

ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

DISEÑO DE UN TELFÉRICO SOBRE EL RÍO BLANCO
(SAN MIGUEL DE LOS BANCOS)

Previa a la obtención de Título de:

INGENIERO CIVIL

ELABORADO POR:

FERNANDO DAVID CHECA CABASCANGO

SANTIAGO RICARDO ZAMBRANO ESCALANTE

Sangolquí, 11 de Junio de 2007

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue realizado en su totalidad por los Señores: Fernando David Checa Cabascango y Santiago Ricardo Zambrano Escalante, como requisito parcial a la obtención del título de Ingeniero Civil.

Sangolquí, 11 de Junio de 2007

Ing. Marcelo Romo Proaño, M.Sc.

DIRECTOR

Ing. José Pérez Rosales, M.Sc.

CODIRECTOR

EXTRACTO

El presente es un estudio del comportamiento de las estructuras requeridas para viabilizar proyectos de teleféricos como medios de transporte; también incluye ciertos aspectos mecánicos del mismo. Se discute el papel de los diferentes componentes estructurales requeridos en los teleféricos.

Se estudian las alternativas de funcionalidad que se pueden presentar en los proyectos y su impacto en la solución estructural correspondiente, así como las diferentes alternativas de sustentación estructural.

Se analizan los estados de carga requeridos para el diseño por resistencia y por esfuerzos admisibles, en base a las características particulares de este tipo de estructuras. Debido a la inexistencia de un código estandarizado de diseño de teleféricos, para la obtención de los estados de carga y los elementos de diseño, se recurre a analogías entre este tipo de proyectos y proyectos de puentes, edificaciones y estructuras preesforzadas, empleándose los códigos, fundamentos y prácticas de diseño correspondientes.

Se aplica el estudio realizado al caso particular de un teleférico destinado a la promoción turística en la zona de San Miguel de Los Bancos, para lo que se utiliza el paquete computacional SAP 2000 en el diseño de cables, apoyos, cimentaciones y anclajes.

Como complemento se adjuntan recomendaciones técnicas de tipo práctico que permitan seleccionar el cable comercial más adecuado de acuerdo a los requerimientos particulares de cada diseño y oferta en el mercado.

Se concluye con una estimación económica concebida como resultado del Análisis de Precios Unitarios de los rubros que se requieren ejecutar para materializar el proyecto.

ABSTRACT

The present is a study of the behavior of the structures required for projects of cable cars like means of transport; it also includes certain mechanical aspects of the same one. You discusses the paper of the different structural components required in the cable cars.

The alternatives of functionality are studied that can be presented in the projects and their impact in the corresponding structural solution, as well as the different alternatives of structural sustentation.

The load states are analyzed required for the design by resistance and for acceptable efforts, based on the single characteristics of this type of structures. Due to the nonexistence of a standardized code of design of cable cars, for the obtaining of the load states and the design elements, it is appealed to analogies among this type of projects and bridges, building constructions and prestress structures , being used the codes, foundations and practical of corresponding design.

The study is applied carried out to the case peculiar of a cable car dedicated to the tourist promotion in the area of San Miguel de los Bancos, for that that the informatic pack SAP 2000 in the design of cables, supports, foundations and anchorages.

As complement technical recommendations of practical type are attached that allow to select the most appropriate commercial cable according to the requirements peculiar of each design and offer in the market. You concludes with an economic estimate conceived as a result of the Analysis of Unitary Prices of the items that are required to execute to materialize the project.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

CAPÍTULO 1 INTRODUCCIÓN

1.1.- Generalidades.....	1
1.2.- Definición del problema.....	4
1.3.- Objetivo.....	5
1.4.- Alcance.....	5
CAPÍTULO 2 CABLES	
2.1.- Introducción.....	6
2.2.- Materiales.....	7
2.3.- Cargas sobre los cables.....	15
2.4.- Geometrías.....	16
2.5.- Deformaciones en los cables.....	19
2.6.- Factores de seguridad.....	23
2.7.- Selección apropiada del cable.....	24
CAPÍTULO 3 ESTRUCTURAS METÁLICAS	
3.1.- Introducción.....	30
3.2.- Materiales.....	31
3.3.- Pórticos.....	34
3.4.- Celosías.....	35
3.5.- Uniones.....	40
3.5.1.- Uniones empernadas.....	40
3.5.2.- Uniones soldadas.....	45
3.6.- Códigos.....	47
CAPÍTULO 4 SISTEMA MECÁNICO	
4.1.- Motores.....	48
4.1.1.- Motores Eléctricos.....	48
4.1.2.- Motores de Combustión Interna.....	50
4.2.- Mecanismos de transmisión.....	53
4.2.1.- Sistema de poleas y correas.....	54
4.2.2.- Sistema de cadenas y piñones.....	58
4.2.3.- Sistema de ruedas de fricción.....	59
4.2.4.- Sistema de engranajes.....	60
4.3.- Uniones mecánicas, Accesorios.....	63
4.3.1.- Uniones.....	63

4.3.2.- Accesorios.....	63
CAPÍTULO 5 CARACTERÍSTICAS DEL PROYECTO	
5.1.- Topografía.....	66
5.1.1.- Características generales.....	67
5.1.2.- Análisis de la faja topográfica.....	67
5.1.3.- Implantación del proyecto.....	68
5.2.- Geología y Suelos.....	70
5.2.1.- Características generales.....	70
5.2.2.- Tipología de suelo.....	72
5.2.3.- Determinación de la resistencia del suelo.....	77
5.2.4.- Análisis de alternativas de mejoramiento de suelo.....	79
5.3.- Arquitectura del proyecto.....	79
5.3.1.- Ubicación de obras complementarias.....	80
5.3.2.- Casa de máquinas.....	81
5.3.3.- Cubiertas.....	81
5.4.- Especificaciones de usuario.....	82
5.4.1.- Determinación de carga.....	82
5.4.2.- Determinación de velocidades.....	83
5.5.- Análisis de alternativas.....	84
CAPÍTULO 6 ANÁLISIS Y DISEÑO	
6.1.- Predimensionamiento.....	94
6.2.- Criterios para el diseño del sistema estructural.....	100
6.2.1.- Comportamiento de los componentes estructurales.....	101
6.2.2.- Estados de carga para el análisis y diseño.....	102
6.3.- Cables.....	106
6.3.1.- Cable Carril.....	106
6.3.1.1.- Apoyos.....	106
6.3.1.2.- Cargas.....	108
6.3.1.3.- Selección del Cable Carril.....	110
6.3.2.- Cable Motriz.....	118
6.3.2.1.- Cargas.....	118
6.3.2.2.- Selección del cable motriz.....	119
6.4.- Apoyos (Torres).....	123
6.4.1.- Cargas sobre las torres.....	124
6.4.2.- Selección de perfiles.....	127
6.5.- Bloques de Anclajes.....	128
6.5.1.- Cargas.....	128
6.5.2.- Materiales.....	128
6.5.3.- Reacciones.....	129
6.5.4.- Diseño.....	129
6.6.- Cimentación de las torres.....	136
6.6.1.- Cargas.....	136
6.6.2.- Materiales.....	137

6.6.3.- Reacciones.....	137
6.6.4.- Diseño.....	138
6.7.- Sistema Mecánico.....	151
6.7.1.- Selección del motor.....	151
6.7.2.- Elementos mecánicos de la transmisión de potencia.....	152
6.7.3.- Uniones, Elementos de seguridad (ejes).....	164
6.7.4.- Elementos mecánicos del vehículo de transporte.....	177
6.7.4.1.- Armadura.....	177
6.7.4.2.- Poleas.....	181
CAPÍTULO 7	
ESPECIFICACIONES TÉCNICAS	
7.1.- Manejo de cables.....	183
CAPÍTULO 8	
ESTUDIO ECONÓMICO	
8.1.- Análisis de Precios Unitarios.....	191
8.2.- Presupuesto Referencial.....	191
CAPÍTULO 9	
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	
	192

CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN

1.1.- Generalidades

El teleférico es un medio de transporte que consiste en cabinas con capacidad para llevar un grupo de personas. Estas cabinas viajan suspendidas en el aire transportadas por uno o varios cables.

Los medios de elevación en general en los países del mundo, son instalaciones que se difunden cada día más porque unen a la seguridad de su funcionamiento, la rapidez de comunicación entre localidades de difícil acceso. Por estas características posibilitarán el desarrollo de importantes y famosos centros turísticos y la realización de importantes obras en montaña.

La razón para diseñar el teleférico fue tener una cabina colgante que sirviera de puente entre un lugar de difícil acceso y el ferrocarril. Es por esto que uno de los primeros teleféricos fue construido en 1914 para lograr el acceso de los pasajeros a un ferrocarril en la ciudad de Berna,

elaborado por la firma Van Rooll. En 1909 nace el primer teleférico propiamente dicho, con torres intermedias y cabinas de frenos de seguridad, apto para garantizar la máxima seguridad a los pasajeros, uniendo Lana con San Virgilio en Merano (Italia) y fabricado por la firma Caretti y Tanfani. Al mismo tiempo y alentados por el éxito de este primer ensayo se iniciaron los estudios para el teleférico del Monte Blanco en los Alpes, que debieron suspenderse durante la guerra de 1914. A partir de su terminación en 1918, se inicia orientándose hacia el transporte por medios económicos que facilitarán la práctica del esquí.

De aquí en adelante el desarrollo técnico puede considerarse extraordinario pudiendo ser como algunos de sus ejemplos el teleférico Courchevel (Francia) con 16 plazas por cabinas, la cabina que cruza el Mississippi con 700 metros entre torres de sostén y 109 metros de alto, con capacidad de 2800 personas por hora, verdaderos alardes de la tecnología moderna, preaviso de nuevos progresos cada vez mas audaces y ambiciosos.

