
σ _{max} (M _y)	3,77	5613,42
σ _{min} (M _y)	-5613,42	-3,77
σ _{axial}	-741,11	-139,52

Esfuerzo Cortante (psi)		
T_x	-265,77	195,44
T_y	-1090,12	1091,57
Esfuerzo torsional (psi)		
T	-277,40	274,93

Tabla 2.48.- Estado estático.

Considerando que el efecto predominante en este análisis corresponde a la flexión el cual se calculará con la ec. 2.123 y reemplazando σ_{max} por σ_{equ} , tomando las características del material de la tabla 2.49, se obtendrá el factor de seguridad.

Nombre:	Acero estructural	
General	Densidad	7,860 g/cm ³
	Esfuerzo de Fluencia	36000 psi
	Esfuerzo de rotura	50035,695 psi
Tensión	Modulo de Young	220 Gpa
	Coefficiente de Poisson	0,275 ul
Propiedades Térmicas	Coefficiente de expansión térmica	0,0000120 ul/c
	Conductividad Térmica	56,000 W/(m K)
	Cp	0,460 J/(kg K)

Tabla 2.49.- Características del acero estructural.

$$n_s = \frac{36000 \text{ psi}}{7393 \text{ psi}} = 4,86$$

Como se puede verificar la estructura presenta condiciones satisfactorias de seguridad, considerando las cargas de sismo en la misma.

2.1.3.4.10.1.- Análisis del contrapeso de la estación de salida

En el análisis de las cargas de la estación de salida, se dimensionará las medidas del contrapeso así (ver fig. 2.157):

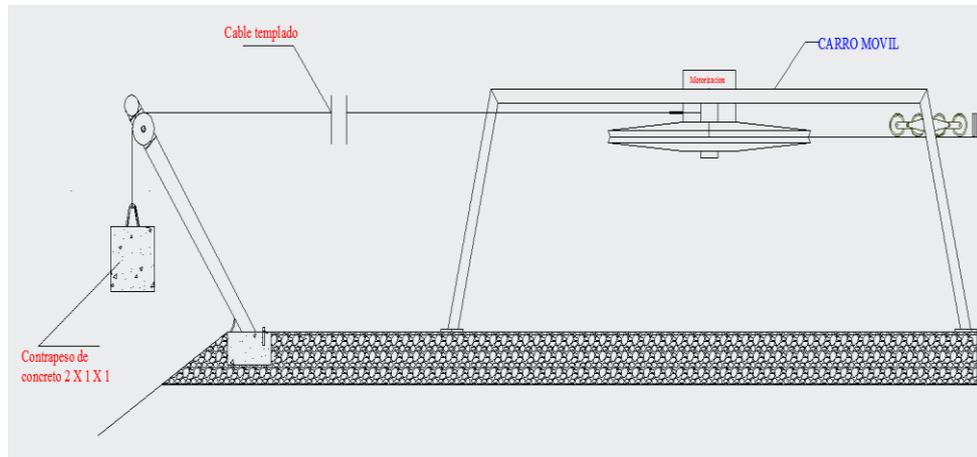


Fig. 2.157.- Esquema del contrapeso para la tensión del cable

Con las ecs. 2.331 y 2.332 de la densidad y la fuerza respectivamente, determinarán el volumen del cuerpo a seleccionar:

$$\delta = \frac{m}{V} \quad (2.331)$$

Siendo:

- δ .- Densidad del cuerpo (por tanto como es concreto entonces se tendrá que 1 m³ de concreto es 2300 $\frac{Kg}{m^3}$)
- m.- Masa del cuerpo
- V.- volumen del cuerpo

$$|F| = m * g \quad (2.332)$$

Donde:

- F.- Fuerza de tensión total de cable 44 ton es 44000 kg
- m.- Masa del cuerpo
- g.- aceleración gravitacional ($9.81 \frac{m}{s^2}$)

$$\frac{|F|}{g} = m$$

$$\delta * V = m$$

$$\frac{|F|}{g \delta} = V$$

$$\frac{44000 \text{ kg}}{9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} 2300 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}} = V$$

$$V = 2 \text{ m}^3$$

Con el valor obtenido del volumen del cuerpo se determinará que es adecuado para soportar la tensión del cable máxima de 44 Ton por ser de ida y vuelta, con un bloque de concreto con medidas de 2 x 2 x1 m

2.1.3.4.11.- ANÁLISIS DE LA ESTACIÓN DE LLEGADA

Para analizar las cargas presentes en la estación de llegada primero se determinará la carga de sismo la cual se encuentra entre un 10 y 12% de la carga máxima aplicada, siendo está la tensión máxima del cable de ida y vuelta por tanto 44 Ton, aplicadas sobre la rueda loca que se encuentran sostenidas en las chumaceras las cuales reciben totalmente esta carga. Del cálculo anterior se obtendrá una carga de sismo Basal (V) que será de 2,9 Ton. Para realizar los análisis de reacciones y momentos se tomará los datos de las tablas de tubería estructural de la empresa Soluciones Tubulares en el anexo A2 (ver fig. 2.158) así:

- $d_{\text{nominal}} = 6$ pulg, para toda la estructura se aplica el mismo diámetro de tubería por estética
- $d_{\text{ext}} = 0.168$ m
- $d_{\text{int}} = 0.156$ m
- $I = 24.099$ plg⁴
- $c = 0.084$ m = 3.30 plg

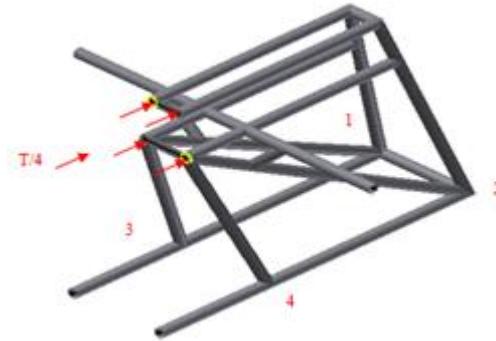


Fig. 2.158.- Esquema de las reacciones aplicadas en la estación de llegada

La restricción estructural de esta estación es de tipo empotramiento. De esta manera mediante el uso del software SAP 2000, se determinará las reacciones y momentos actuantes en la estructura, para lo cual se divide la fuerza actuante que se aplicará en las chumaceras para cada viga, en las que se encuentran apoyadas y se obtendrá los resultados que se resumen en tabla 2.50.

Nombre del Empotramiento	Reacciones		Momentos	
	Magnitud (Ton)	Componentes (Ton) (Fx,Fy,Fz)	Magnitud	Componentes (Ton-m) (Fx,Fy,Fz)
Empotramiento 1	23,51	-19,12	7,47	1,53
		17,34		7,14
		13,57		1,55
Empotramiento 2	23,51	-19,12	7,47	-1,53
		-1,74		7,14
		13,57		-1,55
Empotramiento 3	15,2	4,8	6,28	-1,93
		2,02		-5,6
		-14,7		-2,03
Empotramiento 4	12,74	4,12	6,28	1,93
		-2,02		-5,63
		-11,9		2,03

Tabla 2.50.- Reacciones y momentos en los empotramientos

Se realizará el análisis estático con el software SAP 2000 de la estructura para obtener los resultados resumidos en la tabla 2.51

Nombre	Mínimo	Máximo
Desplazamiento	0,000 mm	0,57 pulg
Fuerzas (Klb)		
Fx	16,32	4059,14
Fy	5,99	15570,99
Fz	50,50	52328,87
Momentos (Ton-m)		
Mx	-1,81	1,53
My	-4,92	2,98
Mz	-0,45	0,46
Esfuerzos Normales (psi)		
σ_{max}	-3597,78	9481,98
σ_{min}	-9229,92	2265,24
$\sigma_{max}(Mx)$	0,00	6606,02
$\sigma_{min}(Mx)$	-6606,02	0,00
$\sigma_{max}(My)$	0,00	3475,09
$\sigma_{min}(My)$	-3475,09	0,00
σ_{axial}	-4015,76	2742,10
Esfuerzos Cortante (psi)		
Tx	-1631888,81	1631888,81
Ty	-6259973,05	6259973,05
Esfuerzos Torsionales (psi)		
T	-1935148,63	1935148,63

Tabla 2.51.- Fuerzas, momentos y esfuerzos de la estructura

2.1.3.4.11.1.- Esquema de fuerzas

En la fig. 2.159 se muestra el diagrama de fuerzas presentes en cada uno de los empotramientos de la estructura.

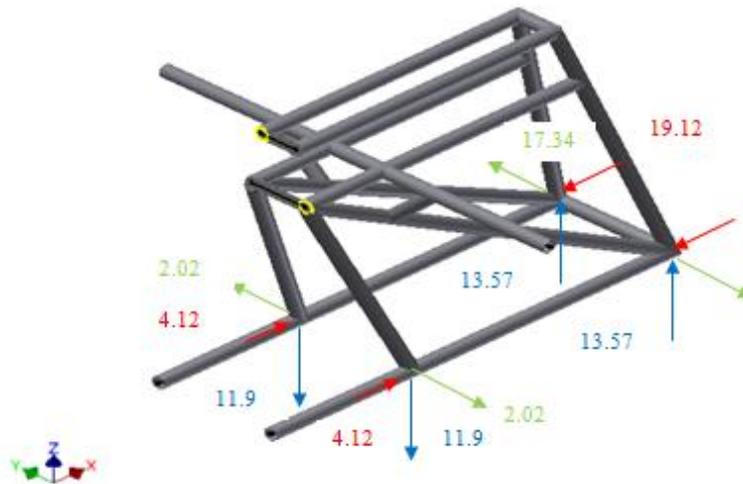


Fig. 2.159.- Esquema de las fuerzas aplicadas en la estación de llegada

2.1.3.4.11.2.- Esquema de momentos

En la fig. 2.160 se muestra el diagrama de momentos presentes en cada uno de los empotramientos de la estructura.

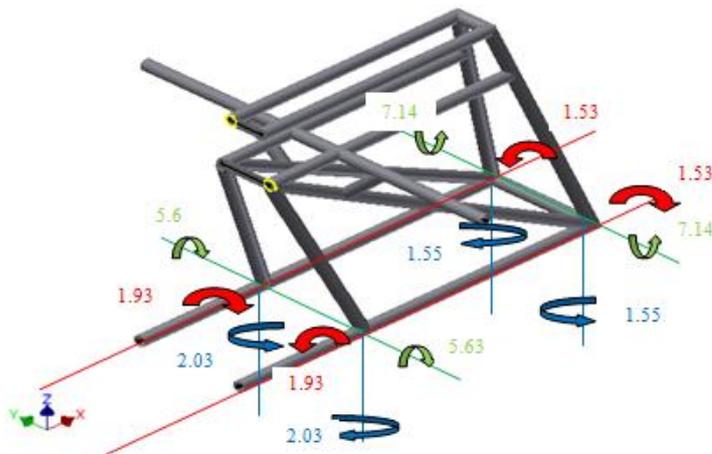


Fig. 2.160.- Momentos aplicados en la estación de llegada

Se considera que el efecto predominante, para el análisis de esta estructura corresponde a la flexión el cual se calculará con la ec. 2.123, reemplazando σ_{max} por σ_{equ} y se tomará el material de características de la tabla 2.52 y con estos datos se calculará el factor de seguridad.

Nombre:	Acero estructural	
General	Densidad	7,860 $\frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$
	Esfuerzo de Fluencia	36000 psi
	Esfuerzo de rotura	50035,695 psi
Stress	Modulo de Young	220,000 GPa
	Coefficiente de Poisson	0,275 ul
Propiedades Térmicas	Coefficiente de expansión térmica	0,0000120 ul/c
	Conductividad Térmica	56,000 W/(m K)
	Cp	0,460 J/(kg K)

Tabla 2.52.- Propiedades del acero estructural

$$\eta_s = \frac{36000 \text{ psi}}{6606,02 \text{ psi}} = 5.44$$

Con el factor de seguridad calculado, para la estructura de la estación de salida mantendrá las condiciones de seguridad inicialmente planteadas.

La carga de sismo analizada y determinada en el análisis anterior, no altera la condición de trabajo del sistema estructural, generando condiciones menores a la considerada inicialmente mediante la carga de seguridad, y asegurando que no fallará.

CAPITULO III

3.- SIMULACIÓN

3.1.- CONCEPTOS GENERALES

3.1.1.- Definición de simulación²⁸

Algunas de las definiciones más aceptadas y difundidas de la palabra simulación son:

- Según Thomas H. Taylor “Simulación es la técnica numérica para conducir experimentos en una computadora digital. Estos experimentos comprenden ciertos tipos de relaciones matemáticas y lógicas, las cuales son necesarias para describir el comportamiento y la estructura de sistemas complejos del mundo real a través de largos periodos de tiempo”
- Para Robert E. Shannon “Simulación es el proceso de diseñar y desarrollar un modelo computarizado de un sistema o proceso y conducir experimentos con este modelo con el propósito de entender el comportamiento del sistema o evaluar varias estrategias con las cuales se puede operar el sistema”

3.1.2.-Software que se utilizarán para el diseño y simulación del teleférico

Los software que se utilizarán para simular el teleférico son los que se enlistan a continuación, para posterior definir cada uno de ellos así:

1.-Autodesk Autocad

2.- Autodesk Inventor

3.- MD SOLID

4.- SAP 2000

²⁸ COSS RAUL. 2003. *Simulación un enfoque práctico*, Limusa S.A.. Grupo Noriega Ed. Mexico. p 11, 17

3.1.2.1.- Definición de Autodesk Autocad

La palabra Autocad es compuesta por la marca que desarrollo el producto (autodesk) y las siglas cad que significan: computer aided desing (diseño asistido por computadora).

3.1.2.2.- Conceptos básicos

3.1.2.2.1.- Diseño asistido por computadora

El diseño asistido por computadora (CAD) permitirá al diseñador conceptualizar los objetos con más facilidad y sin necesidad de hacer ilustraciones modelos o prototipos costosos. Actualmente, los sistemas CAD son capaces de analizar rápidamente diseños completos, desde una simple ménsula hasta grandes estructuras complejas y su posterior simulación.

3.1.2.2.2.- La ingeniería asistida por computadora permite modificaciones futuras

En la actualidad, mediante el uso de ingeniería asistida por computadora es posible simular, analizar y probar con más eficiencia, precisión y rapidez, el desempeño de las estructuras sujetas a la estática o cargas dinámicas. La información obtenida puede almacenarse, recuperarse, desplegarse, imprimirse y transferirse a cualquier parte de la organización. El diseño puede optimizarse y modificarse fácil en cualquier momento (ver fig. 3.1)

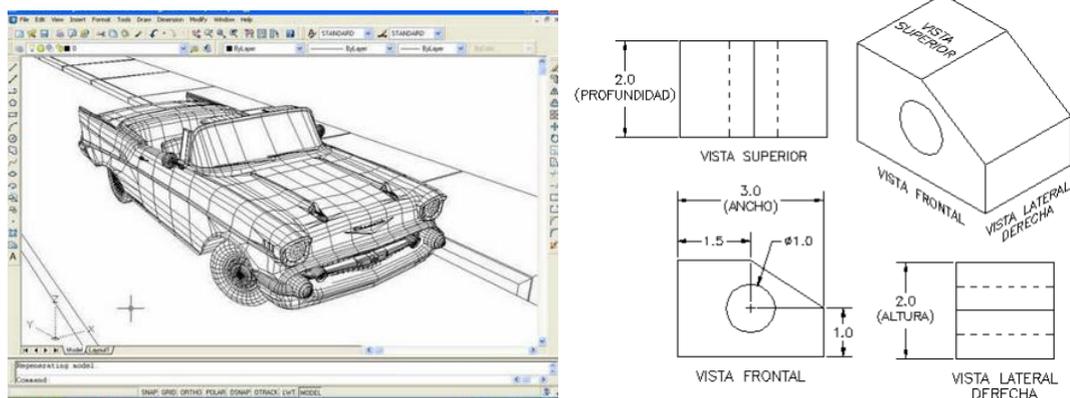


Fig. 3.1.- Ejemplo de graficas en Autocad

3.1.2.3.- Definición de Autodesk Inventor²⁹

El software Autodesk Inventor es un sistema de diseño mecánico en entorno 3D, construido con tecnología adaptativa y sólida capacidad de modelado.