El teleférico en varios países de Latinoamérica ha aportado de manera significativa al desarrollo del turismo.

En Colombia, el teleférico de Bogotá tiene 50 años, sube 400 metros posee una plaza de estacionamientos y tiene una iglesia que es muy visitada por lo que se ha convertido en el sitio más atractivo de Bogotá.

En Venezuela el teleférico de Mérida, considerado el mas largo del mundo ya que recorre 12,5 kilómetros desde Barinitas hasta el pico Espejo a 4.765 metros sobre el nivel del mar.

En Argentina el teleférico de Bariloche ha aportado para que el turismo, en especial el extranjero, visite este país en la época de invierno ya que se puede practicar el esquí. Este proyecto se convirtió en una de las grandes atracciones de la Patagonia.

En Quito el proyecto teleférico engloba además del viaje hacia Cruz Loma atracciones como un parque de diversiones, un centro comercial, una plaza artesanal, lo que lo convierte en un referente en la región.



Figura 1.1: Teleférico de Mérida

1.2.- Definición del problema

La zona noroccidental de la provincia de Pichincha goza de un singular clima de una excepcional flora, fauna y riqueza botánica, única en variedades y especies, consideradas vitales para el desarrollo del turismo ecológico compatible con los objetivos de preservación del medio ambiente.

El cantón San Miguel de Los Bancos es una de las principales atracciones del turismo ecológico provincial. Parte de las actividades de la población se relaciona con el área turística de este ecosistema natural.

La implantación de un teleférico en la zona impulsará la economía, facilitando el acceso a un sector rico en atractivos eco turísticos pero con notables dificultades de ingreso debido a su accidentada topografía.

Previamente es necesario realizar un estudio técnico adecuado para obtener las condiciones mínimas necesarias que deben cumplir el sitio seleccionados para la instalación de un teleférico.

1.3.- Objetivo

El objetivo del proyecto es desarrollar un medio de transporte que permita acceder al turismo ecológico en la zona, así permitir el crecimiento económico del sector y sus habitantes, mediante el diseño estructural y mecánico del Teleférico sobre el Río Blanco.

1.4.- Alcance

Diseñar un medio de transporte, que permita la comunicación de un punto con otro de difícil acceso, debido a su accidentada topografía, brindando al usuario comodidad y seguridad en su traslado.

En concordancia con las características eco turísticas de la zona, se busca que la afectación al medio ambiente sea mínima, y que se convierta en una novedosa alternativa para practicar el turismo ecológico.

CAPÍTULO II

CABLES

2.1.- Introducción.

El cable de acero es una máquina simple, que está compuesto de un conjunto de elementos que transmiten fuerzas, movimientos y energía entre dos puntos de una manera predeterminada para lograr un fin deseado.

Los cables metálicos son elementos ampliamente utilizados en la mayoría de actividades industriales, así los encontramos formando parte de los equipos para la manipulación y sujeción de cargas (grúas, cabrestantes, eslingas, etc.). E incluso en el transporte de personas (teleféricos y ascensores).

Los cables pueden transmitir eficientemente fuerzas de tensión pero no resisten fuerzas de compresión y tienen poca resistencia a la flexión, razón por la cual adoptan formas curvas. Son considerados elementos axialmente cargados debido a que actúan únicamente fuerzas de tensión que varían en dirección y magnitud según la configuración del cable, dado que las fuerzas están dirigidas a lo largo del eje de la sección transversal.

2.2.- Materiales

Los cables de acero están compuestos por una determinada cantidad de torones, colocadas en forma helicoidal alrededor de un núcleo o alma de soporte. Cada uno de los torones esta conformado por una cierta cantidad de alambres, los cuales están colocados en forma también helicoidal alrededor de un alambre central del torón, los alambres en el torón están colocados en una forma geométrica definida y predeterminada.

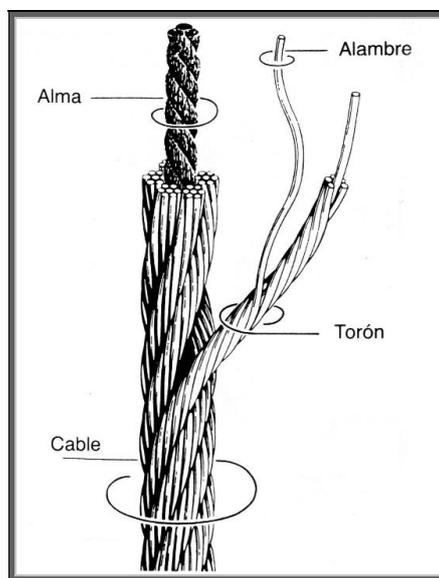


Figura 2.1: Elementos de un cable de acero.

El alambre [trefilado](#) que se utiliza para la fabricación de cables se obtiene partiendo de acero al horno eléctrico. Su contenido en carbono varía generalmente del 0,3% al 0,8% obteniéndose dentro de esta gama los aceros dulces, semiduros y duros.

El índice de pureza puede variar según las características requeridas; no obstante estos tipos de acero no pueden contener más de un 0,04% de fósforo y un 0,04% de azufre.¹

De acuerdo a los materiales usados en la fabricación de cables se obtienen diferentes resistencias de los cables. Estas son

PS (Plow Steel)

Resistencia a la tracción de 160-180 Kg/mm². Usado en la fabricación de cables donde el uso para el cual se destina, es más importante la flexibilidad que la resistencia a la tracción.

IPS (Improved Plow Steel)

Resistencia a la tracción de 180-200 Kg/mm². Condiciones mejores que las del tipo anterior, es indicado para la fabricación de cables donde se requieran características de tracción, abrasión y torsión simultáneamente.

EIPS (Extra Improved Plow Steel)

Resistencia a la tracción de 200-230 Kg/mm². Son los alambres más resistentes empleados en la fabricación de cables de acero, sin perjuicio de las características de tracción y flexión. No está indicado para los cables que se destinan al uso de elevadores, puentes colgantes y perforación por percusión, donde son más apropiados los cables de menor resistencia a la tracción y menos rígidos.

¹ http://es.wikipedia.org/wiki/Cable_de_acero

Los alambres son fabricados en diferentes grados de acero, en acabado negro y en caso de ser necesario galvanizado. Los torones se fabrican torciendo una cantidad de alambres entre si sobre un alambre central en una posición geométrica determinada.

Los cables galvanizados son fabricados con alambres galvanizados en caliente a los diámetros finales esto permite darle un recubrimiento de zinc que da protección contra la oxidación, los cables galvanizados tienen una reducción en resistencia de aproximadamente del 10% con respecto a los cables tipo brillante o negro.

En los casos en que no se requiera una máxima protección a la corrosión pero si a la tracción se pueden utilizar cables con alambres galvanizados y trefilados posteriormente. Un cable de acero fabricado con alambre galvanizado trefilado tiene la misma resistencia y característica que aquellos cables brillantes o negros.

El alma de un cable de acero permite la colocación adecuada de los torones así como moverse y trabajar libremente, de forma que cada torón asuma la parte de carga proporcional que le corresponde en condiciones normales de trabajo. Los núcleos o almas pueden ser de fibra o de acero, los de fibra son usados frecuentemente en aplicaciones donde se requiere gran facilidad para recuperar su forma original, pueden ser de fibra natural o fibra sintética.

Los de alma de acero se usan en aquellas aplicaciones en que se necesita alto grado de resistencia especialmente cuando los casos pueden encontrarse sujetos al aplastamiento, también cuando estarán expuestos al calor extremo.

Notación

La composición de un cable viene expresada por una notación compuesta de tres cifras, por ejemplo 6x19+1. La primera indica el número de cordones del cable, la segunda el número de alambres de cada cordón y la tercera el número de almas textiles.

Si el alma del cable es metálica formada por alambres, se sustituye la última cifra por una notación entre paréntesis que indica la composición de dicha alma. Por ejemplo, 6x19+(7x7+0).

Cuando los cordones o ramales del cable sean otros cables, se sustituirá la segunda cifra por la notación que señale su composición, también entre paréntesis. Por ejemplo, 6x(6x7+1)+1.²

Arrollamiento

² http://es.wikipedia.org/wiki/Cable_de_acero

Como se dijo anteriormente los alambres de los cordones están colocados en forma de hélice alrededor de un alambre central, formando una o más capas.

El paso del cordón es la longitud que abarca una vuelta completa del alambre alrededor de su núcleo central. Esta distancia se mide paralelamente al eje del cordón. En los cables corrientes, las distintas capas de alambres que forman los cordones tienen pasos diferentes.

Los cordones, a su vez están colocados en el cable en forma de hélice alrededor del alma. El paso de hélice que describe un cordón es el paso del cable.

Considerando los sentidos de arrollamiento de los alambres en el cordón, y de los cordones en el cable, se pueden distinguir:

Arrollamiento cruzado o corriente

Es aquél en que los cordones están arrollados en sentido contrario al de los alambres que los forman. Son más fáciles de manejar, son menos susceptibles a la formación de "cocas" y son más resistentes al aplastamiento y a la distorsión. Presentan menos tendencia a destorcerse al aplicarles cargas aunque no tengan fijos ambos extremos.

Arrollamiento Lang

Los alambres en el cordón y los cordones en el cable están arrollados en el mismo sentido, son ligeramente más flexibles y muy resistentes a la abrasión y fatiga, pero tienen tendencia a destorcerse por lo que se recomienda su uso únicamente en aquellas aplicaciones en que ambos extremos del cable estén fijos y no le permitan girar sobre sí mismos.

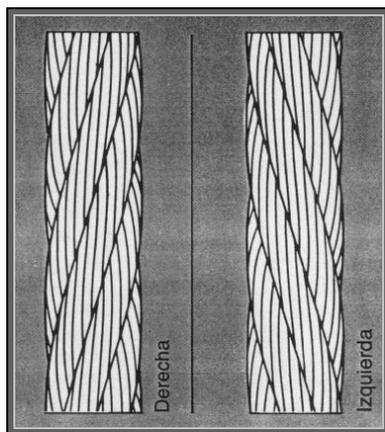


Figura 2.2: Arrollamiento cruzado

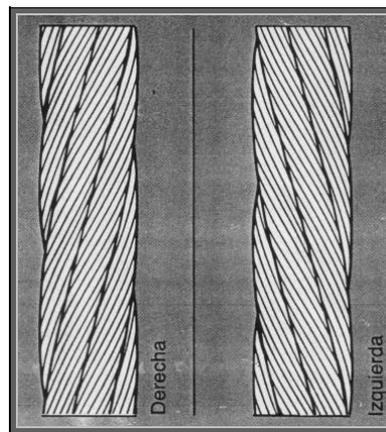


Figura 2.3: Arrollamiento Lang

Arrollamiento alternado o Herringbone

Con cordones que están alternativamente arrollados en el mismo sentido que el cable y en sentido contrario. Este tipo de cable tiene muy pocas aplicaciones.

Preformado

En el proceso de fabricación de los cables corrientes, los alambres adoptan la forma de hélice y ocupan sus posiciones respectivas gracias a una [deformación elástica](#), que origina unas tensiones internas en dichos alambres. Por causa de estas tensiones internas, al suprimir las ligadas, o

al romperse un alambre, los extremos tienden a recuperar su forma recta primitiva.

En los cables preformados, tanto los alambres como los cordones sufren durante el proceso de fabricación una deformación permanente, adoptando la forma de hélice de acuerdo ya con la posición que habrán de ocupar en el cable.

Al suprimir la deformación elástica se eliminan las tensiones internas existentes en los alambres de los cables no preformados y que contribuyen a la rotura de dichos alambres por fatiga. Las principales ventajas de los cables preformados son:

- Mayor flexibilidad, ya que al curvarse no se sumarán las tensiones internas de fabricación al esfuerzo de flexión debido al arrollamiento en poleas y tambores. Esto equivale por tanto a una reducción de los esfuerzos de flexión.
- Evita efectos de cortadura, al no enredarse las puntas de alambre que se rompen por fatiga, no quedan éstas aprisionadas entre el cable y las gargantas de las poleas, evitándose así que corten otros alambres.
- Mayor duración, consecuencia de las dos ventajas anteriores.

- Fácil manejo. Al cortar un cable preformado los cordones y alambres permanecen en su sitio al no tener tendencia a descablearse y desenrollarse formando cocas.
- Facilita el uso del arrollamiento Lang, al reducir los inconvenientes más propios de dicho arrollamiento, hace posible adaptarlo en mayor número de aplicaciones.

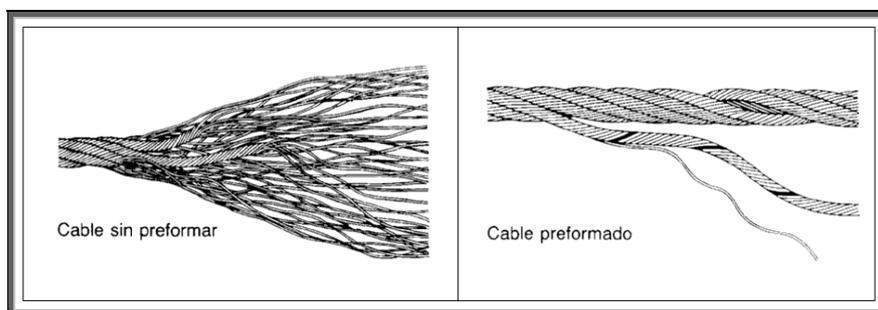


Figura 2.4.- Comparación entre cable preformado y sin preformar

Construcciones

Tipo Seale

El torón tiene dos capas concéntricas de alambres. En cada capa todos los alambres son de un mismo diámetro y los alambres de la capa exterior encajan en los espacios libres entre cada dos alambres de la capa interna. Esta construcción resulta muy fuerte, adecuada para trabajos rudos.

Tipo Warrington

La capa exterior de alambres de cada torón está formada por alambres gruesos y seis delgados, alternados.

Tipo Warrington Seale

Hasta la penúltima capa inclusive, corresponden a la construcción de un cable Warrington, mientras que la última capa es igual a la de los tipos Seale teniendo un mismo número de alambres que en la penúltima capa.

Tipo Filler Wire

Este género más universalmente conocido. Tiene alambres delgados intermedios o de relleno en cada torón, que mantienen en posición a los exteriores.

2.3.- Cargas sobre los cables

A continuación se enumeran las cargas que actúan sobre los cables

- **Peso propio.-** Es la carga uniformemente distribuida a lo largo del cable, y será igual al peso específico por el área de la sección transversal del cable.
- **Peso del vehículo.-** Es el peso generado por los materiales constitutivos del mismo.
- **Carga viva.-** Serán los usuarios y su equipaje, o de ser el caso la carga que soportara el vehículo.

- Carga de frenado o aceleración.- Es la carga que se produce al momento de frenado o incremento de velocidad y será igual a la masa por la aceleración.
- Viento.- Es la presión de viento sobre la cara del vehículo y sobre la superficie del cable.
- Hielo.- Es la sobrecarga producida por la congelación del agua o vapor de agua en el ambiente circundante al cable (para nuestro caso es despreciable porque se encuentra en una zona tropical).
- Sismo.- Es una carga eventual, que de acuerdo a los códigos de construcción son horizontales e iguales a un porcentaje del peso de la estructura.

La aplicación de estas cargas en forma individual o simultánea de acuerdo a las condiciones particulares de trabajo generan diferentes tipos de solicitaciones en los cables, el correcto análisis de estas nos lleva a seleccionar el cable apropiado.

2.4.- Geometrías

Como primer acercamiento al estudio de cables se establece de manera general los patrones de deformación que sufren los cables ante la aplicación de cargas distribuidas (peso propio) y puntuales.

Un cable sujeto en dos puntos y cuelga libremente, soporta su peso propio uniformemente distribuido en toda su longitud y geoméricamente describe una curva que tiene las características de una catenaria.

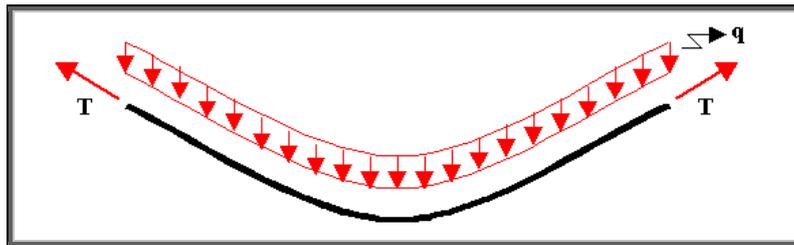


Figura 2.5: Catenaria

En el caso que no existe desnivel entre los puntos de sujeción las fuerzas de tensión (T) en los extremos del cable y a lo largo del mismo dependen de la distancia entre los extremos (X), el peso por unidad de longitud (q) y de la flecha (f) en el centro de la luz.

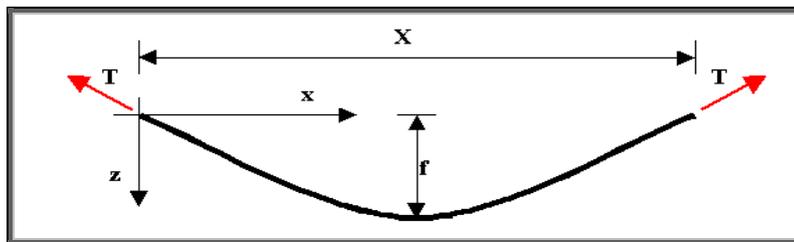


Figura 2.6: Variables de una catenaria

En el caso de que exista desnivel entre los puntos de sujeción se produce una deflexión asimétrica de los cables (Segmento de Catenaria).

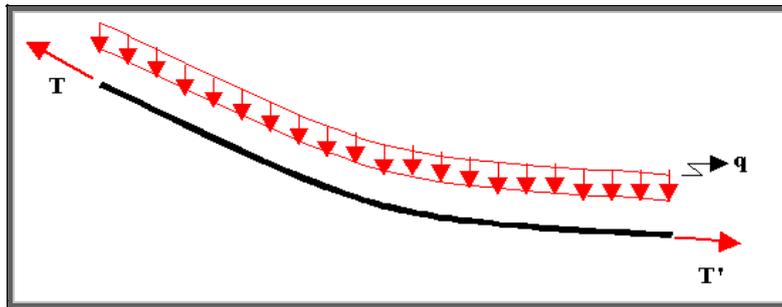


Figura 2.7: Segmento de catenaria

Conociendo o estimando la proyección horizontal del segmento de catenaria X , el desnivel entre los dos extremos de dicho segmento Z e imponiendo un valor para la componente horizontal de la tensión en el extremo más alto del cable se obtiene la sollicitación en el cable.