Proporciona todas las herramientas necesarias para ejecutar proyectos de diseño, desde el primer boceto hasta el dibujo final (ver fig. 3.2)

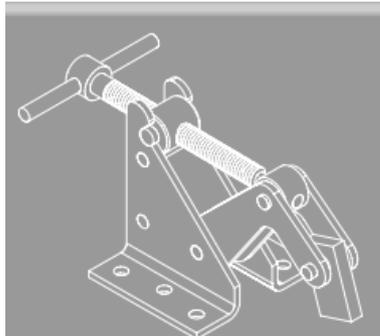


Fig. 3.2.- Modelación en Inventor

3.1.2.3.1.- Las normas de Autodesk Inventor son las mismas que las de Microsoft Windows.

Los elementos de la interfaz de usuario de Autodesk Inventor son comunes a la mayoría de las aplicaciones basadas en Windows.

En la interfaz que usara Autodesk Inventor hay dos elementos principales:

- Ventana de la aplicación.- Se muestra al abrir Autodesk Inventor.
- Ventana gráfica.- Se muestra al abrir un archivo.

Cuando hay abiertos varios archivos, la ventana gráfica en la que está trabajando se denomina ventana activa.

En la fig. 3.3 se muestra la ventana de aplicación con una plantilla de archivo que aparecerá en la ventana gráfica.

²⁹ AUTODESK. 2001. *Manual Autodesk Inventor 5*. p 10

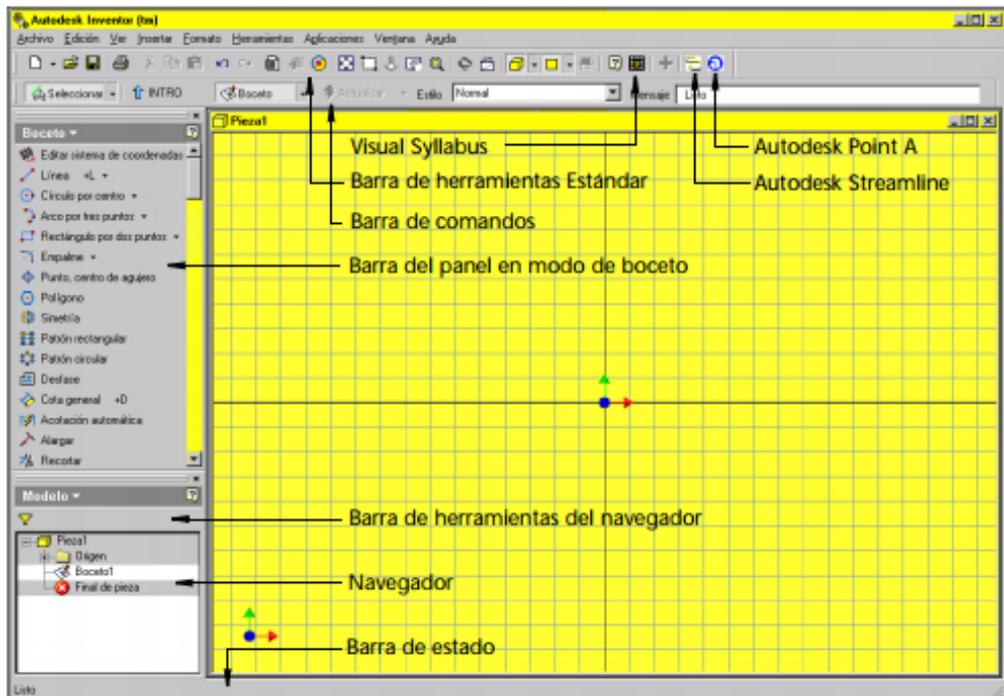


Fig. 3.3.- Esquema de la pantalla principal Autodesk Inventor

3.1.2.4.- MDSOLIDS³⁰

MDSolids es un software educativo y básico para analizar características mecánicas de materiales, vigas simples, centroides de gravedad, determinar diagramas cortantes y momentos flectores, etc.

3.1.2.4.1.-Versatilidad

En el software MDSolids se tendrá rutinas relacionadas con los temas que se analizarán en la ciencia de materiales. En doce módulos se estudiará una amplia gama de problemas comunes como: la presión y la tensión básica, problemas axiales, estructuras estáticamente indeterminadas, torsión, vigas determinadas, recipientes a presión, y las transformaciones del círculo de Mohr (ver fig. 3.4)

³⁰ <http://www.mdsolids.com/>

3.1.2.4.2.-Facilidad de entrada.

Esta facilidad de entrada es un aspecto esencial en MDSolids, la solución de problemas de la mecánica de materiales es útil, a lo largo de MDSolids, las entradas de gráficos orientarán al usuario en la introducción de datos determinados previamente (ver fig. 3.5)



Fig. 3.4.- Ejemplo de una viga

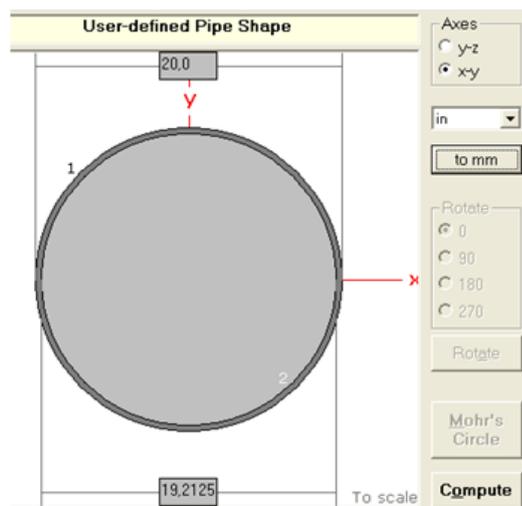


Fig. 3.5.- Ejemplo del diagrama en un círculo de Mohr

3.1.2.4.3.- Otros campos de visualización en MDSOLIDS

Son las herramientas que se aplicarán para temas tales como:

- Diagramas de fuerza cortante y momento de flexión
- Propiedades de secciones (centroides, momento de inercia, etc)
- Ecuaciones de transformación de presión
- Transformación de presión en el círculo en el Mohr.

- Propiedades de las inercias de figuras básicas y compuestas.

Con MDsolids se determinará las cargas pequeñas para verificará el diseño de cada elemento que conforma el teleférico.

3.1.2.5.- SAP 2000³¹

Desde su ambiente basado en el modelaje grafico de objetos en 3D hasta la amplia variedad de opciones de análisis y diseño completamente integradas a través de una poderosa interface de usuario, SAP 2000 ha probado ser el software de propósitos generales estructurales más integrado y productivo en el mercado actual.

Esta interface le permite crear modelos estructurales rápidamente y de forma intuitiva sin aprendizaje de las curvas como se muestra en la fig. 3.6.

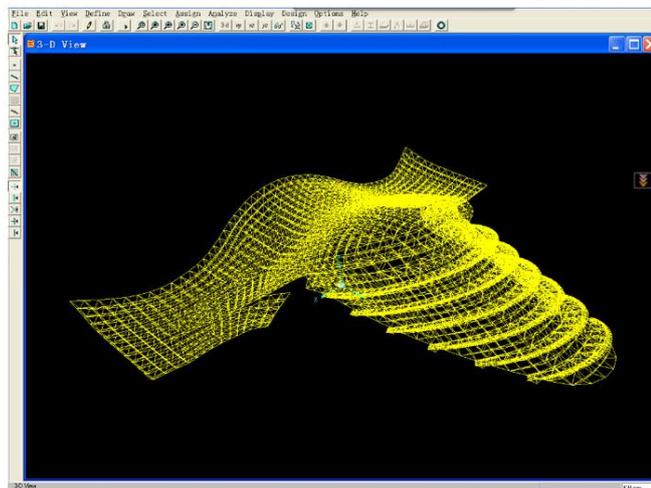


Fig. 3.6.- Ejemplo de una visualización en el SAP2000

3.2.- SISTEMAS DE SIMULACIÓN³²

Un sistema es una colección de entidades (seres o máquinas) que actúan y se relacionan hacia un fin lógico (ver fig. 3.7).

³¹ http://www.software-shop.com/in.php?mod=ver_producto&prdID=280

³² FIUBA. 2005. *Sistema, modelos y simulación*. Universidad Buenos Aires. Argentina. Articulo No. 75.26. p. 8

3.2.1.- Clasificación de los modelos

Un modelo es una representación simplificada de un sistema elaborada para comprender, predecir y controlar el comportamiento de dicho sistema.

La representación de modelos puede adoptar distintas formas:

- **Dinámicos:** Utilizados para representar sistemas cuyo estado varía con el tiempo.
- **Estáticos:** Utilizados para representar sistemas cuyo estado es invariable a través del tiempo.
- **Matemáticos:** Representan la realidad en forma abstracta de muy diversas maneras.
- **Físicos:** Son aquellos que la realidad es representada por algo tangible, construido en escala o que por lo menos se comporta en forma análoga a esa realidad (maquetas, prototipos, modelos analógicos, etc.).
- **Continuos:** Representan sistemas cuyos cambios de estado son graduales. Las variables que intervienen son continuas.
- **Discretos:** Las variables varían en forma discontinua.

Un estado del sistema es el conjunto de variables necesarias para describir este en un instante concreto

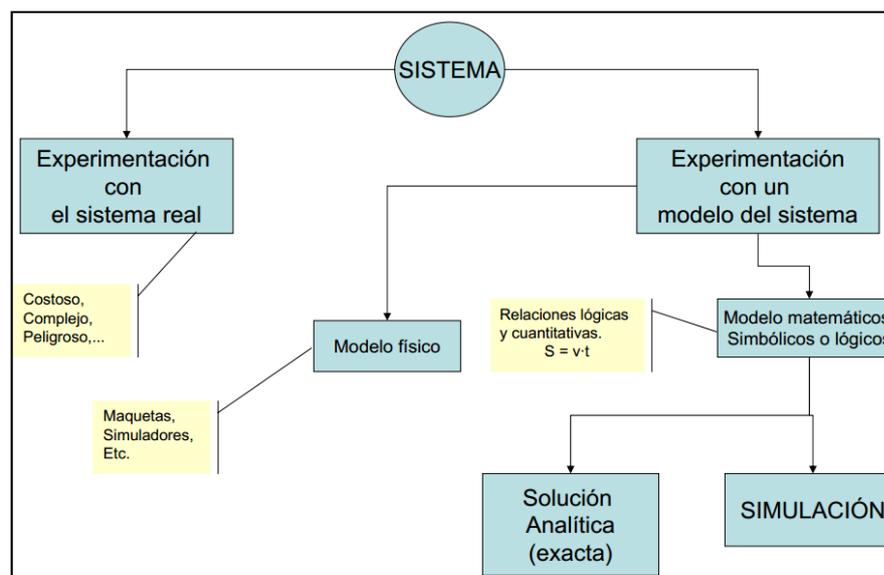


Fig. 3.7.- Formas de estudio

3.4.- CARACTERÍSTICAS DE LOS SIMULADORES

Las características de los simuladores son independientes para cada software pero se podrá describir en forma general los más comunes:

- El software deberá facilitar el diseño de mecanismos mecánicos como engranajes, transmisiones por correa o cadena y ruedas de fricción.
- Las piezas se deberán disponerse sobre una zona de trabajo. Diversas piezas pueden situarse en un mismo eje, abarcando así una tercera dimensión. Las vistas esquema, detalle, perfil y 3D permitirán una cómoda visualización de diferentes aspectos del mecanismo.
- Los textos e imágenes deberán imprimirse o exportarse a otras aplicaciones para su posterior modificación. También deberán incluirse en documentos creados por el usuario.
- La simulación deberá mostrar el funcionamiento del mecanismo, con el detalle del movimiento de las piezas.
- Se debe tener opciones de configuración para el uso personalizado de un software de simulación.

3.5.- VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LA SIMULACIÓN³³

Aunque la técnica de simulación generalmente se ve como un método de último recurso, recientes avances en las metodologías de simulación y gran disponibilidad de software que existen en el mercado, han hecho que la técnica de simulación sea la herramienta más usada en el análisis de sistemas.

Además de las razones antes mencionadas, en el estudio de la simulación presentará las siguientes ventajas:

- A través de un estudio de simulación, se determinará el efecto de cambios internos y externos del sistema y observando los efectos de esas alteraciones en el comportamiento del sistema.

³³ COSS RAUL. 2003. *Simulación un enfoque practico*, Limusa S.A. Grupo Noriega Ed. Mexico. p 17

- Una observación detallada del sistema que se simulará puede conducir a un mejor entendimiento de éste y por consiguiente a sugerir estrategias que mejoren la operación y eficiencia del sistema.
- La simulación de sistemas complejos ayudará a entender mejor la operación del sistema, a detectar las variables más importantes que interactúan en el sistema y a entender mejor las interrelaciones entre estas variables.
- La técnica de simulación se usará para experimentar nuevas situaciones, sobre las cuales se tiene poco o ninguna información. A través de esta experimentación se anticipará mejor a posibles resultados imprevistos
- Cuando nuevos elementos son introducidos en un sistema, la simulación se usará para anticipar cuellos de botella o algún otro problema que puede surgir en el comportamiento del sistema.

A diferencia de las ventajas anteriores, la técnica de simulación requerirá un equipo computacional costoso. Además generalmente se requiere bastante tiempo para que un modelo de simulación sea desarrollado y perfeccionado, también se podrá mencionar otras desventajas así:

- La simulación es imprecisa, y no se puede medir el grado de su imprecisión.
- Se requiere gran cantidad de corridas computacionales para encontrar soluciones, lo cual representará altos costos.
- Los modelos de simulación no dan soluciones óptimas.
- La solución de un modelo de simulación puede dar al análisis, con un falso sentido de seguridad.
- Requiere largos periodos de desarrollo.

3.5.- VISUALIZACIÓN Y SIMULACIÓN DEL TELEFÉRICO

Para la visualización del teleférico se lo realizará en los programas antes enumerados y con ayuda de estos se obtiene el resultado final como se observa en la fig. 3.8:

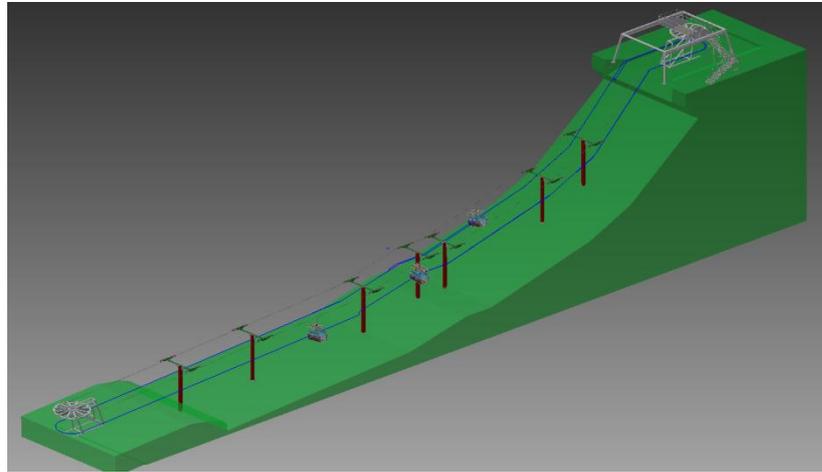


Fig. 3.8- Formas del terreno y tendido de cable

3.5.1.-Autodesk Autocad.

Este software ayudará para realizar los planos de conjunto y despiece de todo el teleférico los cuales se verificara en los anexos planos de la presente tesis.

3.5.2.- Autodesk Inventor

3.5.2.1- Pasos para la modelación con Autodesk Inventor

Los pasos básicos para modelar los componentes del teleférico son:

- 1.- Se realizará en el sketch x-y con las medidas determinadas según modelo en planos, los cuales servirá para elaborar la estructura de la estación de salida, y luego finalizar con el comando finish sketch y para luego presentar el aspecto según se muestra en la fig. 3.9

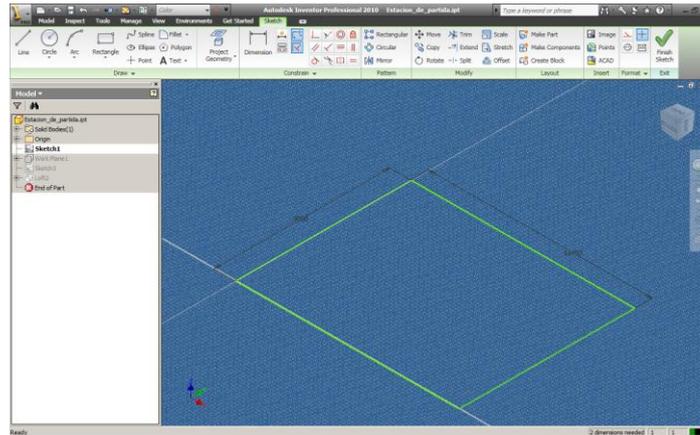


Fig. 3.9- Esquema sketch

2.- Se elaborará un sólido con el comando part.ipt para la construcción de la estructura de la estación de salida de la forma indicada en el bosquejo. Como se muestra en la fig. 3.9

3.- De una forma similar se elaborará un nuevo sketch x-y pero desplazado con una distancia determinada, y se lo realiza de la siguiente manera:

- Con el comando plane y con el origen x-y se desplazará el plano a la altura necesaria (ver fig. 3.11)

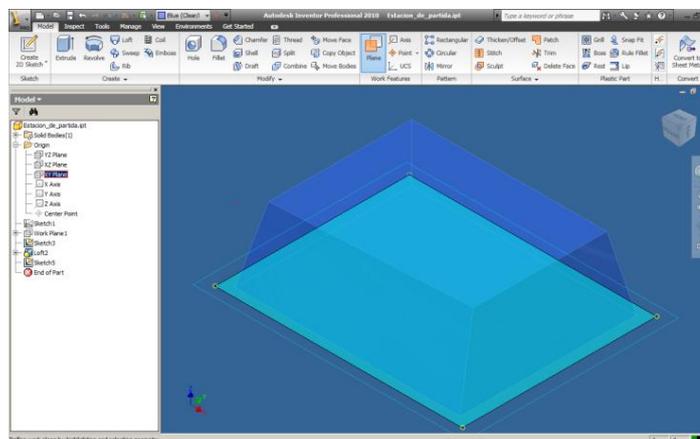


Fig. 3.10- Esquema plane

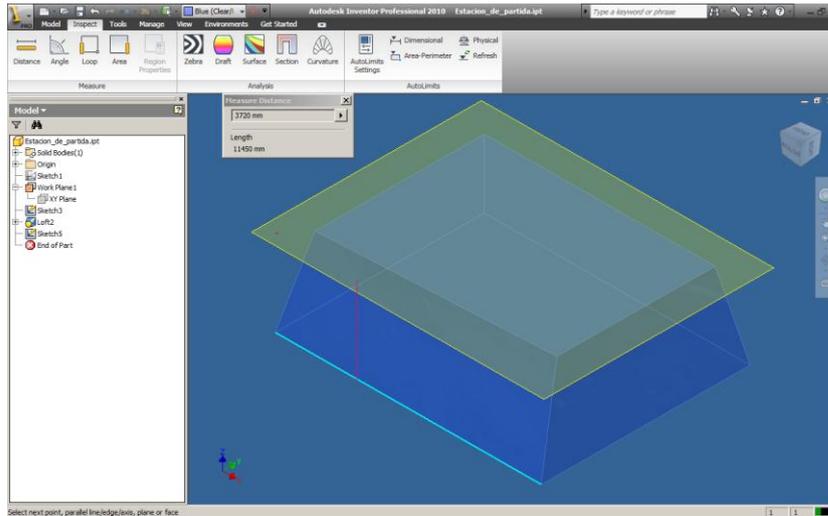


Fig. 3.11- Esquema losft superior

- Seleccionando la parte inferior y después la superior se conseguirá la forma deseada la cual guardará como Estacion_de_partida.ipt (ver figs. 3.12 y 3.13).

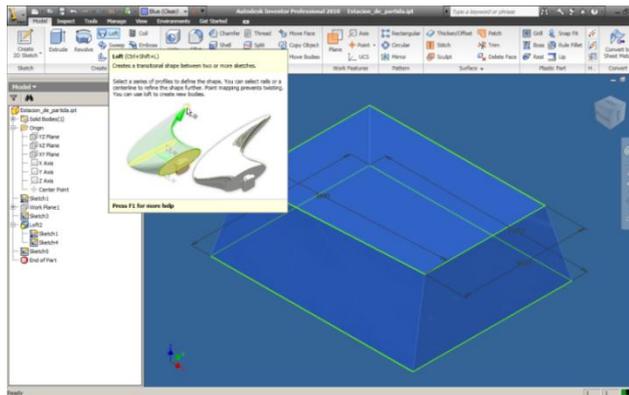


Fig. 3.12- Esquema losft inferior

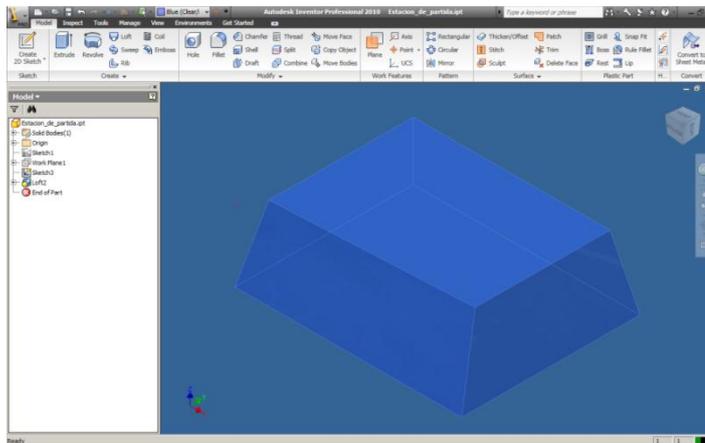


Fig. 3.13- Esquema solid

- Se realizara un nuevo archivo de ensamble para elaborar la estructura de solido (ver Fig. 3.14)

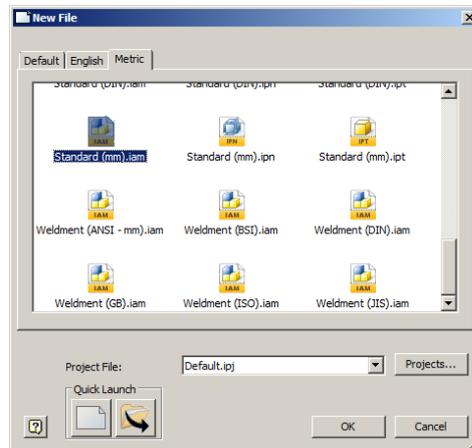


Fig. 3.14- Ventana de grabación

- En el módulo de diseño se elaborará la estructura con el comando insert frame y se seleccionará el perfil de 10 pulg de diámetro por ½ in de espesor (ver Fig. 3.15).

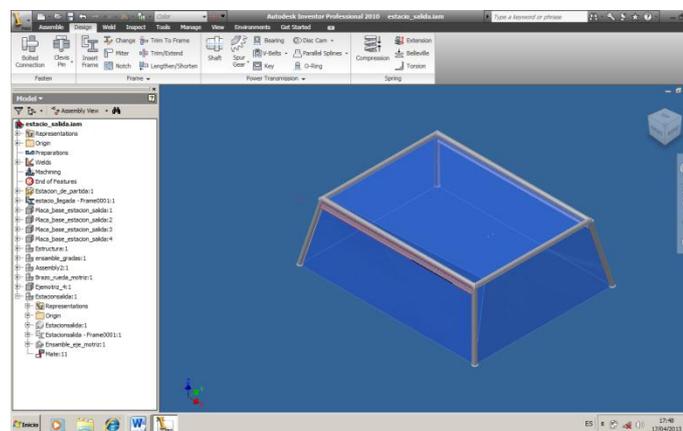


Fig. 3.15- insert frame

- Con el nombre de estación de salida se guardará el archivo
- Para aumentar otros elementos como el carro móvil, placas base de la estructura, etc. Se realizará con el comando constraint como se muestra en la fig. 3.16.

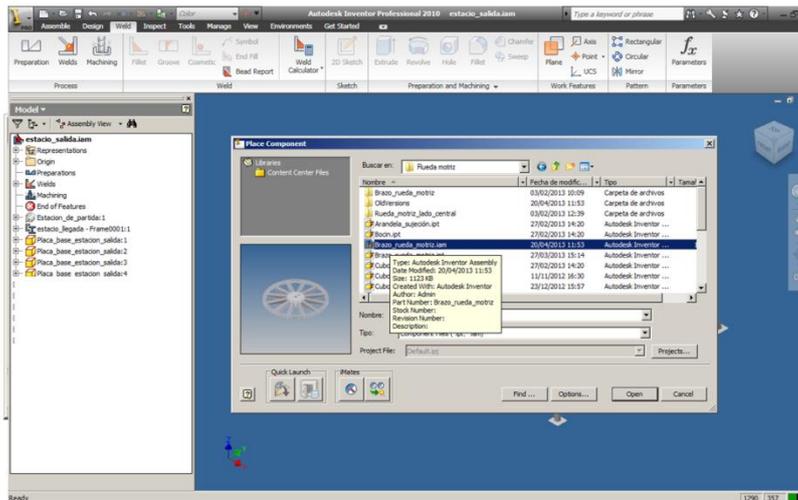


Fig. 3.16- Esquema constraint.

- Con el comando constraint además se puede colocar en la posición final los elementos que conforman la estación de salida del teleférico como se muestra en la fig. 3.17.

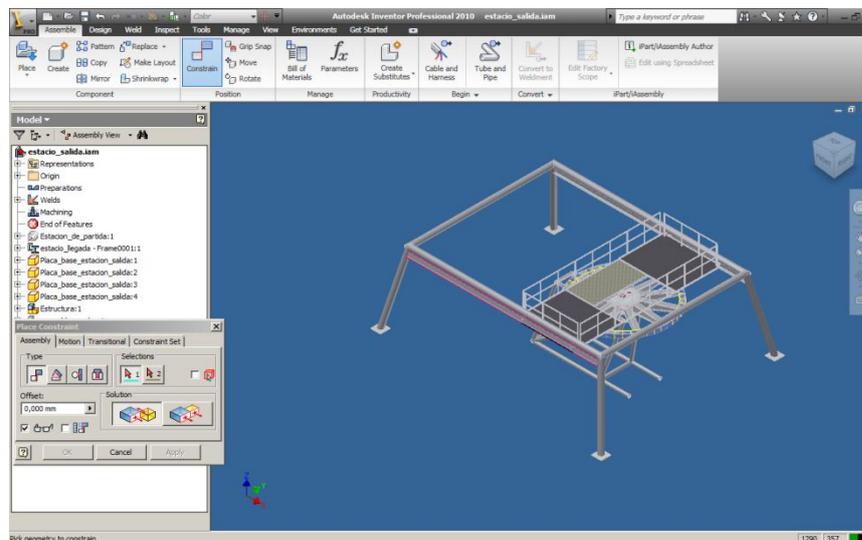


Fig. 3.17- Esquema de la estación de llegada

- La geometría final de la estación de salida presentará la siguiente forma la cual se detallará en los anexos PLANOS en el documento teórico (ver fig. 3.18).

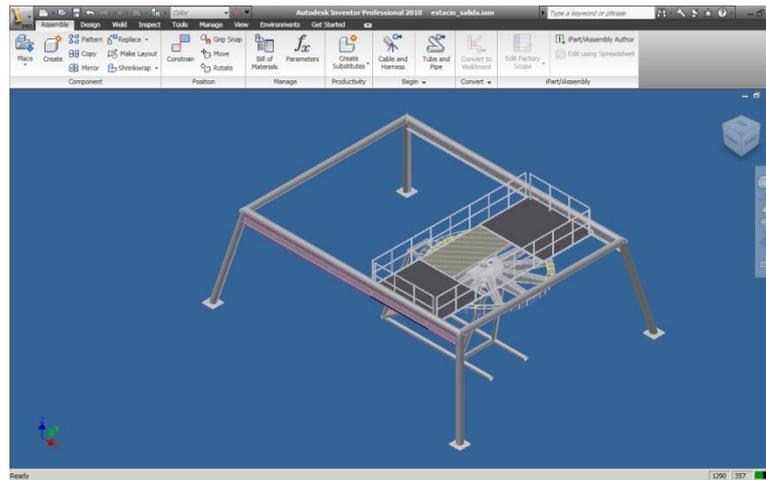


Fig. 3.18- Esquema de la estación de llegada final

3.3.2.2.- Construcción de torre.

Para la construcción de las torres se realizará un procedimiento parecido el anterior pero con las siguientes modificaciones (ver fig. 3.19).

- Se elaborará un círculo con las medidas determinadas según los anexos planos, con el diámetro exterior de la torre se grafica otro círculo concéntrico con un diámetro menor, al círculo original mediante el comando extrude se determinará la altura (ver figs. 3.19 y 3.20)

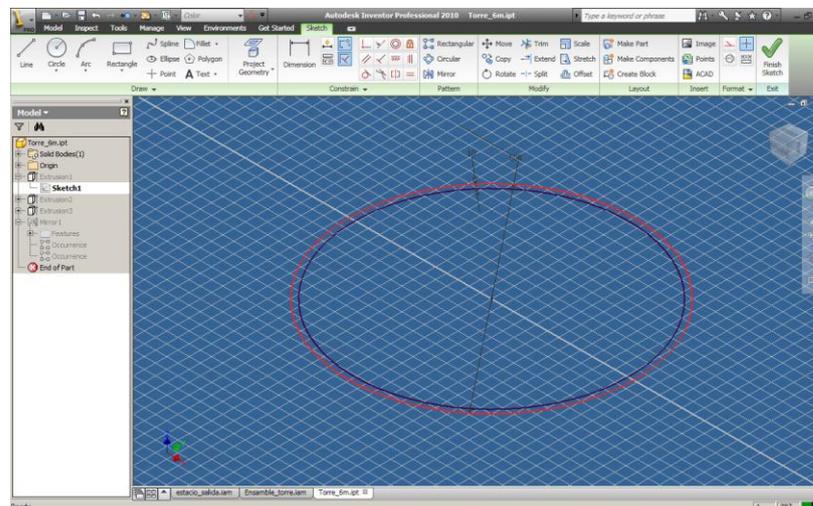


Fig. 3.19.- Esquema sketch de tubería

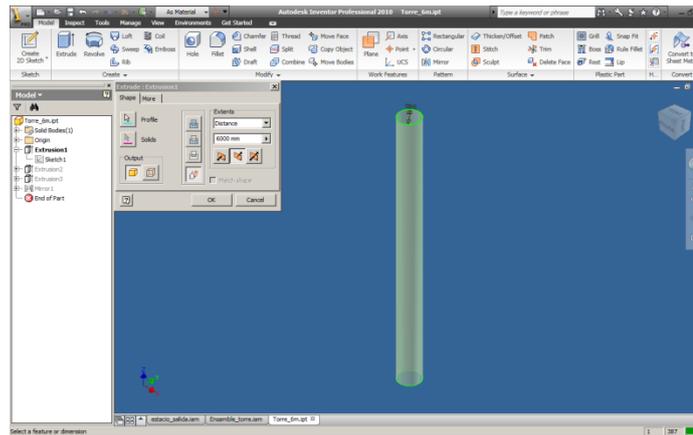


Fig. 3.20.- Esquema de extrude de tubería

- En la torre con la altura ya determinada se elaborará el atizador, que está formado por un cartagon y dos ménsulas, ya que estos soportarán la carga de la tubería superior donde se colocará el tren de poleas y por ende el cable (ver figs. 3.21 y 3.22)