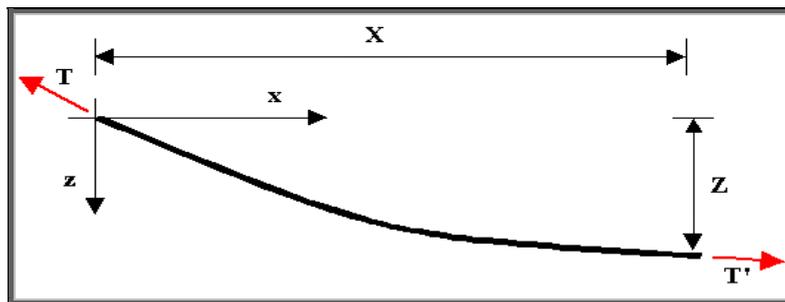


Figura 2.8: Variables de un segmento de catenaria

La geometría producida por una carga puntual (carga Viva) es equivalente a un triángulo, que en cada punto de análisis tendrá dos catetos (a) y (b) que sumados resultan la longitud del cable y en cada uno de estos catetos actuará una tensión (T_1) y (T_2)

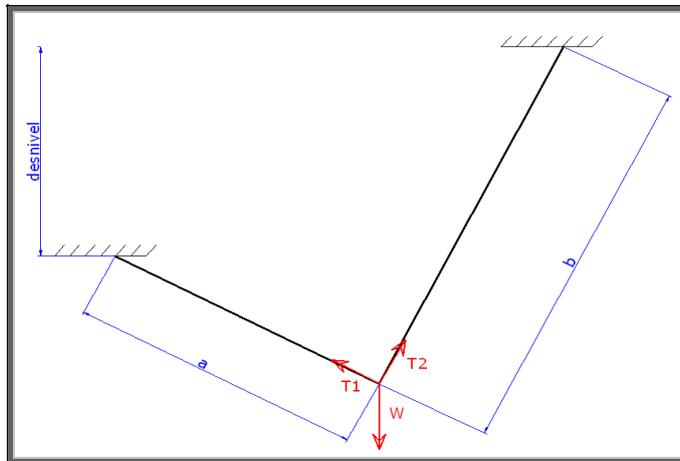


Figura 2.9: Efecto de carga puntual sobre un cable

Para nuestro caso particular, dada la gran longitud y sección del cable, nunca se producirá esta geometría realmente sino que, se dará una superposición de efectos entre la Sección de Catenaria y el triángulo.

2.5.- Deformaciones en los cables

Al someter a una misma carga de tensión, tanto a un cable, como a una barra sólida del mismo material, el alargamiento del cable es mayor debido a que los alambres se “abrazan” entre sí, de igual manera que las fibras de una cuerda.

El área efectiva de un cable es igual a la suma del área transversal de cada alambre que lo constituye, y es menor al área de un círculo con el mismo diámetro del cable debido a los espacios entre alambres

existentes. También el módulo de elasticidad de un cable es menor que el modulo del material del que esta constituido.³

El alargamiento de un cable de acero en uso podría ser producto de varios factores, algunos de los cuales producen elongaciones muy pequeñas que pueden ser ignoradas. La siguiente lista cubre las causas principales del alargamiento de un cable. Siendo las dos primeras las más importantes.

1) Alargamiento debido al acomodamiento de los alambres en los torones y los torones en el cable cuando está puesto en servicio lo que usualmente se conoce como "Alargamiento Permanente por Construcción".

2) Alargamiento elástico debido a la aplicación de una carga axial. Esta se comporta según la "ley de Hooke" dentro de ciertos límites.

3) Expansión o Contracción Térmica debido a variaciones en la temperatura.

4) Alargamiento causado por la rotación de un extremo libre del cable.

5) Alargamiento debido al desgaste por fricción interna de los alambres en el cable, lo que reduce el área de la Sección de Acero originando un alargamiento permanente extra por construcción.

³ Gere J. Timoshenko S. (1998). Mecánica de Materiales. Internacional Thomson. 4ta Edición. México.

6) El alargamiento permanente del cable cuando está sujeto a cargas axiales superiores al "Punto de Fluencia del Acero" (Límite elástico).

1.- Alargamiento permanente por construcción

El valor práctico de esta característica depende de muchos factores. Los más importantes son el tipo y construcción del cable, el rango de cargas aplicadas y la cantidad y frecuencia de los ciclos de operación. No es posible afirmar cifras exactas para los distintos tipos de cables en uso. Pero los siguientes valores aproximados son bastante cercanos a la realidad.

Tabla 2.1 Alargamiento permanente por construcción

Fuente: ABINSA

CARGA	Longitud del Cable	
	Alma de fibra	Alma de acero
Liviana (factor de seguridad 8:1)	0.25	0.125
Normal (factor de seguridad 5:1)	0.5	0.25
Pesada (factor de seguridad 3:1)	0.75	0.50
Pesada con muchos dobleces y deflexiones.	hasta 2.0	hasta 1.0

2.- Alargamiento Elástico.

El módulo de elasticidad también varía con las distintas construcciones de cables, pero generalmente se incrementa con el aumento del área de la Sección de Acero. Usando los valores en la tabla siguiente, es posible obtener una estimación razonable del "Alargamiento Elástico", pero si se

requiere mayor exactitud en la información será necesario realizar una prueba experimental con una muestra del cable en consulta.

Como los usuarios de los cables van a encontrar cierta dificultad en conseguir el área metálica exacta, los siguientes valores están basados en el área circundante en relación al diámetro nominal del cable. Por ejemplo: por un cable de 26 mm de diámetro el área es de 531 mm² y por un cable de 29 mm de diámetro el área es de 660 mm².

Tabla 2.2 Alargamiento permanente por construcción.
Fuente: ABINSA

Módulos de Elasticidad	
Construcción Cables Negros	Módulo de elasticidad Kgs/mm ²
Serie 6x7 Alma de Fibra	6.300
Serie 6x7 Alma de Acero	7.000
Serie 6x19 Alma de Fibra	5.000
Serie 6x19 Alma de Acero	6.000
Serie 6x37 Alma de Fibra	4.700
Serie 6x37 Alma de Acero	5.600
Serie 18x7 Alma de Fibra	4.300
Serie 18x7 Alma de Acero	4.500

Las cifras mencionadas son aproximadas y son aplicables a cables trabajando con un factor de seguridad de alrededor de 5:1.

$$\text{Alargamiento Elástico} = \frac{CL}{EA} (\text{mm})$$

Donde

C = Carga aplicada (Kg)

L = Longitud del cable (mm)

E= Módulo de elasticidad (Kg/mm²)

A= Área aparente del cable (mm²)

3.- Expansión o Contracción Térmica.

El "Coeficiente de Expansión lineal" (α) de un cable de acero es $12.5 \cdot 10^{-6}$ por cada Grado Celsius (1°C), por lo tanto, el cambio en longitud de un cable de 1 metro producido por el cambio de temperatura de 1°C será:

$$\Delta L = \alpha * L_o * \Delta t$$

Donde :

α = Coeficient eExpansiónLineal

L_o = LongitudInicialCable (mm)

Δt = CambioTemperatura (mm)

Este cambio significará un aumento en longitud si la temperatura aumenta y una reducción en longitud si la temperatura baja.

2.6.- Factores de seguridad

El factor de resistencia de un cable de acero es la relación entre la resistencia a la ruptura mínima garantizada del cable y la carga de trabajo a la cual esta sujeta. También hay que considerar el ambiente las circunstancias en el área de trabajo.

Los diferentes proveedores recomiendan de acuerdo al uso de los cables factores de seguridad. Sin embargo todos ellos presentan valores muy similares.

Con formato: Arriba: 2,5 cm, Abajo: 2,5 cm, Distancia del encabezado desde el borde: 1,25 cm, Distancia del pie de página desde el borde: 1,25 cm, Encabezado de primera página diferente

Tabla 2.3: Factores de seguridad recomendados.

USO	FACTOR DE SEGURIDAD
Tirantes de cables o torones (trabajo estático)	3-4
Cables principales para puentes colgantes	3-3.5
Cables de suspensión (péndulo para puentes colgantes)	3.5-4
Cables carril para teleféricos y andariveles	3-4
Cables de tracción para teleféricos y andariveles	5-6
Cables de arrastre para ski	5-5.5
Cada cable de operación de una grúa almeja	4-5
Palas mecánicas – excavadoras	5
Cable de arrastre en minas	4-5
Cables de izaje en minas (vertical e inclinado)	7-8
Grúas tecles y polipastos industriales	6 (mínimo)
Grúas - tipo puente, portal, pluma, derrick, etc	6 (mínimo)
Ascensores – elevadores – para personal	12-15
Ascensores – elevadores – para material y equipo	7-10
Grúas con crisoles calientes de fundición	8 (mínimo)
Cables no rotatorios, antigiratorios, etc.	10 (mínimo)

2.7.- Selección apropiada del cable

La clave para la selección del cable más indicado está en equilibrar correctamente los factores principales, ellos son:

- 1) Carga de Rotura.
- 2) Resistencia a las Flexiones y Vibraciones (Fatiga).
- 3) Resistencia a la Abrasión.
- 4) Resistencia al Aplastamiento.
- 5) Resistencia de Reserva.
- 6) Exposición a la Corrosión.

1.- Resistencia (Carga de Rotura)

Consiste en determinar la máxima carga que el cable deberá soportar, teniendo en cuenta no sólo la carga estática, sino también las cargas causadas por arranques y paradas repentinas, cargas de impacto, altas velocidades, fricción en poleas, etc. Se debería aplicar el factor de seguridad recomendado.

2.- Fatiga (Resistencia a Flexiones y Vibraciones)

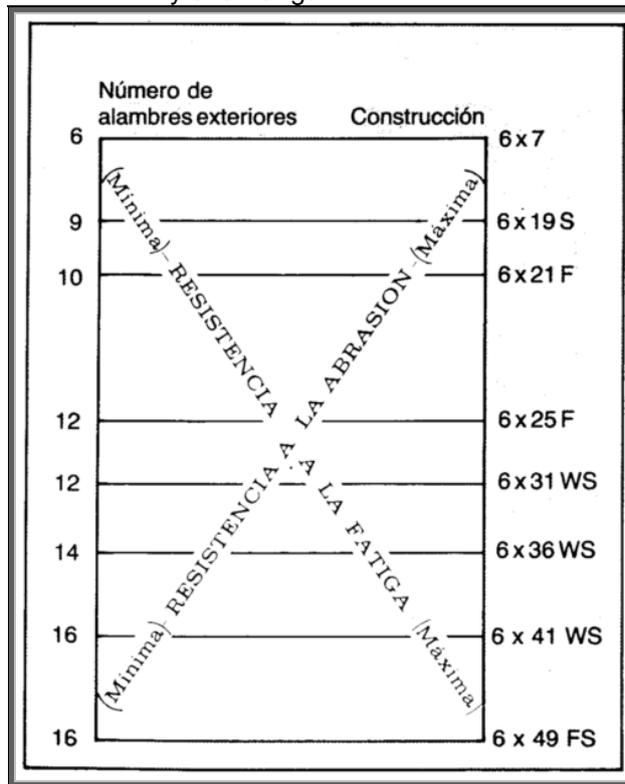
Tiene lugar siempre que un cable de acero se dobla alrededor de poleas, tambores o rodillos. A menor radio de curvatura mayor es la acción de la fatiga. El aumento de la velocidad de operación y las flexiones en sentidos contrarios aumentan este efecto. El mismo fenómeno es producido por vibraciones en cualquier parte del cable.