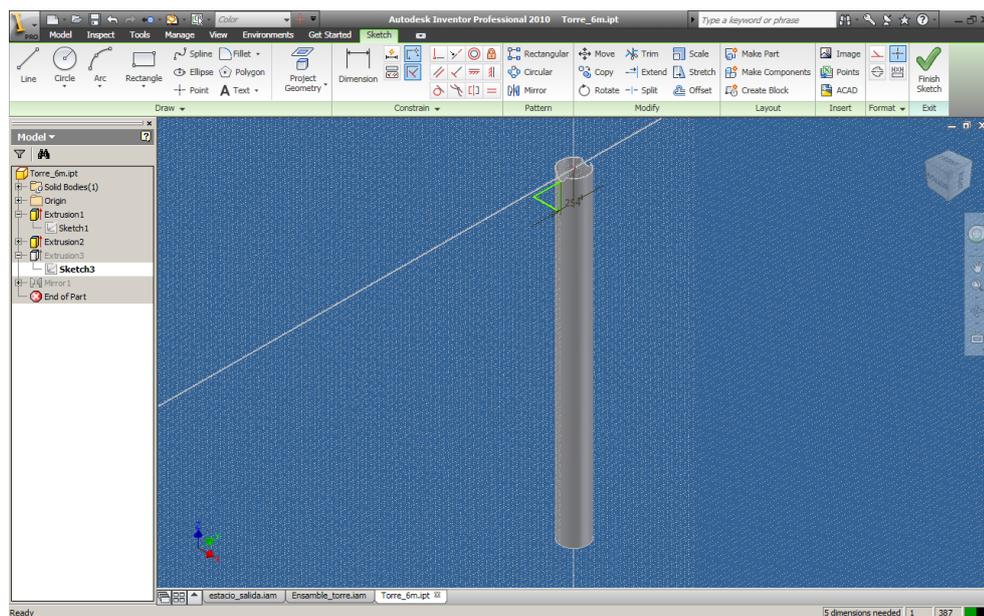


Fig. 3.21.- Esquema de la base ménsula

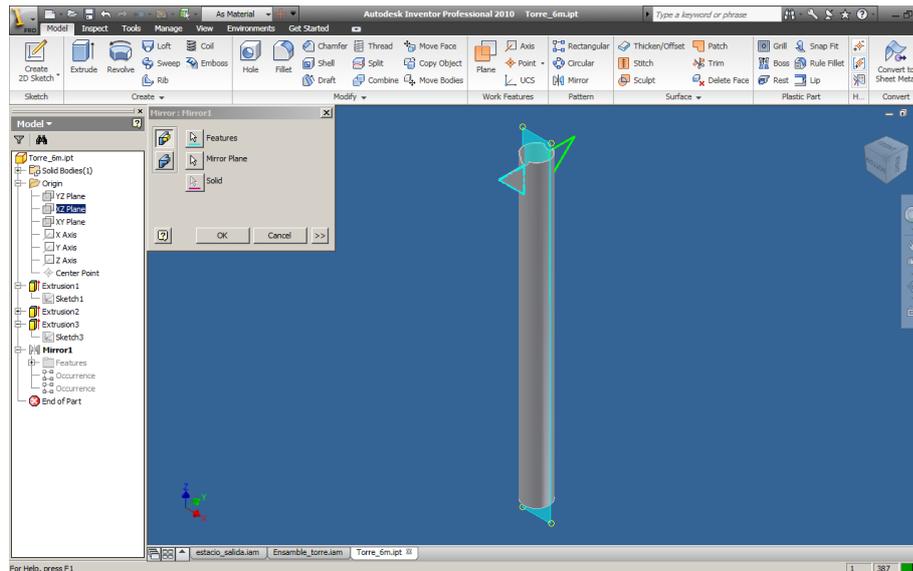


Fig. 3.22.- Esquema de la ménsula

- Para finalizar con la elaboración de la torre se realizará un vaciado en la parte superior la cual nos ayudará para el apoyo del atizador, en los anexos planos de conjuntos se puede apreciar en detalle lo descrito. Con estos pasos se terminará con la elaboración de la torre, su apariencia es la se muestra en la fig. 3.23. Para cambiar sus propiedades se colocará sobre el bosquejo y con un click derecho en el elemento y se escogerá el color, el material, la apariencia, etc., como se puede verificar en las figs. 3.23 y 3.24.

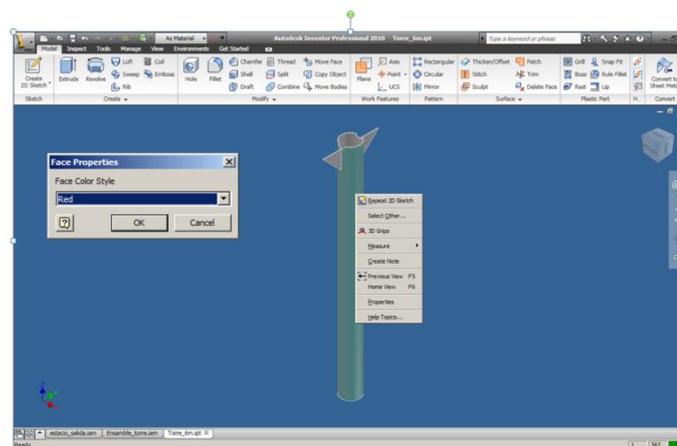


Fig. 3.23.- Esquema de la ménsula

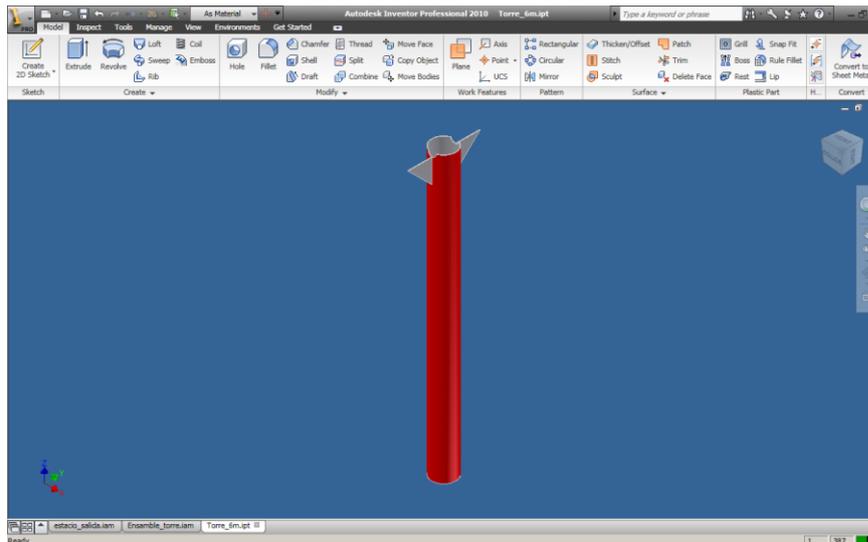


Fig. 3.24.- Esquema de la torre completa

- Para concluir se deberá montar el ensamble de todos los elementos que conforman la torre son: atieizador, parante, tren de poleas, tornillos de sujeción, etc. Ver fig. 3.25

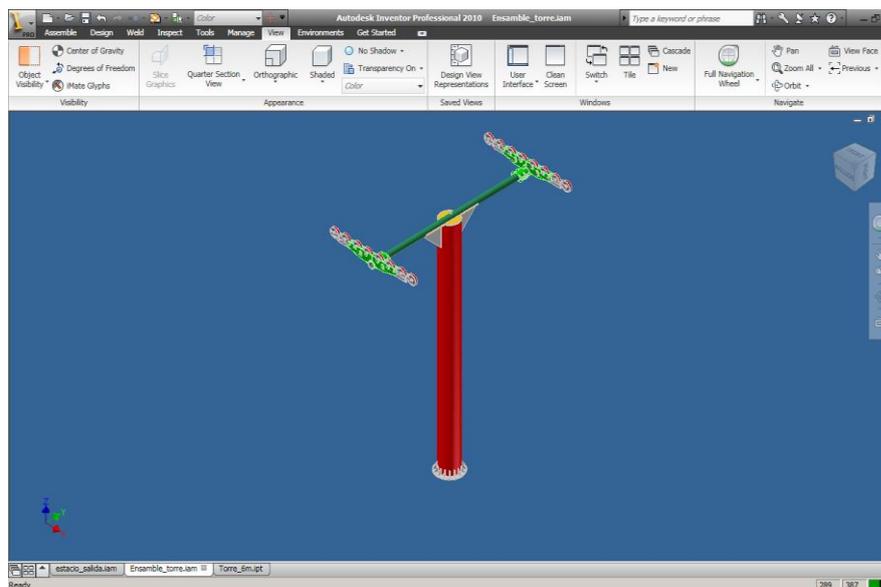


Fig. 3.25.- Esquema de la torre armada con tren de poleas.

Para el modelaje del resto de elementos que conforman el teleférico es realizará de forma similar con los pasos detallados anteriormente.

3.5.3.- Análisis de cargas

Para el análisis de cargas se utilizará el software SAP 2000 así:

3.5.3.1- SAP 2000

3.5.3.1.1.- Verificación carga para la cabina

Los pasos que se seguirá para determinar las cargas en las cabinas son las que se enlista a continuación:

- Elaborar una grilla con las dimensiones requeridas (ver fig. 3.32)

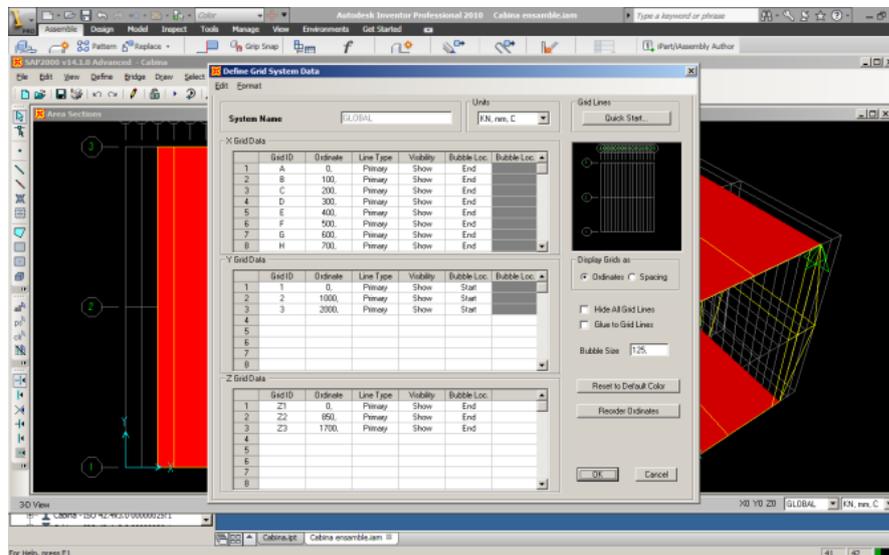


Fig. 3.32.- Esquema de grillas para la cabina.

- Como resultado la cabina se visualizará como se muestra en la fig. 3.33 y 3.34, en la cual se ubicará las restricciones de las cargas colocadas en las esquinas de las mismas

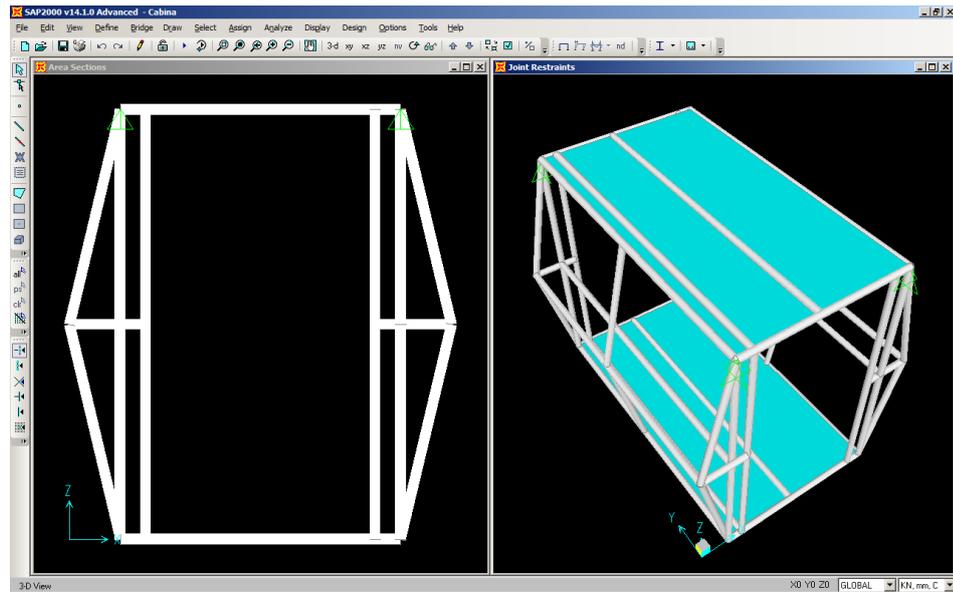


Fig. 3.33.- Esquema de la tubería cabina.

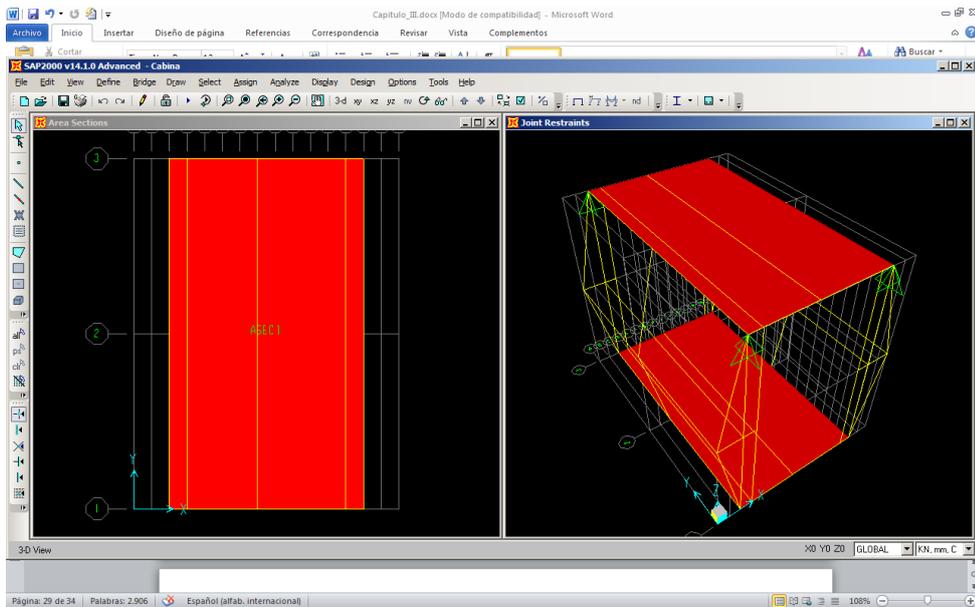


Fig. 3.34.- Esquema de la cabina.

- Se colocará cargas que soportará la cabina como: cargas muertas, la gravedad global producto del propio peso que va afectar todo el conjunto de elementos, etc., (ver fig. 3.35).

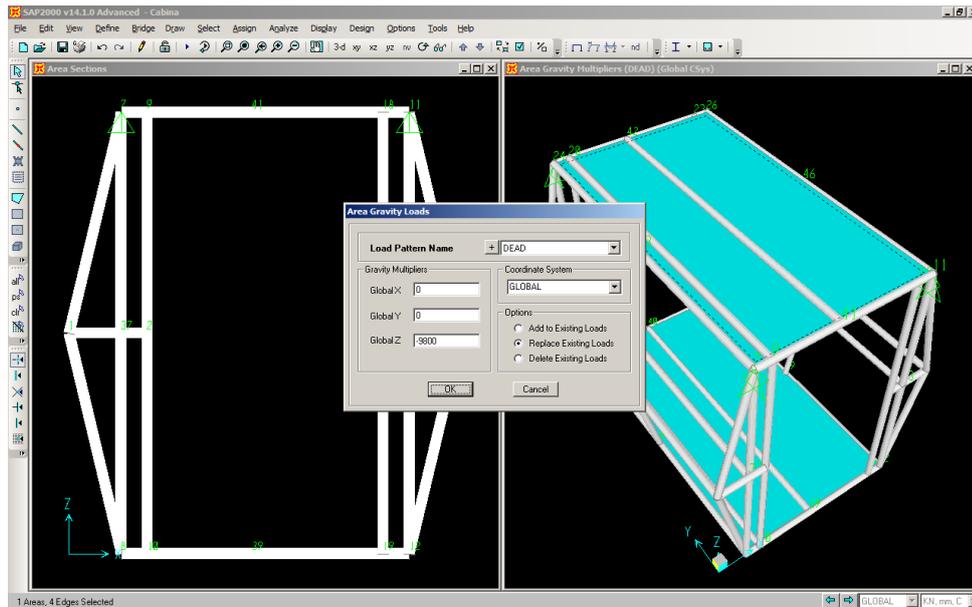


Fig. 3.35.- Determinación de las fuerzas en la cabina.