La fatiga se reduce si las poleas o tambores tienen al menos los diámetros mínimos recomendados para cada tipo de cable.

Otras situaciones pueden ser remediadas utilizando cables más flexibles. El gráfico 2.1 permite elegir la mejor combinación entre la Resistencia a la Fatiga y la Resistencia a la Abrasión. Debe notarse que, por regla general, la resistencia a la fatiga aumenta al aumentar el número de alambres en los torones del cable.

En la práctica estos dos factores gobiernan la mayor parte de las decisiones en la selección del cable, por lo que requiere el más cuidadoso análisis previo a la elección.

Gráfico 2.1: Relación entre la resistencia a la Abrasión y a la Fatiga.



3.- Abrasión

La abrasión es quizás el enemigo más común y destructivo del cable de acero. Se produce siempre que el cable roza o es arrastrado contra cualquier material. Este roce debilita el cable al producir desgaste en los alambres exteriores.

Como en el caso de la fatiga, el mejor remedio para el desgaste excesivo es utilizar la construcción más apropiada. Como regla general, a menor número de alambres y mayor diámetro de ellos, mayor es la resistencia al desgaste abrasivo.

No siempre es necesario cambiar el tipo de cable utilizado pues muchos casos de desgaste anormal son producidos por defectos en el equipo. Por ejemplo, poleas mal alineadas o desgastadas, o enrollado incorrecto y otras condiciones irregulares.

4.- Aplastamiento

El cable puede ser Aplastado por fuerzas exteriores en algunas ocasiones, pero lo más común es el Aplastamiento debido a la operación con cargas excesivas y también al uso de tambores lisos o con, ranuras que no den el apoyo suficiente al cable. También, el Aplastamiento es frecuente en los casos de enrollado en varias capas, en los puntos en que el cable se apoya sobre sí mismo.

Si la carga no puede ser disminuida o los tambores no pueden ser sustituidos por piezas más apropiadas para estas condiciones, debe recurrirse a cambiar el cable por uno de construcción más adecuada para resistir los efectos del aplastamiento. Si se está usando un cable con alma de fibra debe ser sustituido por uno con alma de acero, ya que ésta da mayor soporte a los cordones e impide su deformación. Los cables de torcido

REGULAR, son también más resistentes al aplastamiento que los de torcido LANG.

5.- Resistencia de Reserva

La Resistencia de Reserva de un cable equivale a la resistencia combinada de todos sus alambres, excepto aquellos de las capas exteriores de los torones. A mayor número de alambres mayor es la Resistencia de Reserva, ya que al disminuir el diámetro de los alambres exteriores, mayor sección metálica estará concentrada en las capas internas del torón.

La tabla 2.4 indica el porcentaje de Resistencia de Reserva en cables de 6 u 8 torones, relativas a la cantidad de alambres exteriores en cada torón.

Tabla 2.4: Porcentaje de Resistencia de Reserva

CANTIDAD DE ALAMBRES EXTERIORES	% DE RESISTENCIA DE RESERVA
6	18
8	27
9	32
10	36
12	43
14	49
16	54
18	58

6.- Exposición a la corrosión.

Otro de los enemigos de un cable de acero es la corrosión, producida principalmente cuando el cable trabaja en ambientes húmedos.

Para estos efectos existen cables que se fabrican con alambres recubiertos con zinc o alambres negros o galvanizados que son protegidos con grasas asfálticas durante el proceso de torcido, obteniendo con ello una mejor protección a la humedad, aportando además una lubricación que disminuye el roce entre alambres.

CAPÍTULO III

ESTRUCTURAS METÁLICAS

3.1.- Introducción

Las estructuras metálicas, han tenido un crecimiento vertiginoso en el campo de la construcción en las últimas décadas, debido principalmente a

la versatilidad de sus propiedades mecánicas lo que permite un sinnúmero de opciones de diseño y construcción.

Entre las ventajas podemos enumerar las siguientes:

- Sirve para luces pequeñas, medianas y grandes.
- Cargas pequeñas, medianas y grandes.
- Se puede prefabricar las estructuras.
- Peso propio muy pequeño.
- Cimentaciones menores.
- Versatilidad de tipos de elementos estructurales.
- Se reduce considerablemente el tiempo de construcción por tener elementos pre-fabricados.

Como desventajas podemos enunciar:

- Se requiere personal calificado para su instalación.
- No es recomendable en todos los lugares geográficos. Generalmente donde se tienen condiciones de Salinidad, Humedad, cambios de temperatura elevados y dificultad en el transporte
- La inversión inicial es alta.
- Requiere mantenimiento permanente.
- Disponibilidad del material en nuestro país.

3.2.- Materiales

El acero es un metal que resulta de la aleación de pequeñas cantidades de carbono con el hierro, el cual en estado puro no tiene la resistencia del acero.

Las propiedades varían en función del contenido de carbono que varía entre 0.08 y 2.14 % pudiendo incluso llegar al 6.70 %. Sin embargo la mayoría de aleaciones comerciales no superan el 4.5%. Se hacen también aleaciones con otros elementos como el manganeso, el cromo, el silicio, aluminio, etc.

El acero se puede obtener de dos materias primas:

El arrabio, obtenido a partir del mineral en instalaciones dotadas de horno. Y de las chatarras férricas.

Propiedades:

Las principales propiedades del acero son las siguientes:

- Dureza:

Es la capacidad a oponerse a la penetración de otro material.

- Ductilidad:

Es la característica del acero para deformarse sin llegar a la rotura.

- Resistencia a la tracción:

Es el esfuerzo que puede soportar el acero al estirarlo mediante una

carga axial.

- Maleabilidad:

Es la propiedad del acero que al ser sometido por un esfuerzo de compresión se deforma sin llegar a romperse.

- Tenacidad:

Es la conjugación de la ductilidad y resistencia.

Según la ASTM (American Society for Testing and Materials), existen varias clases de acero, en El Ecuador el acero estructural más común es el A-36 con un límite de fluencia de 2.531 kg/cm^2 .

Tabla 3.1: Tipos de Acero ASTM

Tipo ASTM	USOS
A36	Puente, edificios y estructuras remachadas, atornilladas o soldadas.
A529	Puente, edificios y estructuras remachadas, atornilladas o soldadas.
A441	Puente, edificios y estructuras remachadas, atornilladas pero preferentemente soldadas.
A572	Estructuras remachadas, atornilladas o soldadas no se emplea en puentes soldados si el grado es superior a 50.
A242	Puente, edificios y estructuras remachadas, atornilladas o soldadas siendo muy importante la técnica de soldeo.
A588	Enfocado principalmente a puentes y edificios soldados.
A514	Enfocado principalmente a puentes soldados, requiere mucha atención a la técnica de soldeo, no se usa si la ductilidad es importante.

El manual de la ASTM referente al acero A-36 norma a perfiles, placas y barras de acero al carbono para que mediante mecanismos de unión como remache, pernos o soldadura pueda ser usado en la construcción.

Tabla 3.2: Propiedades mecánicas del acero ASTM A-36.

Tipo ASTM	Esesor	Punto de fluencia mínimo		Resistencia a la tracción	
	plg	Ksi	Kg/cm ²	Ksi	Kg/cm ²
A - 36	8 ≤	36	2534	58	4082
	> 8	32	2252	80	5631

Debido a la composición química este tipo de acero permite ser soldado, garantizando la unión sin tratamientos especiales lo cual facilita su utilización en obra.

Tabla 3.3: Composición Química Acero A-36

Elemento	Acero A-36 Composición %	
	Mínimo	Máximo
Carbono	0.25	0.29
Manganeso	0.60	1.20
Fósforo	0.00	0.04
Azufre	0.00	0.05
Silicio	0.15	0.30

3.3.- Pórticos

Un portico es un sistema estructural conformado por elementos longitudinales que resisten momentos de flexión, corte y carga axial y con conexiones (juntas) que no permiten cambios en los ángulos entre los miembros cargados. Las cargas pueden estar distribuidas a lo largo de los miembros, como en el caso de las cargas gravitacionales, o concentradas totalmente en las conexiones, tales como las cargas de viento. Si la carga axial en un miembro de pórtico es despreciable, el miembro se denomina comúnmente viga. Si el momento y el corte son despreciables y la carga axial es de compresión, el miembro se denomina

columna. Los miembros sometidos a momentos, cortantes y fuerzas axiales de compresión, se denominan corrientemente columnas-vigas (la mayor parte de los miembros verticales se denominan columnas, aunque técnicamente se comportan como columnas-vigas).



Figura 3.1: Nave armada con pórticos

3.4.- Celosías

Una celosía es un ensamble reticular que distribuye cargas a los soportes por medio de una combinación de miembros conectados por juntas articuladas, configurados en triángulos, de manera que idealmente todos se encuentren trabajando en compresión o en tensión pura y que todas las fuerzas de empuje se resuelvan internamente. En la práctica, algunos esfuerzos de flexión pueden ocurrir como resultado de la fricción de las juntas y de las cargas distribuidas aplicadas a los miembros entre las juntas; generalmente, estos esfuerzos son menores comparados con las fuerzas axiales y, por lo común, se ignoran para propósitos analíticos.