- También se aplicará la carga de 1110 kg, que corresponde a la cabina carga en su totalidad, así mismo se consideró la fuerza de la gravedad, ver figs. 3.36, 3.37 y 3.38

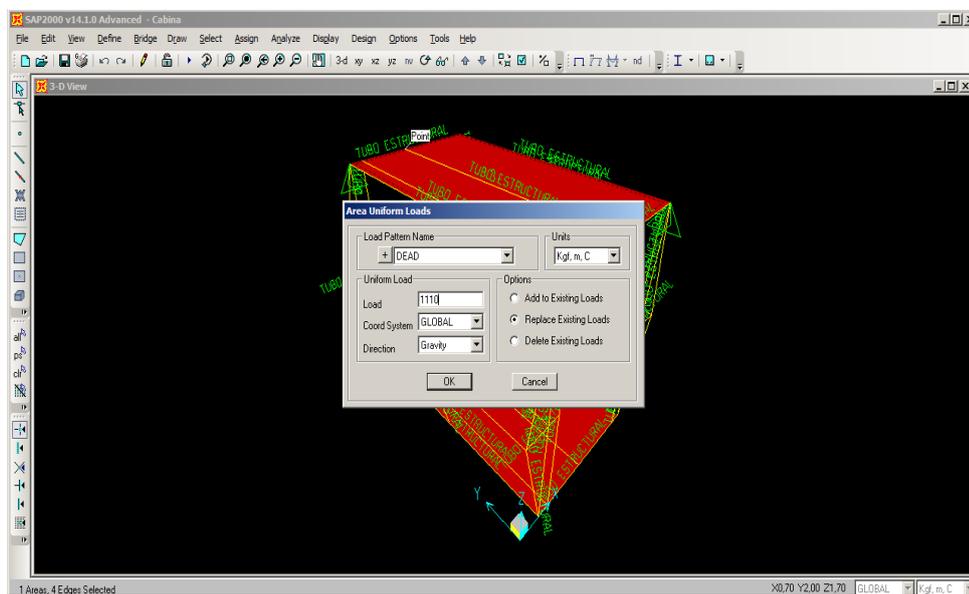


Fig. 3.36.- Determinación de las fuerzas en la cabina.

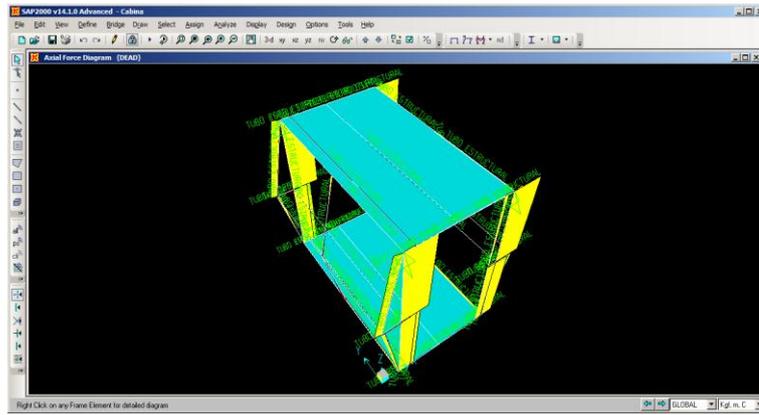


Fig. 3.37.- Determinación de los momentos en la cabina.

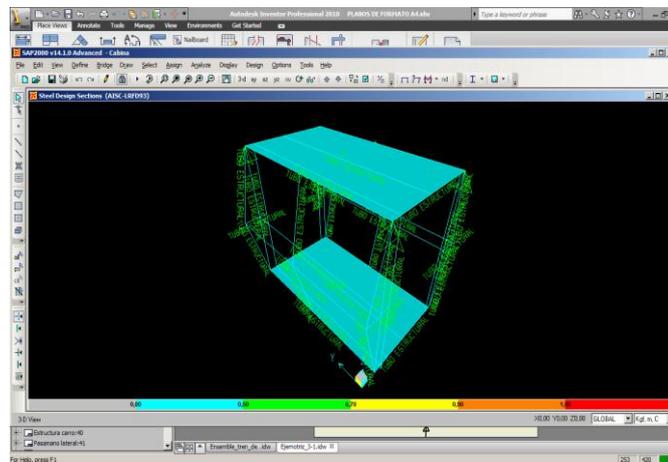


Fig. 3.38.- Verificación de las cargas en la cabina.

Para la simulación de las deflexiones en la estructura de las cabinas, se colocará en el modulo de simulación del software SAP 2000, y se obtiene lo que se muestra en la fig. 3.39

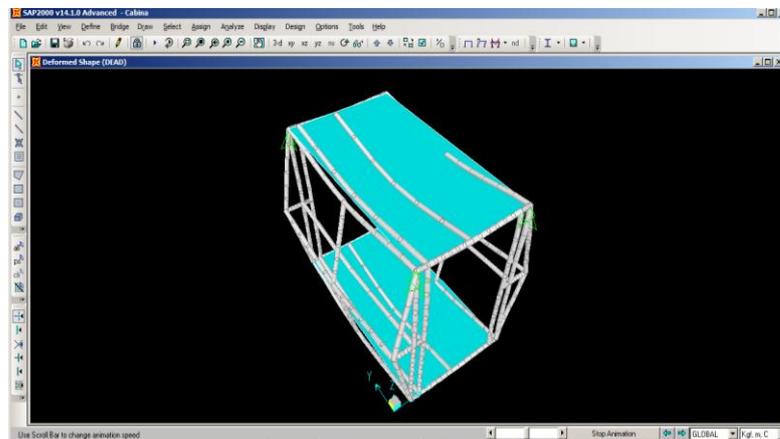


Fig. 3.39.- Simulación de las tuberías en la cabina.

3.5.3.1.2.- Análisis estructural de torre de 6 m con SAP 2000

Primero se realizará la grilla, con tres distancias de 2500 mm en eje x, en el eje y, en el eje z (ver figs. 3.40 y 3.41).

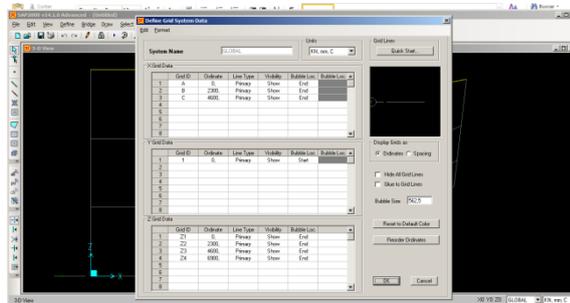


Fig. 3.40.- Esquema grilla de las torres.

- Con las grillas antes realizadas se procederá a la construcción de la torre con la forma que se muestra en las figs. 3.41 y 3.42, con las longitudes tomadas del anexo planos así:

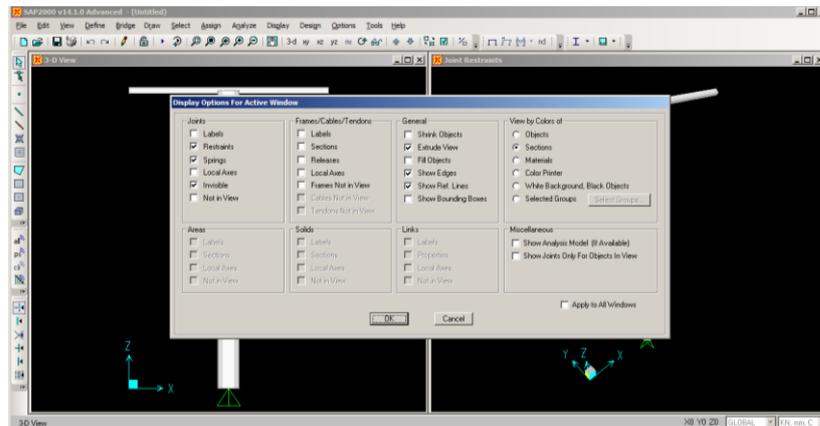


Fig. 3.41.- Visualización de la torre.

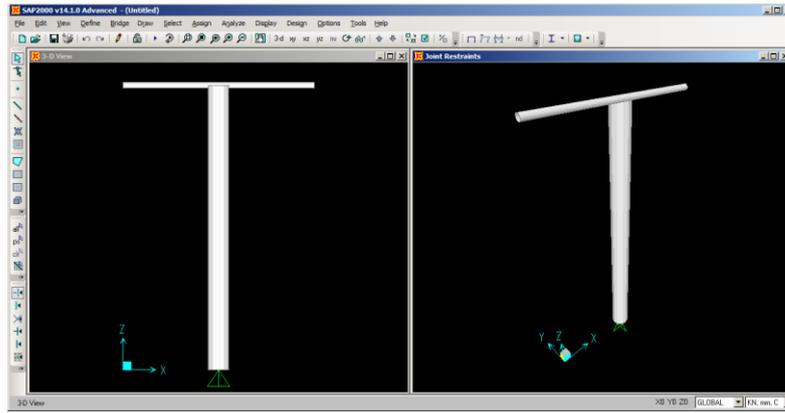


Fig. 3.42.- Esquema de la torre final.

- Se procede a determinar las cargas como se muestra en la fig. 3.43, 3.44 y se simulará sus magnitudes como se observa en la figs. 3.45, 3.46.

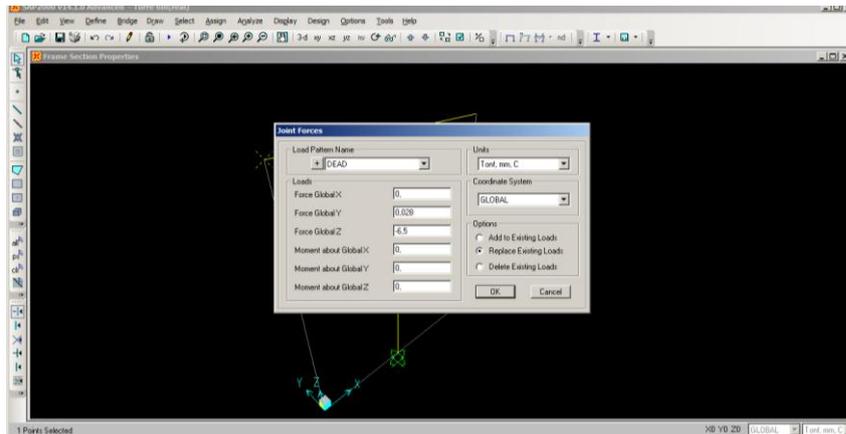


Fig. 3.43.- Determinación de la fuerza de la torre.

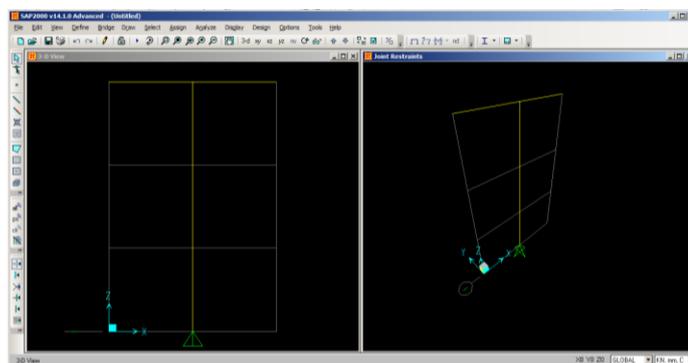


Fig. 3.44.- Esquema de la torre.

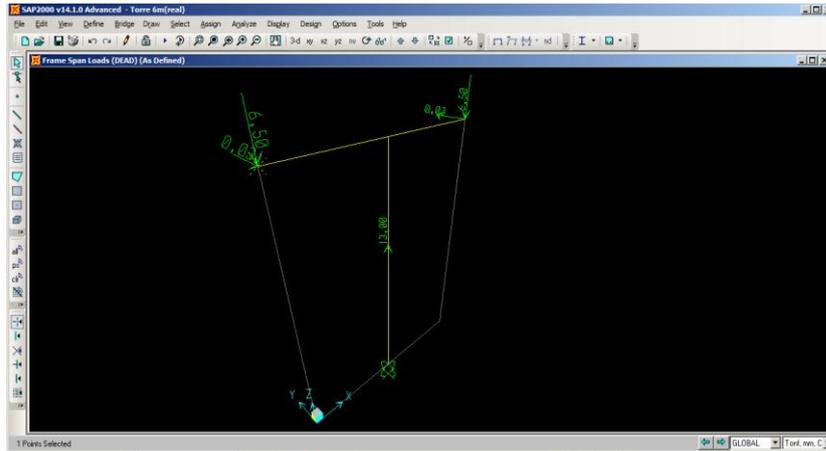


Fig. 3.45.- Esquema de la fuerza de la torre.

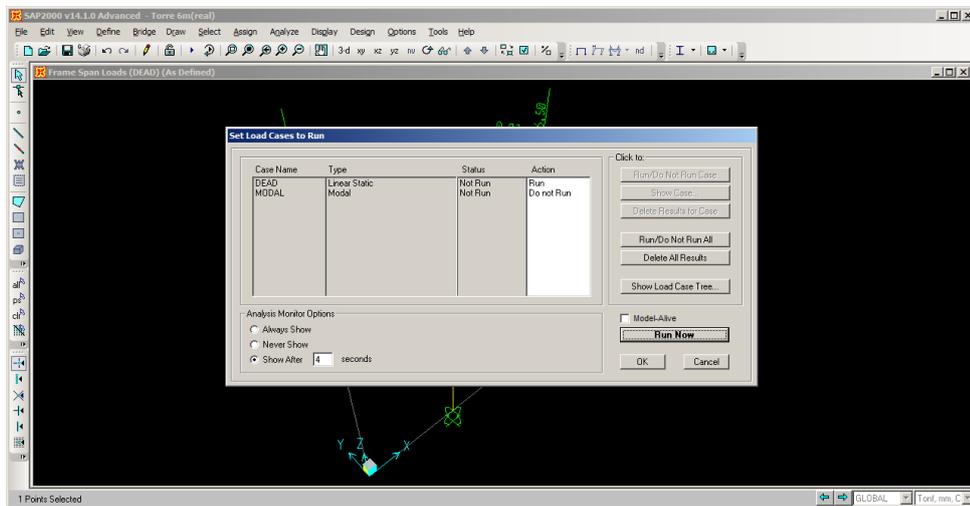


Fig. 3.46.- Simulación de la fuerza de la torre.

- La simulación de la torre de 6 m, con los momentos cortantes como se observa en las figs. 3.47 y 3.48 se determinará si fallara o no.

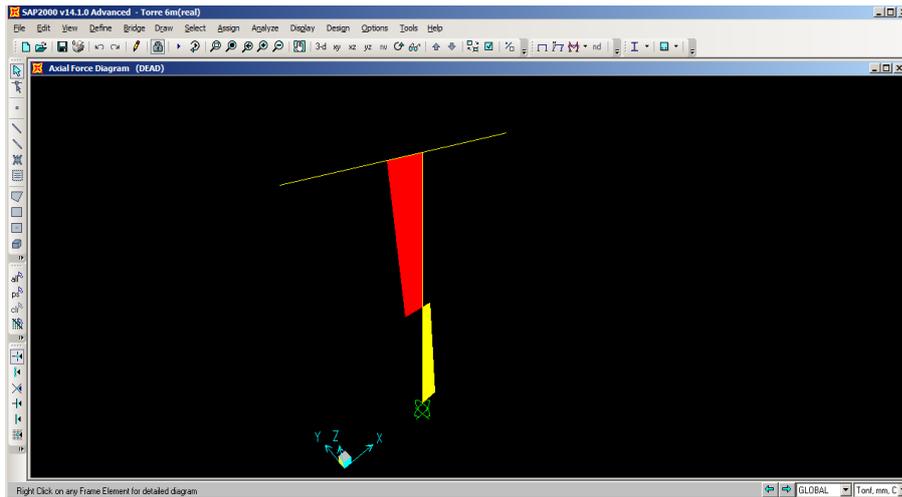


Fig. 3.47.- Simulación del diagrama de corte.

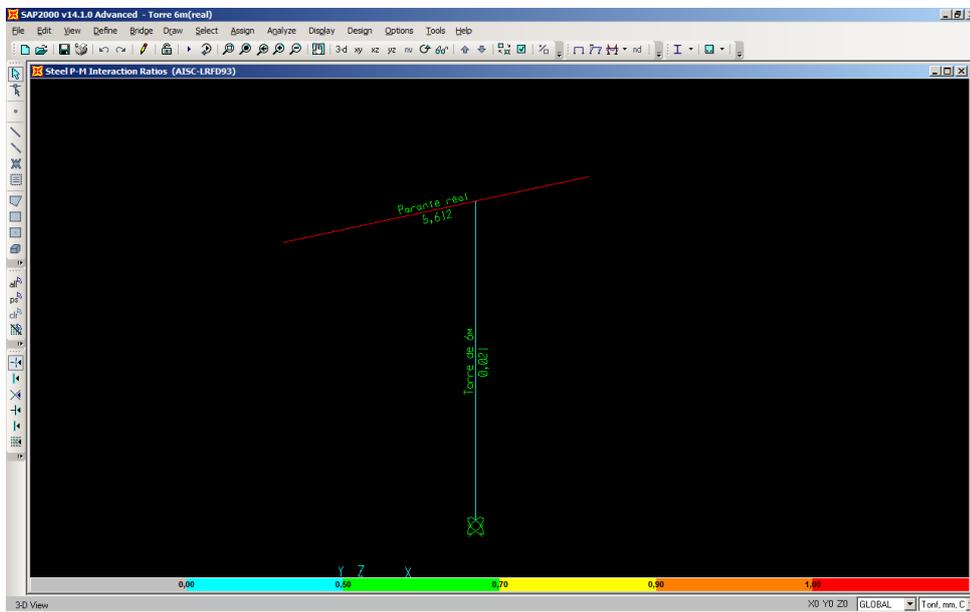


Fig. 3.48.- Determinación del factor de riesgos de la torres.

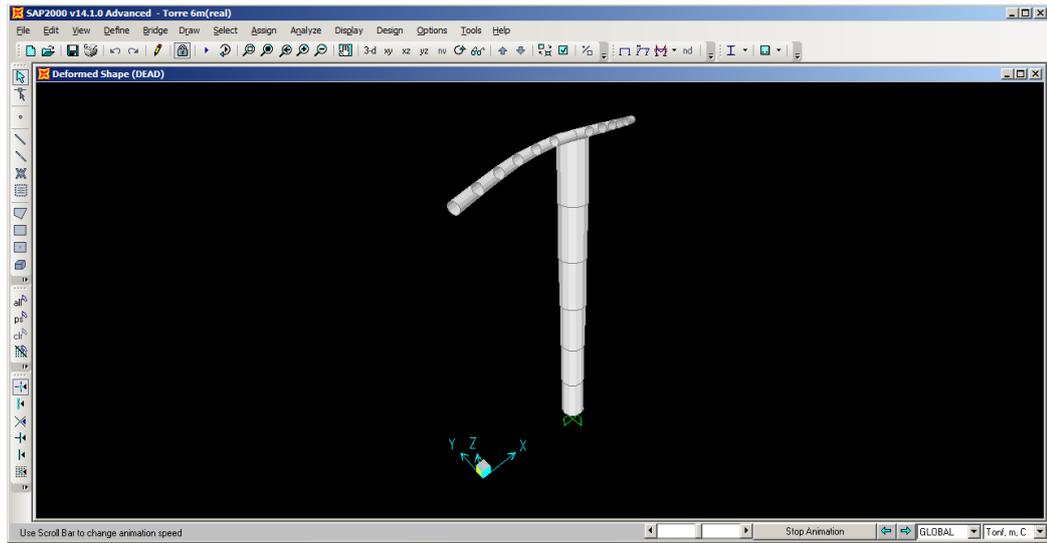


Fig. 3.49.- Visualización de las torres.

Como se determino en el diseño de la torre en el capítulo II esta fallará por sobrecarga, por lo cual se construye un atizador , y se colocará en la parte superior de la torre y aumentará el factor de seguridad a 1,02.

3.5.3.1.3.- Análisis estructural de estación de salida

Para analizar la carga en la estación de salida se realizará de forma similar con los pasos anteriormente descritos en el software SAP 2000 (ver fig. 3.50, 3.51 y 3.52)

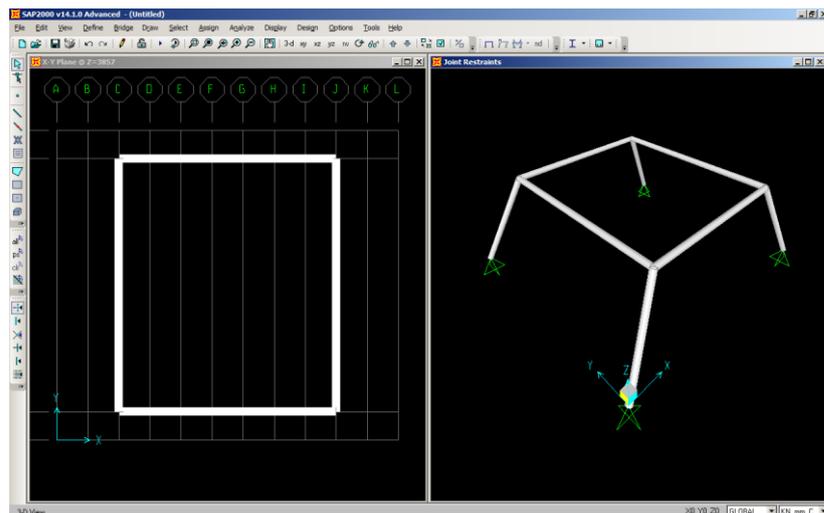


Fig. 3.50.- Visualización de las tuberías de la estación de llegada.

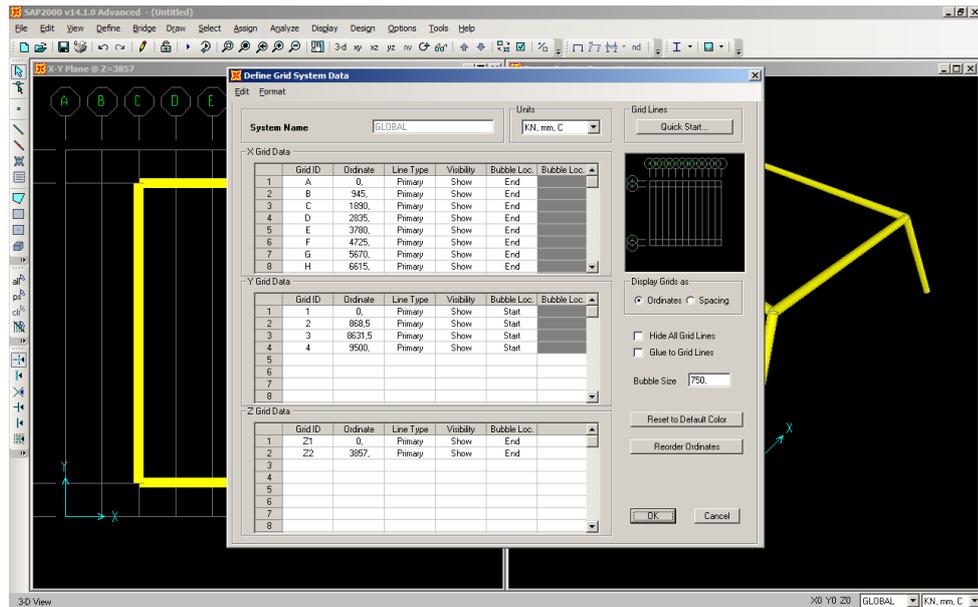


Fig. 3.51.- Determinación de las grillas estación de llegada.

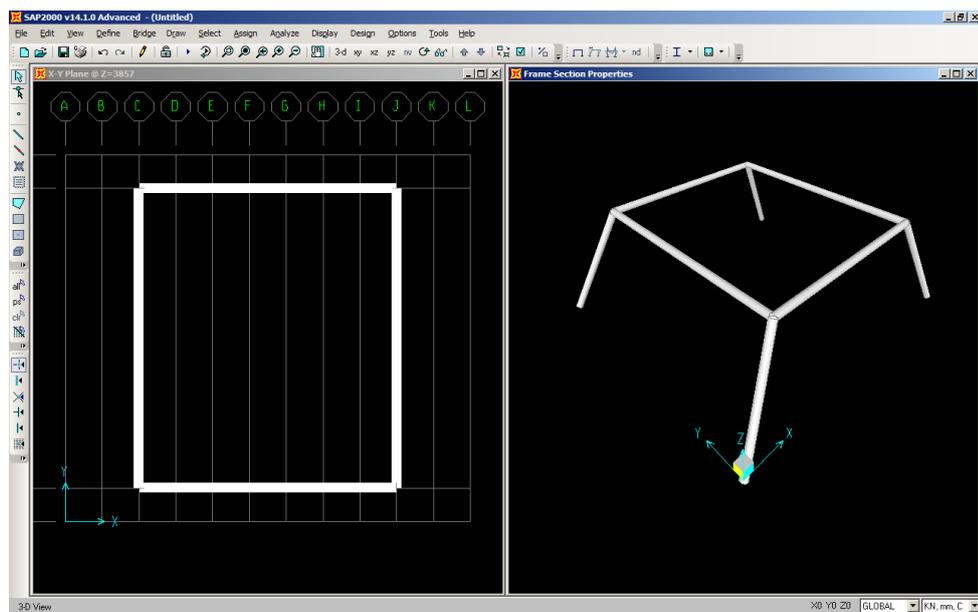


Fig. 3.52.- Verificación de las grillas estación de salida.

- Después de colocar las cargas se procederá al análisis y a la simulación de la deformación (ver 3.53).

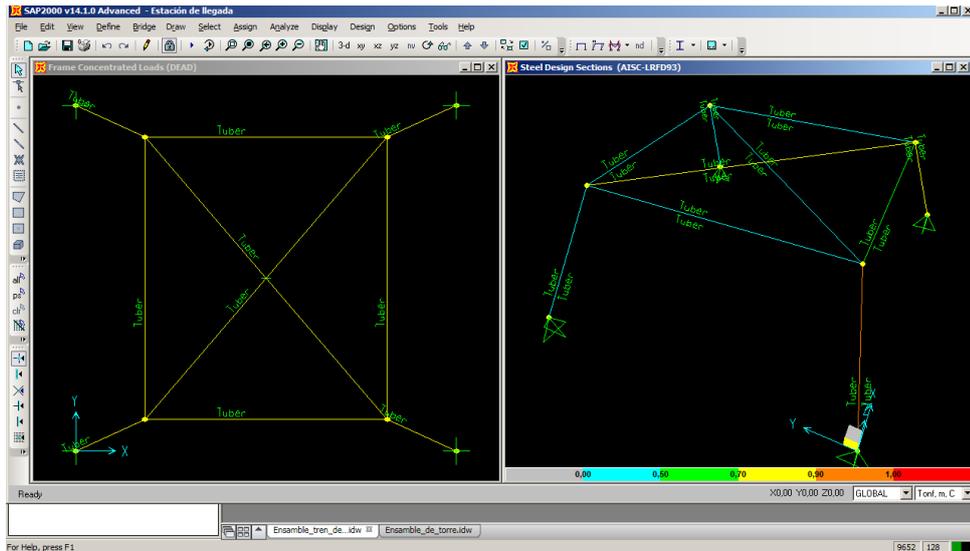


Fig. 3.53.- Determinación de las cargas estación de salida.

3.5.3.1.4.- Análisis de carga estación de llegada.

Como se observara en las figs. 3.53, 3.54, 3.55, 3.56 se determinará la elaboración en 3D de la estación de llegada.

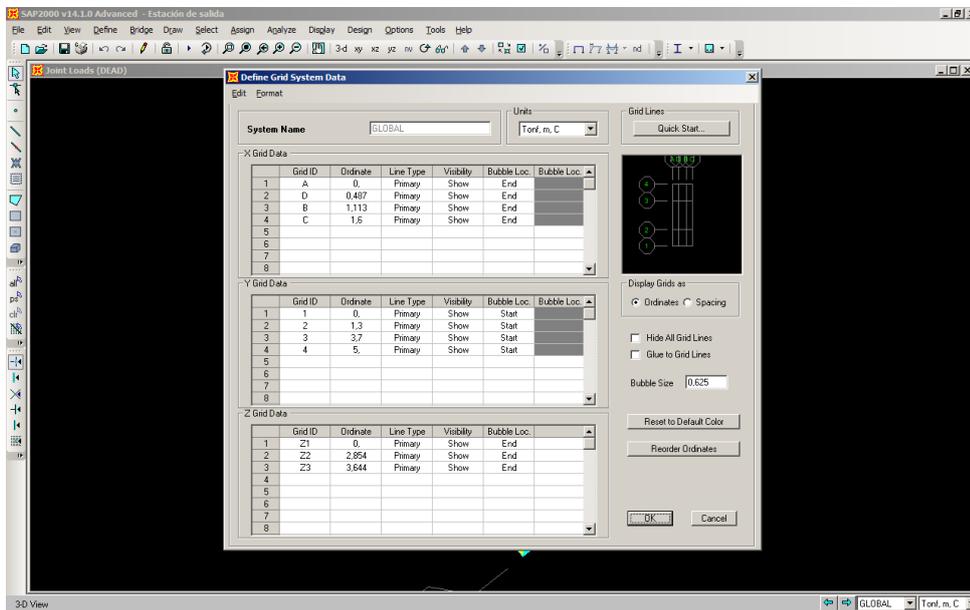


Fig. 3.54.- Determinación de las grillas de la estación de llegada.

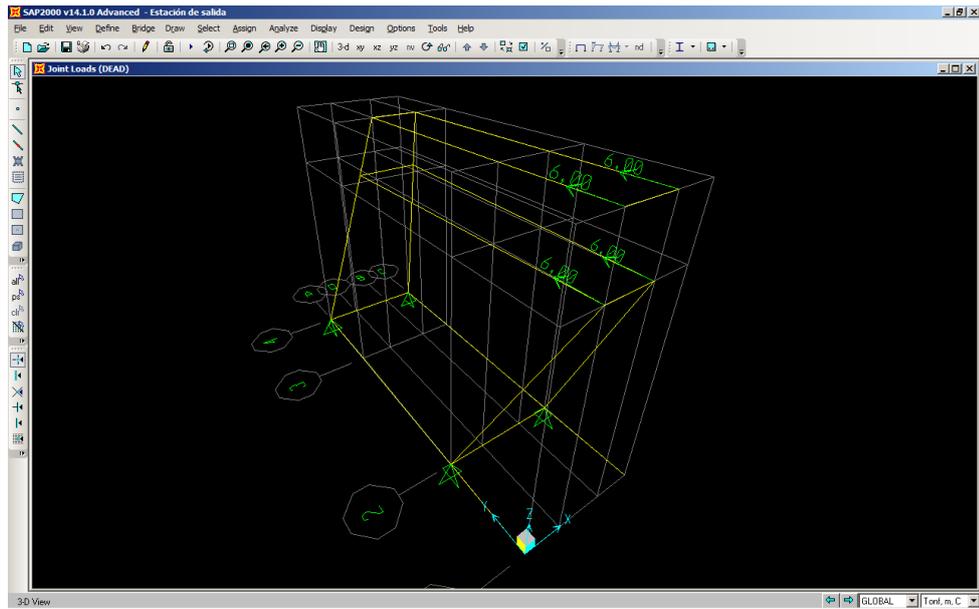


Fig. 3.55.- Determinación de las fuerzas de la estación de llegada.

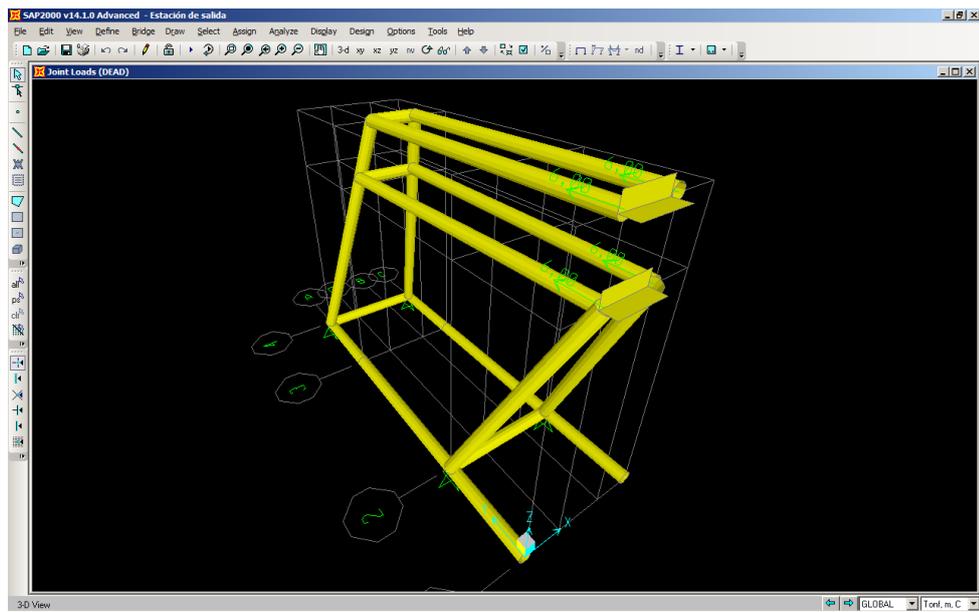


Fig. 3.56.- Determinación de las fuerzas en las tuberías de estación de llegada.