El triángulo es la unidad geométrica básica de la armadura; es una forma única, ya que no se puede cambiar sin que cambie la longitud de sus lados aun cuando las juntas estén articuladas. Todos los otros polígonos articulados son inestables.



Figura 3.2: Puente de celosía sobre el Río [Rin](#) ([Alemania](#))

Las uniones pueden ser articuladas o rígidas. En las celosías de nudos articulados la [flexión](#) es despreciable siempre y cuando las cargas que debe soportar la celosía estén aplicadas en los nudos de unión de las barras.

Físicamente las conexiones articuladas pueden ser pasadores, remaches, chapas de cartela o soldadura.

Las conexiones rígidas conectan elementos de estructuras que al ser deformadas por las cargas aplicadas, de tal manera que se deforman el mismo ángulo y en la misma dirección, o sea que se conservan los mismos ángulos entre los elementos, después de que la estructura se ha

deformado bajo la acción de las cargas y son capaces de transmitir fuerzas y momentos entre ellos.

Celosías planas notables

De acuerdo con el uso y disposición de las cargas conviene una u otra tipología o disposición de montantes verticales y diagonales. Algunas de las tipologías más usadas se conocen por el nombre propio de las personas que las patentaron o estudiaron en detalle por ver primera.

En las celosías horizontales con cargas gravitatorias verticales generalmente el cordón superior (conjunto de barras horizontales o inclinadas situadas más arriba) está sometido a esfuerzos de [compresión](#), mientras que el cordón inferior está sometido a esfuerzos de [tracción](#). En cambio, los montantes y las diagonales presentan más variabilidad. Según la inclinación de las diagonales a uno u otro lado pueden estar todas traccionadas, todas comprimidas, con compresiones y tracciones alternas o con una distribución de esfuerzos aún más complicada. El esfuerzo de los montantes a su vez suele ser contrario al de las diagonales adyacentes, aunque esto no es una regla general.

Celosía Long: Los cordones superior e inferior horizontales se unen mediante montantes verticales todos ellos arriostrados por diagonales dobles.

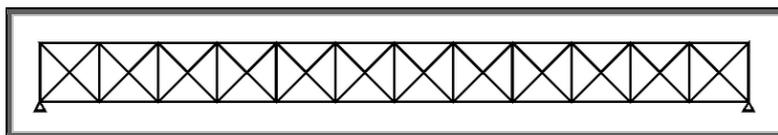


Figura 3.3: Celosía Tipo Long

Celosía Howe: Está compuesta por montantes verticales entre el cordón superior e inferior. Las diagonales se unen en sus extremos donde coincide un montante con el cordón superior o inferior (formando Λ 's). Con esa disposición las diagonales están sometidas a compresión, mientras que los montantes trabajan a tracción.

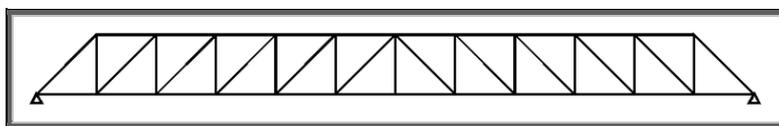


Figura 3.4: Celosía Tipo Howe

Esta tipología no constituye un buen diseño si toda la celosía es del mismo material. Históricamente se usó mucho en la construcción de los primeros puentes de ferrocarril. Con la disposición Howe se lograba que los elementos verticales que eran metálicos y más cortos estuviera traccionados, mientras que las diagonales más largas estaban comprimidas, lo cual era económico puesto que los elementos metálicos eran más caros y con la disposición Howe se minimizaba su longitud.

Celosía Pratt: Representa la adaptación de las celosías al uso más generalizado. A diferencia de una celosía Howe, aquí las barras están inclinadas en sentido contrario (ahora forman V's), de manera que las diagonales están sometidas a tracción mientras que las barras verticales están comprimidas.

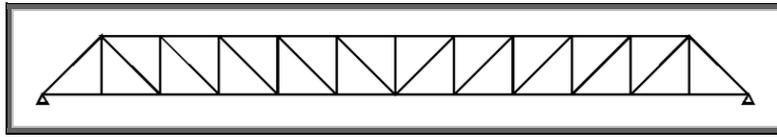


Figura 3.5: Celosía Tipo Pratt

Eso representa ventajas si toda la celosía es de acero, ya que los elementos traccionados no presentan problemas de [pandeo](#) aunque sean largos mientras que los sometidos a compresión si pueden presentar pandeo, lo que obliga a hacerlos de mayor espesor. Puesto que el efecto del pandeo es proporcional a la longitud de las barras interesa que los elementos más cortos sean los que sufren la compresión. La celosía Pratt puede presentar variaciones, normalmente consistentes en barras suplementarias que van desde las diagonales hasta el cordón superior, dichas barras son usadas para reducir la longitud efectiva de pandeo.

La celosía Warren: El rasgo característico de este tipo de celosías es que forman una serie de triángulos isósceles o equiláteros, de manera que todas las diagonales tienen la misma longitud. Típicamente en una celosía de este tipo y con cargas aplicadas verticales en sus nudos superiores, las diagonales presentan alternativamente compresión y tracción. Esto, que es desfavorable desde el punto de vista resistente, presenta en cambio una ventaja constructiva. Si las cargas son variables sobre la parte superior de la celosía.

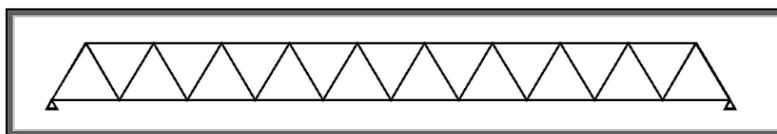


Figura 3.6: Celosía Tipo Warren.

La celosía **Vierendeel**: Tiene como características principales las uniones obligatoriamente rígidas y la ausencia de diagonales inclinadas. De esta manera, no aparecen formas triangulares como en la mayoría de celosías, sino una serie de marcos [rectangulares](#). Se trata por tanto de una celosía empleada en edificación por el aprovechamiento de sus aperturas.

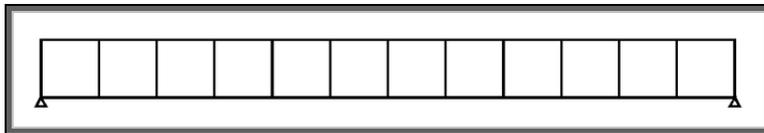


Figura 3.7: Celosía Tipo Vierendeel.

3.5.- Uniones

Las uniones son elementos que permiten unir diferentes piezas y hacerlas trabajar de manera conjunta. Los sistemas de unión más utilizados en la rama de la construcción son:

- Uniones Empernadas
- Uniones Soldadas

3.5.1.- Uniones empernadas

Este tipo de uniones se encuentran integradas mediante elementos conocidos como uniones no permanentes. Siendo los principales elementos el tornillo y la tuerca.

TORNILLO

Básicamente puede definirse como un plano inclinado enrollado sobre un cilindro, o lo que es más realista, un surco helicoidal tallado en la superficie de un cilindro.

El tornillo es en realidad un mecanismo de desplazamiento (el sistema [tornillo-tuerca](#) transforma un movimiento giratorio en uno longitudinal), pero su utilidad básica es la de unión desmontable de objetos

Partes de un tornillo

En él se distinguen tres partes básicas: cabeza, cuello y rosca:

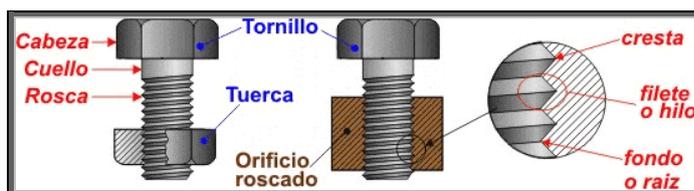


Figura 3.8: Tornillo

La cabeza permite sujetar el tornillo o imprimirle un movimiento giratorio con la ayuda de útiles adecuados; el cuello es la parte del cilindro que ha quedado sin roscar y la rosca es la parte que tiene tallado el surco.

Además cada elemento de la rosca tiene su propio nombre; se denomina filete o hilo a la parte saliente del surco, fondo o raíz a la parte baja y cresta a la más saliente.

Según se talle el surco en un sentido u otro tendremos las denominadas rosca derecha o rosca izquierda.

La más empleada es la rosca derecha, que hace que el tornillo avance cuando lo hacemos girar sobre una [tuerca](#) o un orificio roscado en el sentido de las agujas del reloj.

Se pueden tallar simultáneamente uno, dos o más surcos sobre el mismo cilindro, dando lugar a tornillos de rosca sencilla, doble, triple, según el número de surcos. La más empleada es la rosca sencilla.

Todo tornillo se identifica mediante 5 características básicas: cabeza, diámetro, longitud, perfil de rosca y paso de rosca.

La cabeza permite sujetar el tornillo o imprimirle el movimiento giratorio con la ayuda de útiles adecuados. Las más usuales son la forma hexagonal o cuadrada, pero también existen otras.

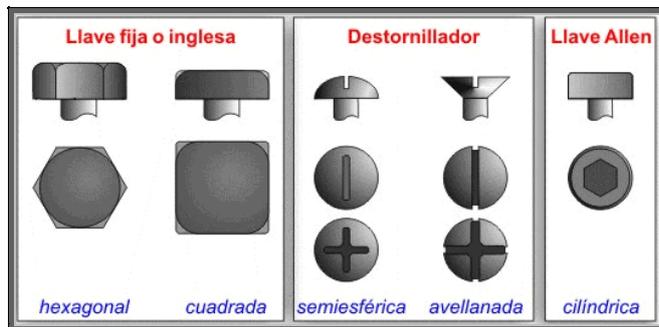


Figura 3.9: Tipos de cabezas.