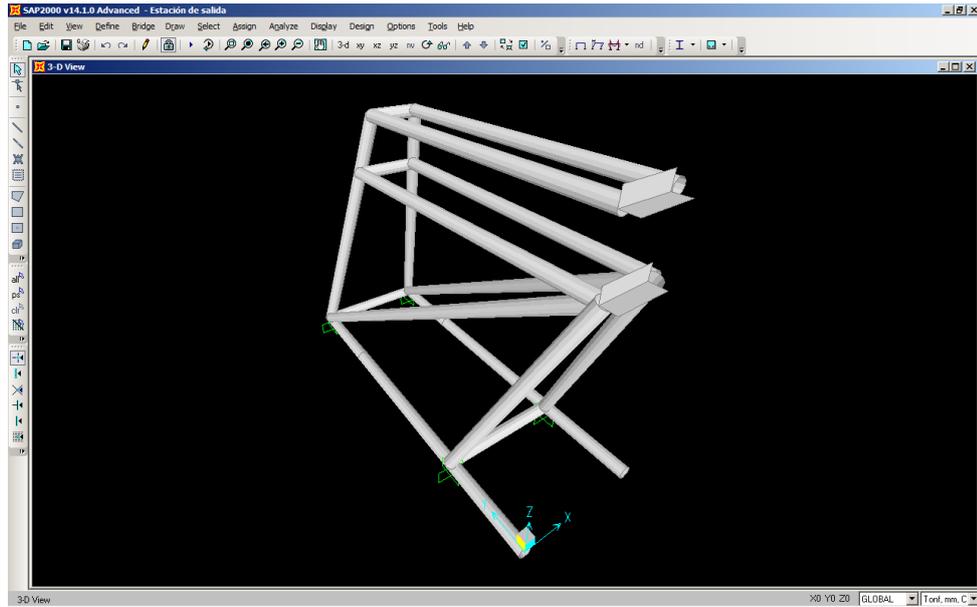


Fig. 3.56.- Visualización de las tuberías de estación de llegada..

- Como se puede observar en las figs. 3.57, 3.58 y 3.59 de la estructura de la estación de llegada se colocará las cargas respectivas, para luego simular las deflexiones producidas en esta estructura.

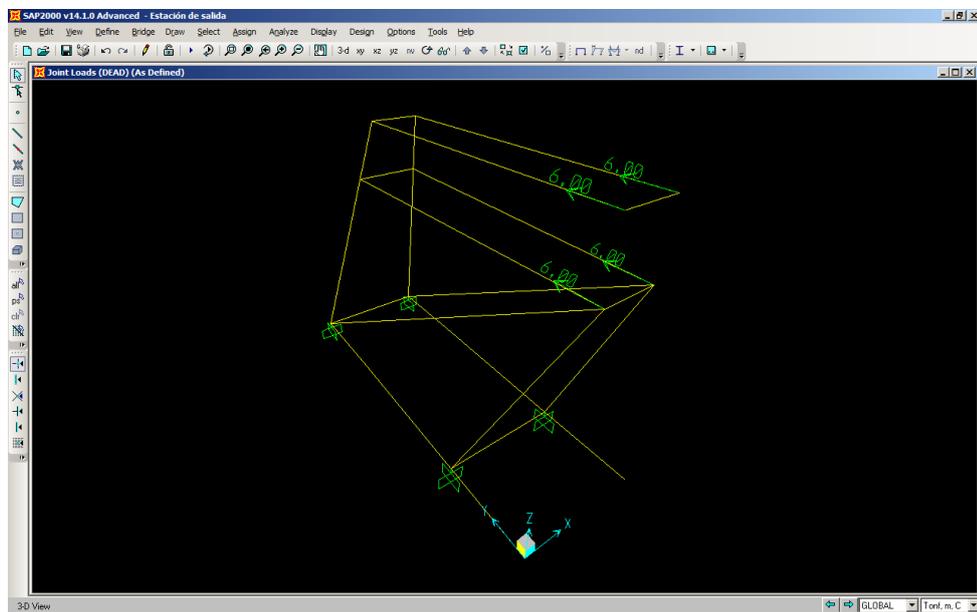


Fig. 3.57.- Verificación de las tuberías de estación de llegada..

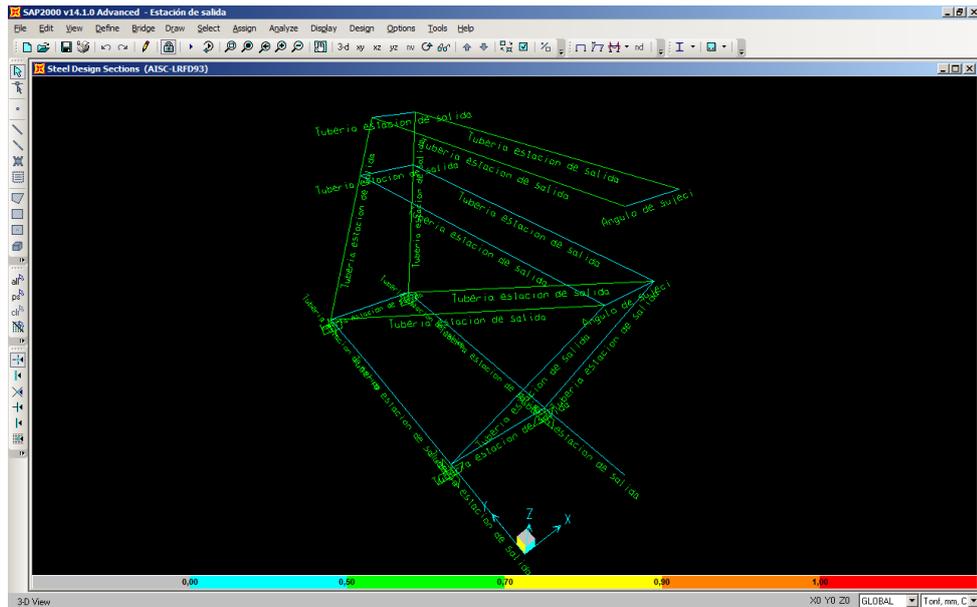


Fig. 3.58.- Verificación de las fuerzas en tuberías de estación de llegada..

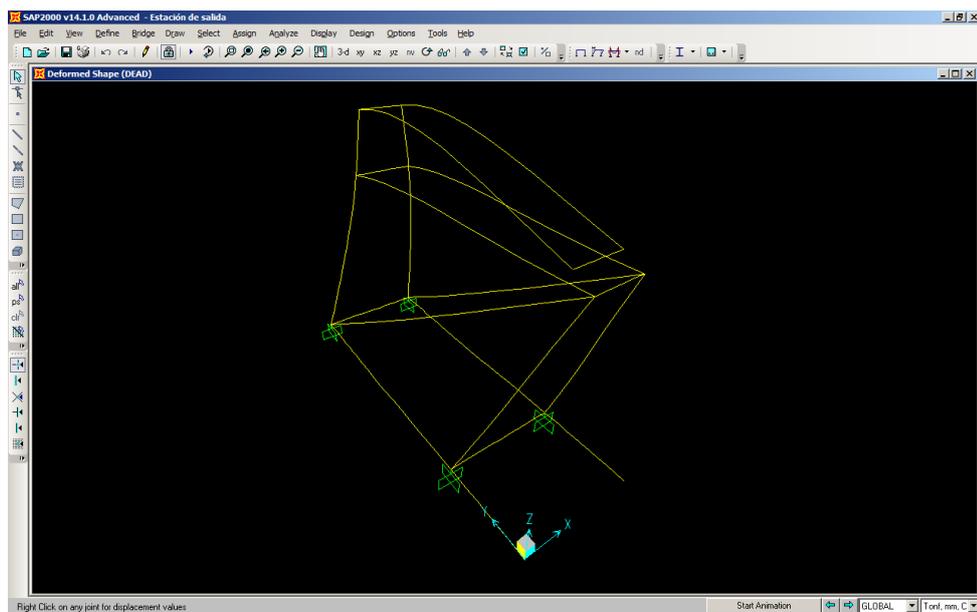


Fig. 3.59.- Simulación de las fuerzas en tuberías de estación de llegada.

Como se puede observar con la ayuda de los software utilizados para la simulación del teleférico como son: Inventor, SAP 2000, MDSolid, Autocad se lograrán determinar cargas, momentos, dimensiones, etc, de los componentes que lo conforman.

CAPITULO IV

4.- COSTOS ESTIMADOS PARA LA CONSTRUCCIÓN DEL TELEFÉRICO

4.1.- INTRODUCCIÓN

Para determinar el costo total para la construcción de un teleférico con capacidad de transportación para 8 personas y con recorrido de 1 km, se realizará tablas de costo de mano de obra, costo de materiales, costo estimado de sueldos para el diseño además se considera un valor adicional de imprevistos para la construcción de este medio de transporte.

Se considerará además que los costos totales para la construcción del teleférico se dividen en gastos directos e indirectos (análisis costo-beneficio).

4.2.- COSTOS DE MANO DE OBRA

Se conoce como mano de obra al esfuerzo tanto físico como mental que se aplicará durante el proceso de elaboración de un bien. El concepto también se aprovecha para apuntar hacia el costo de esta labor (es decir, el dinero que se le abona al trabajador por sus servicios).

Para el costo de mano de obra se considerará los costos de fabricación como se muestra en la tabla 4.1, los costos de soldadura como se muestra en la tabla 4.2, y los costos de hora maquina como se observa en la tabla 4.3 así:

COSTO FABRICACIÓN POR KG						
CANT	DESCRIPCIÓN	MEDIDAS	PESO KG	PRECIO/KG	PRECIO UNI.	PRECIO TOTAL
CABLE Y CABINAS						
3	Estructura cabinas	Tubería DIAM= 1/2 PULG	350	\$ 10,71	\$ 3.750,00	\$ 11.250,00
1	Estructura trans (p. cable+tren poleas, etc)	Tubería DIAM= 1/2 PULG	12462	\$ 0,08	\$ 1.000,00	\$ 1.000,00
ESTACION DE SALIDA						
1	Estructura estación	Tubería DIAM= 1/2 PULG	8800	\$ 0,74	\$ 6.500,00	\$ 6.500,00
1	Estructura rueda motriz	Tubería DIAM= 1/2 PULG	2500	\$ 0,36	\$ 900,00	\$ 900,00
1	Estructura soporte de rueda motriz	Tubería DIAM= 1/2 PULG	1500	\$ 1,33	\$ 2.000,00	\$ 2.000,00
1	Estructura carro móvil	Tubería DIAM= 1/2 PULG	5000	\$ 0,40	\$ 2.000,00	\$ 2.000,00
2	eje motriz	DIA=140mm x L=610mm	500	\$ 4,00	\$ 2.000,00	\$ 4.000,00
TORRES						
7	Torre de 6m	Tubería DIAM= 1/2 PULG	13000	\$ 0,17	\$ 2.250,00	\$ 15.750,00
ESTACION DE LLEGADA						
1	Estructura rueda loca	Tubería DIAM= 1/2 PULG	2500	\$ 4,20	\$ 10.500,00	\$ 10.500,00
1	Estructura soporte móvil de rueda loca	Tubería DIAM= 1/2 PULG	1500	\$ 1,00	\$ 1.500,00	\$ 1.500,00
TOTAL			48112			\$ 55.400,00

Tabla 4.1.- Costo total de fabricación del teleférico.

COSTO SOLDADURA (precio de soldadura \$7,00/m)				
CANT. TUB.	DESCRIPCION	LONGITUD UNI. (m)	LONG. TOTAL	PREC. SOLDADURA/m
CABLE Y CABINAS				
24	Estructura cabinas	6	144	\$ 1.008,00
12	Estructura trans (p. cable+tren poleas, etc)	6	72	\$ 504,00
ESTACION DE SALIDA				
12	Estructura estación	6	72	\$ 504,00
24	Estructura rueda motriz	6	144	\$ 1.008,00
12	Estructura soporte de rueda motriz	6	72	\$ 504,00
12	Estructura carro movil	6	72	\$ 504,00
TORRES				
7	Torre de 6m	1	7	\$ 49,00
ESTACION DE LLEGADA				
24	Estructura rueda loca	6	144	\$ 1.008,00
12	Estructura soporte móvil de rueda loca	6	72	\$ 504,00
PLACAS				
4	placas A-36	4	16	\$ 112,00
1	placas A-36	4	4	\$ 28,00
2	placas A-36	4	8	\$ 56,00
1	placas A-36	4	4	\$ 28,00
4	placas A-36	4	16	\$ 112,00
1	tubo cuadrado	6	6	\$ 42,00
1	tubo cuadrado	6	6	\$ 42,00
TOTAL			859	\$ 6.013,00

Tabla 4.2.- Costo de soldadura para la construcción del teleférico.

COSTO HORA MAQUINA	
PRECIO/HORA	\$ 10,00
LONG. A SOLDAR (m)	859
TIEMPO SOLDADOR 227 min	3 h
TOTAL	\$ 25.770,00

Tabla 4.3.- Costo de hora máquina para la construcción del teleférico.

4.3.- COSTO DE DE MATERIALES SELECCIONADOS POR CATÁLOGOS.

Estos costos son los considerados para adquirir de los materiales que se utilizarán en la construcción del teleférico como se muestran en las tablas 4.4, 4.5, 4.6, 4.7, 4.8, 4.9, 4.10 y en la tabla 4.11 se muestra en resumen así:

ARANDELAS				
CANT	DESCRIPCIÓN	MEDIDAS	PRE. UNIT.	PRE. TOTAL
16	Arandela de presión	Ø32 x 5	\$ 0,50	\$ 8,00
32	Arandela plana	Ø32 x 4	\$ 0,50	\$ 16,00
336	Arandela plana	Ø22 x 10	\$ 0,50	\$ 168,00
62	Arandela plana	Ø24x4	\$ 0,20	\$ 12,40
20	Arandela de presión	Ø24x5	\$ 0,25	\$ 5,00
12	Arandela plana	Ø 24 x 15	\$ 0,20	\$ 2,40
TOTAL				\$ 211,80

Tabla 4.4.- Costo de arandelas para la construcción del teleférico.

PERNOS				
CANT	DESCRIPCIÓN	MEDIDAS	PRE. UNIT.	PRE. TOTAL
48	Perno.	M 30 x1.5x 130	\$ 1,50	\$ 72,00
336	Perno.	M22 x 1.5x50	\$ 1,00	\$ 336,00
16	Perno.	M 24 x1,5x100	\$ 0,50	\$ 8,00
8	Perno.	M24 x 1,5x 80	\$ 0,50	\$ 4,00
48	Pernos de brazos	M18x 1,5x200	\$ 0,50	\$ 24,00
TOTAL				\$ 444,00

Tabla 4.5.- Costo de pernos para la construcción del teleférico.

TUERCAS				
CANT	DESCRIPCIÓN	MEDIDAS	PRE. UNIT.	PRE. TOTAL
1	Tuerca	M32 x1.5x10	\$ 0,50	\$ 0,50
16	Tuerca	M 30 x 1.5x28	\$ 0,50	\$ 8,00
336	Tuerca	M22 x1.5x 20	\$ 0,20	\$ 67,20
4	Tuerca	Ø M24x1.5x 21	\$ 0,30	\$ 1,20
16	Tuerca	M 24x1.5x 22	\$ 0,20	\$ 3,20
8	Tuerca	M24x1.5x 20	\$ 0,20	\$ 1,60
TOTAL				\$ 81,70

Tabla 4.6.- Costo de tuercas para la construcción del teleférico.

RODAMIENTOS				
CANT	DESCRIPCIÓN	MEDIDAS	PRE. UNIT.	PRE. TOTAL
34	Rodam. de bola (SKF)	(6205) 25x52x12	\$ 3,00	\$ 102,00

Tabla 4.7.- Costo de rodamientos para la construcción del teleférico.

CHUMACERA				
CANT	DESCRIPCIÓN	MEDIDAS	PRE. UNIT.	PRE. TOTAL
4	Chumacera	300x100	\$ 3,00	\$ 12,00

Tabla 4.8.- Costo de chumaceras para la construcción del teleférico.

MOTOR , TRANSFORMADOR, CABLE Y SILLAS				
CANT	DESCRIPCIÓN	PRE. UNIT.	PRE. TOTAL	
1	Motor eléc. de 32 HP	\$ 8.000,00	\$ 8.000,00	
1	Transfor., trifásico 26,11 Kw / I= 120 A	\$ 6.000,00	\$ 6.000,00	
1	cable de tracción A-36 X 6 hilos	\$ 25.000,00	\$ 25.000,00	
24	Sillas purierotano	\$ 1.400,00	\$ 33.600,00	
TOTAL			\$ 72.600,00	

Tabla 4.9.- Costo de motor, transformador, cable y sillas para la construcción del teleférico.

PLACAS				
CANT	DESCRIPCIÓN	MEDIDAS	PRE. UNIT.	PRE. TOTAL
4	placas A-36	4 m x 3m x e=1/2 pulg	\$ 1.200,00	\$ 4.800,00
1	placas A-36	4 m x 3m x e=10mm	\$ 1.100,00	\$ 1.100,00
2	placas A-36	4 m x 3m x e=5 mm	\$ 1.100,00	\$ 2.200,00
1	placas A-36	4 m x 3m x e=20 mm	\$ 1.500,00	\$ 1.500,00
4	placas A-36	4 m x 3mx e=6 mm	\$ 1.100,00	\$ 4.400,00
OTROS				
8	ruedas	DIAM=253 mm	\$ 500,00	\$ 4.000,00
1	tubo cuadrado	6m x e=2 mm	\$ 500,00	\$ 500,00
1	eje	DIAM=1 pulg	\$ 2.200,00	\$ 2.200,00
1	tubo cuadrado	6 m x e=4 mm	\$ 300,00	\$ 300,00
1	cilindro	6m x DIAM=30 mm	\$ 500,00	\$ 500,00
TOTAL			\$ 21.500,00	

Tabla 4.10.- Costo de placas y otros para la construcción del teleférico.

RESUMEN DEL COSTO DE MATERIALES	
VALOR TOTAL	\$ 94.951,50

Tabla 4.11.- Resumen de los costos totales materiales para la construcción del teleférico.

4.4.- COSTO DE SUELDOS

Para determinar el costo de los sueldos, primero se valorará la contratación de 3 profesionales, 1 dibujante, 5 operativos, 1 persona administrativa, y así obtener la tablas 4.12, 4.13, 4.14, 4.15, 4.16, 4.17 y en la tabla 4.18 se resumen los sueldos así:

Encargado de Obra	
Sueldo liquido	1.500,00
decimo tercero	125,00
decimo cuarto	26,50
vacaciones	62,50
aportes IESS	322,50
TOTAL	2.036,50

Tabla 4.12.- Sueldo encargado de obra

Residente de obra	
Sueldo liquido	800,00
decimo tercero	66,67
decimo cuarto	26,50
vacaciones	33,33
aportes IESS	172,00
TOTAL	1.098,50

Tabla 4.13.- Sueldo residente

Ingeniero Calculista	
Sueldo liquido	800,00
decimo tercero	66,67
decimo cuarto	26,50
vacaciones	33,33
aportes IESS	172,00
TOTAL	1.098,50

Tabla 4.14.- Sueldo calculista

Dibujante	
Sueldo liquido	600,00
decimo tercero	50,00
decimo cuarto	26,50
vacaciones	25,00
aportes IESS	129,00
TOTAL	830,50

Tabla 4.15.- Sueldo dibujante

Personal Administrativo	
Sueldo liquido	600,00
decimo tercero	50,00
decimo cuarto	26,50
vacaciones	25,00
aportes IESS	129,00
TOTAL	830,50

Tabla 4.16.- Sueldo administrativo

Personal Operativo	
Sueldo liquido	318,00
decimo tercero	26,50
decimo cuarto	26,50
vacaciones	13,25
aportes IESS	68,37
TOTAL	452,62

Tabla 4.17.- Sueldo operativo

RESUMEN DE SUELDOS PARA LA CONSTRUCCIÓN DEL TELEFÉRICO MENSUAL								
ITEM	CANT	DESCRIPCIÓN	VALOR UNI	VALOR	TRANSPORTE	VIVIENDA	ALIMENTACIÓN	COSTO TOTAL
1	1	Encargado de Obra	2.036,50	2.036,50	240,00	100,00	30,00	2.406,50
2	1	Residente de obra	1.098,50	1.098,50		100,00	30,00	1.228,50
3	1	Ingeniero Calculista	1.098,50	1.098,50			30,00	1.128,50
4	1	Dibujante	830,00	830,00			30,00	860,00
5	5	Personal Operativo	452,00	2.260,00			30,00	2.290,00
6	1	Personal Administrativo	830,00	830,00			30,00	860,00
TOTAL	10		6.345,50	8.153,50	240,00	200,00	180,00	8.773,50

Tabla 4.18. -Resumen de sueldos para la construcción del teleférico.

Los valores tomados de la tabla 4.18 que son determinados para un 1 mes de sueldo, los cuales se multiplicará para 12 para determinar el costo de estos al año y resumir en la tabla 4.19 del costo total.

4.5.- COSTO TOTAL ESTIMADO

En la tabla 4.19 se calcula el presupuesto total estimado así:

RESUMEN DE COSTOS FABRICACIÓN	
MATERIALES	\$ 94.951,50
FABRICACIÓN	\$ 55.400,00
SOLDADURA	\$ 6.013,00
PRECIO H/MAQUINA	\$ 25.770,00
SUELDOS	\$ 8.773,50
GASTOS INDIRECTOS	\$ 75.800,00
SUBTOTAL	\$ 190.908,00
5% IMPREVISTOS	\$ 95.454,00
TOTAL	\$ 553.070,00

Tabla 4.19.-Costo total para la construcción del teleférico.

Para los imprevistos se tomará el 5% del subtotal de la suma de todos los costos y la determinación de los gastos indirectos (análisis costo beneficio de la carga) de toma del capítulo I.

Como se puede observar el costo total estimado considerado para la construcción del teleférico de 1 km de recorrido con capacidad para 8 personas por cabina, es de \$ 553.070,00 dólares americanos.

TIEMPO DE CONSTRUCCIÓN			
	LONG A SOL. (m)	TIEMPO (min)	T. TOTAL (min)
TIEMPO DE SOLDADURA	856	227	194312
TIEMPO DE MONTAJE			259200
TIEMPO DE PRUEBAS			259200
		T. TOTAL MIN	712712
		T. TOTAL MESES	16,50

Tabla 4.20.-Tiempo total para la construcción del teleférico.

El tiempo que tomará la construcción del teleférico es de 1 año 8 meses según se detallará en la tabla 4.19. Con un valor de ingreso anual por concepto de cobro de entradas de \$ 172800,00 dólares americanos y se determinará que en 4 años se recuperará la inversión total realizada para la construcción del teleférico.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

- La construcción de un teleférico es aconsejable en lugares de topografía en terreno irregular, ya que la construcción de carreteras o puentes es de difícil realización y muy costoso.
- El presupuesto estimado para la construcción total de este proyecto es alto, como se puede determinar en el Capítulo IV y por esta razón se lo estudio y analizo en forma simulada con la ayuda de software diseñados para este fin como ejemplo (Autodesk Inventor, Autodesk Autocad versión 2010, SAP 2000, MDSolids, etc.) ya que son muy cercanos a la realidad para su construcción.
- Este tipo de medio de transporte (teleférico) además de ser utilizado como de transporte de personas, animales y bienes también se puede utilizar en la industria turística, minería, etc.
- Para la simulación de este medio de transporte (teleférico) se utilizó, normas de construcción internacionales como AISC, EMSD (Code of Practice on the Design, Manufacture and Installation of Aerial Ropeway), y libros que utilizan estas mismas normas de construcción.
- Para el diseño de los componentes que conforman el teleférico se utilizara factores de seguridad altos, según las recomendaciones hechas en las normas empleadas, esto se debe a que existe riesgo para los usuarios que futuramente lo usaren.
- Para el diseño de las cabinas se utilizara la carga total en una ellas, aplicando las normas internaciones de construcción de teleféricos, brindando ergonomía, comodidad, confort, seguridad, facilidad de visualización del entorno del proyecto a los pasajeros que lo utilicen.
- Las tensiones que generan el cable en el teleférico son diseñados en función de su propio peso, de las cargas acopladas que están soportando y de las potencia de funcionamiento; estos se analizaran de una manera correcta a fin de seleccionar un cable con diámetro apropiado.

- La potencia de funcionamiento del sistema motorizado (con corriente eléctrica) garantizara que las cabinas se desplaza con a una velocidad uniforme en todo su trayecto, sin importar el ángulo de inclinación del cable en cualquier parte del trayecto.
- El diseño del cable se realizara bajo un comportamiento de esquema estático del material y grandes deformaciones.
- En este teleférico convergen diversos tipos de elementos estructurales, con comportamiento diferenciado.

RECOMENDACIONES

- Para la instalación del cable se asesorara con el fabricante proveedor ya que constituye una delicada tarea de ingeniería que se deberá realizar bajo estrictas normas de seguridad a fin que garantice su funcionamiento correcto.
- Para la selección del cable se basara en catálogos actualizados de estos para realizar un diseño concordante con la disponibilidad de los productos en el mercado.
- Para el estudio y diseño del sistema motorizado, de suelos, de cimentación conlleva la realización de un análisis más minucioso, el cual sale del alcance de esta tesis, se recomienda plantearlos en otra tesis.
- Se recomienda concluir el diseño del sistema de control que se encargue del encendido, regulación de los motores principal y secundario, así como la acción de freno de servicio y de emergencia a fin que brinde, mayor seguridad en la operación de este medio de transporte (teleférico).
- Para garantizar el buen funcionamiento del teleférico se debe realizar, planes de mantenimientos periódicos de cada componente que lo conforman, especialmente aquellos que comprometen la seguridad de los pasajeros y como también los que son fundamentales para la operación de este medio de transporte.
- En la fase de operación, el cable debe ser inspeccionado a intervalos de tiempo regulares para corregir fallas que pueden acelerar el desgaste.

- No se podrá introducir modificación alguna que represente variación original del diseño de este teleférico o que afecte a la seguridad de los pasajeros
- El funcionamiento del teleférico se suspenderá ante cualquier circunstancia meteorológica que, a juicio de la persona responsable de su funcionamiento, disminuya la seguridad de la instalación y, muy especialmente, en condiciones de viento fuerte, cuando exista amenaza de tormenta, o falta de visibilidad.
- El servicio del teleférico se trabajara en horarios diurnos ya que no garantiza la buena funcionalidad con falta de visibilidad en las horas de la noche.
- La capacidad máxima de carga de todo este medio de transporte (teleférico) se la debe respetar ya que con una mayor carga podría fallar y afectar directamente en los componentes principales de funcionamiento de este
- La máxima capacidad de carga del teleférico, se la debe colocar en letreros o señalética visibles, tanto para operarios, como para pasajeros los cuales serán responsables de su integridad antes utilizar este medio de transportación.

GLOSARIO DE TÉRMINOS

AUTOMÓVILES.- Vehículo movido por un motor de explosión o combustión interna, destinado al transporte terrestre sin carriles:

AUTOBUSES.- Vehículo de transporte público de gran capacidad destinado al transporte urbano de viajeros en un recorrido fijo:

AÉREO.- Que se realiza en el aire, Sutil, fantástico, inmaterial

ATMOSFERA.- Masa gaseosa que rodea un astro, especialmente referida a la que rodea la Tierra

AVIONES.- Vehículo más pesado que el aire, provisto de alas, que vuela propulsado por uno o varios motores

ACUÁTICOS.- Animal o vegetal, que vive en el agua, tanto dulce como marina

BIENES.- Los que no pueden trasladarse de un lugar a otro, como edificios, caminos, construcciones, etc

BASES.- Fundamento o apoyo principal en que descansa alguna cosa

BLOQUE.- Trozo grande de piedra u hormigón sin labrar

CIMIENTO.- Parte de un edificio que queda enterrada y que sostiene toda la construcción

CONSUMO.- Utilizar, gastar, Agotar, debilitar.

CARGA.- Cosa que pesa sobre otra, Acción y resultado de cargar

CABLE.- Cordón más o menos grueso formado por uno o varios hilos, que se emplea en electricidad, en las comunicaciones telegráficas o telefónicas, transporte etc

DIESEL.- Motor de combustión interna por inyección y compresión de aire y combustible, que no necesita bujías.

DISEÑO.- Actividad creativa y técnica encaminada a idear objetos útiles y estéticos que puedan llegar a producirse en serie

DIURNO.- Relacionado con el día o que ocurre durante el día

ESTACIÓN.- Local y conjunto de instalaciones en que están ubicadas las dependencias de las estaciones de transporte:

ESCALA.- Línea recta dividida en partes iguales que representan unidades de medida, que sirve para dibujar proporcionalmente las distancias y dimensiones en un mapa, plano, diseño, etc., y así luego calcular las medidas reales con respecto de lo dibujado, graduación que utilizan los diversos instrumentos de medición

ENERGÍA.- Fuerza, poder

GUÍA.- Pieza o cuerda que en las máquinas y otros aparatos sirve para dirigir el movimiento.

GASES.- Fluido que, por la casi nula fuerza de atracción entre sus moléculas, tiende a ocupar por completo el espacio en el que se encuentra

GENTE.- Conjunto de personas

HORMIGÓN.- Mezcla compuesta de piedras menudas, cemento y arena que se emplea en la construcción por su gran dureza y resistencia

HORAS.- Espacio de tiempo o momento indeterminado

HORIZONTAL.- Que está en el horizonte o paralelo a él

HIPÓTESIS.- La que se formula provisionalmente para guiar una investigación científica que debe demostrarla o negarla

MOTRIZ.- Que mueve o genera movimiento

MOTOR.- Que produce movimiento

POTENCIA.- Capacidad para ejecutar algo o producir un efecto, fuerza, poder, energía

POLEA.- Máquina simple que consiste en una rueda móvil alrededor de un eje, acanalada en su circunferencia, por donde pasa una cuerda o cadena en cuyos dos extremos actúan, respectivamente, la potencia y la resistencia

PESO.- Fuerza con que atrae la Tierra o cualquier otro cuerpo celeste a un cuerpo.

REENVIÓ.- Hecho de volver a enviar

RADIO.- Línea recta desde el centro del círculo a la circunferencia

SISTEMA.- Conjunto de elementos que, ordenadamente relacionadas entre sí, contribuyen a determinado objeto

SECCIÓN.- Figura que resulta de la intersección de una superficie o un sólido con otra superficie.

TELEFÉRICO.- Sistema de transporte por medio de cabinas suspendidas de uno o varios cables de tracción que permite salvar diferencias de altitud

TENSIÓN.- Fuerza que impide a las partes de un mismo cuerpo separarse unas de otras cuando se halla en dicho estado.

TÉCNICAS.- Que conoce muy bien los procedimientos de una ciencia, un arte o un oficio y los lleva a la práctica con especial habilidad

TABLA.- Conjunto de informaciones almacenadas de manera sucesiva, en el que se puede identificar cada una de ellas por su posición relativa

BIBLIOGRAFÍA

- PÉREZ ALAMA VÍCTOR. 2010. *Mecánica de suelos y cimentación*, 3 Ed.. McHill Grew, D.F. México.
- CRISTINA SÁNCHEZ REBOLLO. 2010. *Efecto del viento en estructuras del cable, Proyecto fin de carrera*. Madrid-España
- MCCORMAN. 2002. *Diseño de Estructuras de Acero*. 2 Ed. Alfaomega D.F. México
- ROBERT NORTON. 1999. *Diseño de maquinas..* Pearson Prentice Hall. 1Ed. México.
- ING. MARCELO ROMO. 2004. *Criterios y alternativas para el diseño de un teleférico*. Centro de investigación. Científica Escuela Politécnica del Ejército, Quito-Ecuador.
- MARLON ARMIJOS Y RAÚL RAMÍREZ. 2004. *Diseño de un teleférico turístico de 2000 m de longitud ubicado en la colonia Llanganates Parroquia Rio Negro Cantón baños, Provincia de Tungurahua*. Escuela Politécnica Nacional. Quito- Ecuador.
- ING. RENÉ SANDOVAL. 1998. *Ecuaciones diferenciales en las ciencias y en la Ingeniería*. Centro de matemática, Universidad Central del Ecuador. 2 Ed.. Quito-Ecuador,
- EMSD. 2002. *Code of Practice on the Design, Manufacture and Installation of Aerial Ropeway*. The Government of the Honk Kong Special Administraive Region.
- SHIGLEY J. 2005. *Diseño de Ingeniería Mecánica*. 6 Ed. McGraw- Hill. Mexico
- COSS RAUL. 2003. *Simulación un enfoque práctico*, Limusa S.A. Mexico.
- <http://ingenieria-civil09.blogspot.com>
- http://www.mines.edu/library/ropeway/about_ropeways.html

ANEXOS

PLANOS