El diámetro es el grosor del tornillo medido en la zona de la rosca. Se suele dar en milímetros, aunque todavía hay algunos tipos de tornillos cuyo diámetro se da en pulgadas.

La longitud del tornillo es lo que mide la rosca y el cuello juntos.

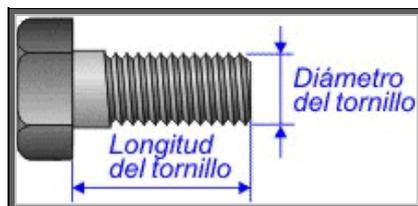


Figura 3.10: Diámetro y longitud del tornillo.

El perfil de rosca hace referencia al perfil del filete con el que se ha tallado el tornillo; los más empleados son:



Figura 3.11: Perfiles de rosca

El paso de rosca es la distancia que existe entre dos crestas consecutivas. Si el tornillo es de rosca sencilla, se corresponde con lo

que avanza sobre la tuerca por cada vuelta completa. Si es de rosca doble el avance será igual al doble del paso.

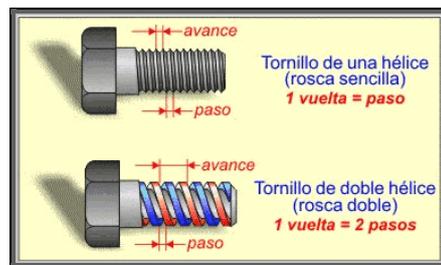


Figura 3.12: Paso de rosca

Combinado con una [tuerca](#) permite comprimir entre esta y la cabeza del tornillo las piezas que queremos unir. En este caso el tornillo suele tener rosca métrica y es usual colocar arandelas con una doble función, proteger las piezas y evitar que la unión se afloje debido a vibraciones.

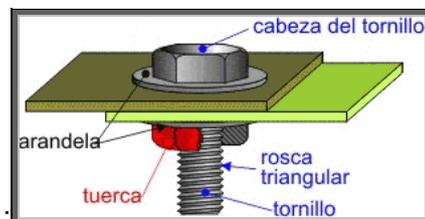


Figura 3.13: Funcionamiento del tornillo

TUERCAS

La tuerca puede describirse como un orificio redondo roscado en el interior de un prisma y trabaja siempre asociada a un [tornillo](#).

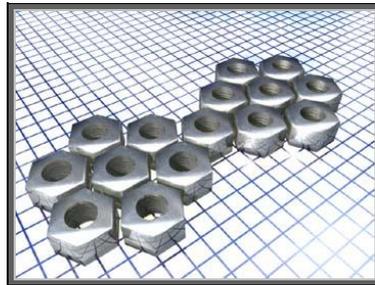


Figura 3.14: Tuercas hexagonales

La tuerca puede describirse como un orificio redondo roscado (surco helicoidal tallado en el interior del orificio) en el interior de un prisma y trabaja siempre asociada a un [tornillo](#).

Toda tuerca se identifica, básicamente, por 4 características: nº de caras, grosor, diámetro y tipo de rosca.

El número de caras de las tuercas suele ser 6 (tuerca hexagonal) ó 4 (tuerca cuadrada). Sobre estos modelos básicos se pueden introducir diversas variaciones que imprimen a la tuerca características especiales (ciega, con reborde, ranurada).

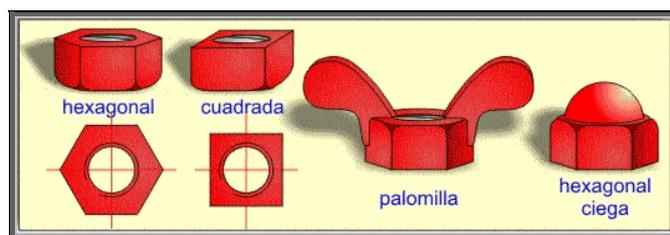


Figura 3.15: Tipos de tuercas

El diámetro hace referencia al [diámetro](#) del tornillo que encaja en ella. Este diámetro no es el del agujero, sino el que aparece entre los fondos de la rosca.

El tipo de rosca se refiere al [perfil](#) de la rosca junto con el diámetro del tornillo que encaja en ella.

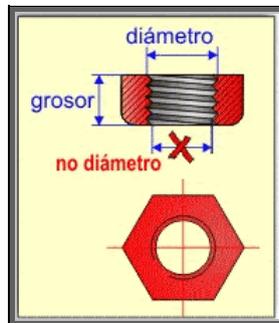


Figura 3.16: Características de luna tuerca.

3.5.2.- Uniones soldadas.

Se define a la soldadura como un proceso del cual se realiza la unión de partes metálicas mediante calentamiento para alcanzar un estado plástico con o sin el aporte de un material adicional de refuerzo.

VENTAJAS DE LA SOLDADURA

El empleo de conexiones soldadas en vez de atornilladas o remachadas permite un ahorro de material (hasta de un 15%).

La soldadura requiere menos trabajo y por lo tanto menos personal que la colocación de remaches o tornillos.

La soldadura permite una gran variedad de conexiones, cosa que no se puede con remaches o tornillos.

Las conexiones soldadas son más rígidas que las demás, lo cual permite una verdadera continuidad en la transmisión de elementos mecánicos entre miembros.

Debido a la mayor resistencia del metal de aportación las conexiones soldadas permiten una gran resistencia a la fatiga.

Las estructuras soldadas pueden repararse muy fácilmente a diferencia del resto.

Las conexiones soldadas permiten ajustes de proyecto más fácilmente que en otro tipo de conexiones.

DESVENTAJAS

Una conexión rígida puede no ser óptima en el diseño.

La revisión de las conexiones soldadas no es muy sencilla con respecto al resto.

3.6.- Códigos

Los códigos que norman el diseño en estructuras de acero son:

AISC (American Institute Steel Construcción)

Perfilería Laminada en caliente

AISI (American iron steel institute),

Perfilería Conformada en frío.

CAPÍTULO 4

SISTEMA MECÁNICO

4.1.- Motores

Los motores son los mecanismos que transforman la energía química presente en el combustible o energía eléctrica en energía mecánica. En el motor esta energía mecánica se manifiesta en la rotación de un eje del motor, al que se une el mecanismo que se quiere mover

4.1.1.- Motores Eléctricos

Un motor eléctrico es un dispositivo rotativo que transforma [energía eléctrica](#) en energía mecánica. En diversas circunstancias presenta muchas ventajas respecto a los [motores de combustión](#):

- A igual potencia su tamaño y peso son más reducidos.
- Tiene un [par de giro](#) elevado y, según el tipo de motor, prácticamente constante.
- Su [rendimiento](#) es muy elevado (típicamente en torno al 80%, aumentando el mismo a medida que se incrementa la potencia de la máquina).
- La gran mayoría de los motores eléctricos son máquinas reversibles pudiendo operar como [generadores](#), convirtiendo energía mecánica en eléctrica.

Por estos motivos son ampliamente utilizados en instalaciones industriales y demás aplicaciones que no requieran autonomía respecto de la fuente de energía, dado que la energía eléctrica es difícil de almacenar.



Figura 4.1: Rotor de un motor eléctrico.

Se compone principalmente de dos partes, un estator que da soporte mecánico al aparato y tiene un hueco en el centro generalmente de forma cilíndrica. En el estator además se encuentran los polos, los cuales pueden estar devanados sobre la periferia del estator, o pueden estar de forma saliente. El rotor es generalmente de forma cilíndrica, también devanado.

Los motores eléctricos pueden ser de corriente continua o de corriente alterna siendo estos últimos más utilizados.

4.1.2.- Motores de Combustión Interna.

Un motor de combustión interna es un tipo de máquina que obtiene [energía mecánica](#) directamente de la [energía química](#) producida por un [combustible](#) que arde dentro de una cámara de combustión, la parte principal de un motor.

Los principales tipos de motores de combustión interna son los siguientes.

Motor convencional del tipo Otto

La eficiencia de los motores Otto modernos se ve limitada por varios factores, entre otros la pérdida de energía por la [fricción](#) y la refrigeración.

En general, la eficiencia de un motor de este tipo depende del [grado de compresión](#). Esta proporción suele ser de 8 a 1 o 10 a 1 en la mayoría de los motores Otto modernos. Se pueden utilizar proporciones mayores, como de 12 a 1, aumentando así la eficiencia del motor, pero este diseño requiere la utilización de combustibles de alto [índice de octano](#).

La eficiencia media de un buen motor Otto es de un 20 a un 25%: sólo la cuarta parte de la energía calorífica se transforma en energía mecánica.

Motores Diésel

En teoría, el ciclo diésel difiere del ciclo Otto en que la combustión tiene lugar en este último a volumen constante en lugar de producirse a una presión constante. La mayoría de los motores diesel tienen también cuatro tiempos, si bien las fases son diferentes de las de los motores de gasolina.

La eficiencia de los motores diesel depende, en general, de los mismos factores que los motores Otto, y es mayor que en los motores de gasolina, llegando a superar el 40%. Este valor se logra con un grado de compresión de 14 a 1, siendo necesaria una mayor robustez, y los motores diesel son, por lo general, más pesados que los motores Otto. Esta desventaja se compensa con una mayor eficiencia y el hecho de utilizar combustibles más baratos.

Los motores diésel suelen ser motores lentos con velocidades de cigüeñal de 100 a 750 revoluciones por minuto (rpm), mientras que los motores Otto trabajan de 2.500 a 5.000 rpm.

Motor de dos tiempos

La eficiencia de este tipo de motores es menor que la de los motores de cuatro tiempos, pero al necesitar sólo dos tiempos para realizar un ciclo completo, producen más potencia que un motor cuatro tiempos del mismo tamaño.

El principio general del motor de dos tiempos es la reducción de la duración de los periodos de absorción de combustible y de expulsión de gases a una parte mínima de uno de los tiempos, en lugar de que cada operación requiera un tiempo completo.

Motor Wankel

Utiliza un rotor triangular-lobular dentro de una cámara ovalada, en lugar de un pistón y un cilindro.

El motor de Wankel es compacto y ligero en comparación con los motores de pistones. Además, funciona casi sin vibraciones y su

sencillez mecánica permite una fabricación barata. No requiere mucha refrigeración.

Como desventaja muy notable se puede decir que tiene problemas de durabilidad.

4.2.- Mecanismos de transmisión

Son dispositivos que transforman el movimiento rotatorio producido por un motor en un movimiento de salida deseado (trabajo mecánico) mediante la conducción y administración de la potencia. Esto suele ser realizado mediante cadenas cinemáticas, que es un sistema mecánico que transmite la potencia mecánica a la carga propiamente dicha.

Los mecanismos de transmisión de potencia más importantes a través de cadenas cinemáticas se puede enumerar las siguientes:

- Sistema de poleas y correas
- Sistemas de cadenas y piñones
- Sistemas de ruedas de fricción
- Sistemas de engranajes
- Sistema de tornillo sinfín
- Rueda helicoidal

- Sistemas de piñón y cremallera

Para las condiciones particulares de un teleférico, son aplicables las primeras cuatro.

4.2.1.- Sistema de poleas y correas

Este sistema se emplea para transmitir la potencia mecánica proporcionada por el eje del motor, entre dos ejes separados entre sí una distancia determinada, esta se debe al rozamiento entre las correas y las poleas, que dependerá de la tensión de la correa y la resistencia de esta a la tracción así como también sus dimensiones.

Las poleas son ruedas con una o varias hendiduras en la llanta, sobre las cuales se apoyan las correas.

Las correas son cintas cerradas de cuero y otros materiales que se emplean para transmitir movimiento de rotación entre dos ejes generalmente paralelos. Pueden ser de forma plana, redonda, trapezoidal o dentada. Este sistema es empleado cuando las necesidades de transmisión de potencia no son elevadas, un inconveniente son las pérdidas que se producen debido al resbalamiento sobre todo al inicio.

Para evitar que las correas se salgan de las poleas, será necesario que las primeras se mantengan lo suficientemente tensas como para que sean capaces de transmitir la máxima potencia entre ejes sin llegar a salirse ni romperse. Para evitar este problema se emplean a veces rodillos tensores, los cuales ejercen sobre las correas la presión necesaria para mantenerlas en tensión.

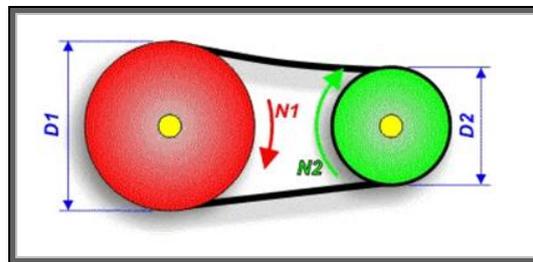


Figura 4.2: Sistema de Poleas y Correas

Los mecanismos de transmisión tienen por lo menos dos ejes, que tendrán por nombre eje motriz y eje conducido, donde el motriz genera el movimiento que estará conectado a un motor, el conducido recibirá el movimiento generado por el eje motriz.

La velocidad de giro de los ejes se puede medir de dos formas:

- Velocidad circular (n) en revoluciones o vueltas por minuto (r.p.m.).
- Velocidad angular (ω) en radianes por segundo (rad/seg).

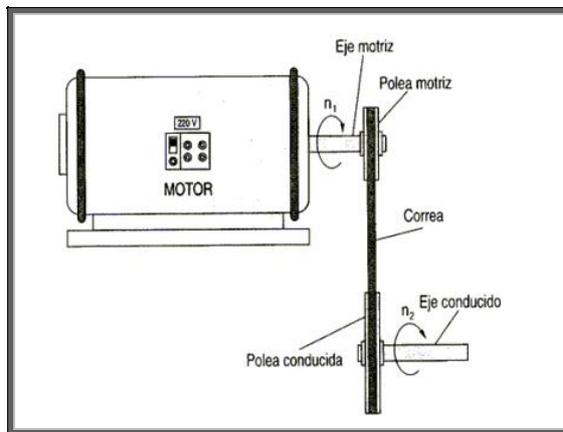


Figura 4.3: Mecanismo con dos ejes

Se denomina mecanismo multiplicador de velocidad a aquél que transforma la velocidad recibida de un elemento motor (velocidad de entrada) en otra velocidad mayor (velocidad de salida).

Se denomina mecanismo reductor de velocidad a aquél que transforma la velocidad de entrada en una velocidad de salida menor.

Transmisión Simple

Es cuando un sistema transmite la potencia entre dos ejes.

Al considerar dos poleas con diámetros “d1 y d2”, que giran a velocidades “n1 y n2” respectivamente recorrerán la misma longitud que recorre la correa en el mismo periodo de tiempo, es decir

$$d1 * n1 = d2 * n2$$

Donde los diámetros son inversamente proporcionales a las velocidades de giro, y debido a esto para tener un mecanismo reductor el diámetro

de la polea motriz deberá ser menor que el de la conducida. En el caso contrario será un mecanismo multiplicador.

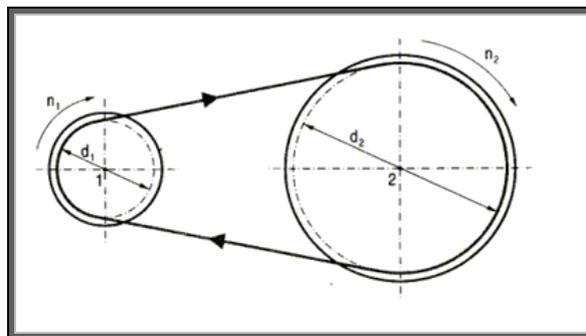


Figura 4.4: Transmisión Simple

Relación de transmisión

La relación de transmisión estará determinada por la letra i

$i = \text{velocidad de salida} / \text{velocidad de entrada}$

$$i = n_2 / n_1 = d_1 / d_2$$

Si $i > 1$ sistema multiplicador

Si $i < 1$ sistema reductor

Transmisión compuesta

Este tiene un movimiento entre tres ejes o más.

Según esto:

$$n_1 * d_1 = n_2 * D_2$$

$$n_2 * d_2 = n_3 * d_3$$

$$i = n_3 / n_1 = (d_1 / D_2) * (d_2 / d_3)$$

$$i = i_{1,2} * i_{2,3} = (d_1 / D_2) * (d_2 / d_3) = (n_2 / n_1) * (n_3 / n_2)$$

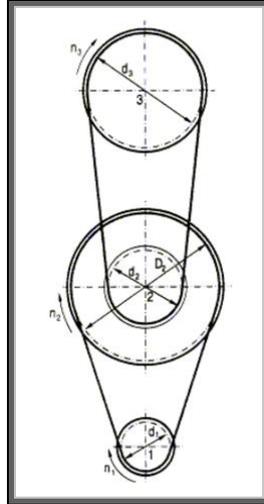


Figura 4.5: Transmisión doble

4.2.2.- Sistema de cadenas y piñones

Mediante este sistema se consiguen transmitir potencias relativamente altas entre dos ejes distantes entre sí, sin que exista apenas resbalamiento o desprendimiento entre las dos ruedas de piñones y la cadena, que es el elemento de enlace que une ambas ruedas.

Este sistema consta de dos ruedas dentadas (piñones) montados sobre dos ejes paralelos y sobre las cuales se adentran los eslabones flojamente articulados que componen la cadena, de manera que al hacer girar una de ellas (rueda motriz) arrastra a la otra (rueda conducida)

Para evitar problemas de pérdida de velocidad por el resbalamiento de la cadena será necesario que ésta se mantenga suficientemente tensa, lo cual se consigue a base de ruedas tensoras dentadas. Además, un sistema de este tipo necesita de un mantenimiento continuo de lubricación para reducir el deterioro y el desajuste entre la cadena y los piñones, así como el funcionamiento ruidoso de éste.

Para este sistema se cumplen las mismas expresiones que en un sistema de poleas de transmisión simple.

$$d1 * n1 = d2 * n2$$

Presenta el inconveniente de ser más costoso, más ruidoso y de funcionamiento menos flexible (en caso de que el eje conducido cese de girar por cualquier causa, el conductor también lo hará, lo que puede producir averías en el mecanismo motor o la ruptura de la cadena), así como el no permitir la inversión del sentido de giro ni la transmisión entre ejes cruzados; además necesita una lubricación adecuada

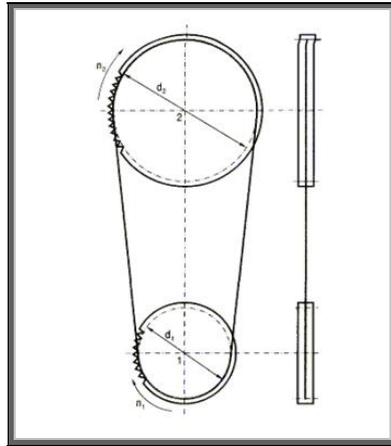


Figura 4.6: Sistema de cadenas y piñones

4.2.3.- Sistema de ruedas de fricción

Consiste en colocar dos ruedas una sobre la otra en sentido longitudinal, de manera que permita la transmisión del movimiento por el rozamiento entre ellas, las mismas que se encuentran sobre ejes paralelos.

A diferencia de los sistemas antes mencionados el sentido de rotación de la rueda motriz será el contrario del de la conducida.

Este sistema funciona cuando se transmite potencias pequeñas, y el rozamiento produce un desgaste sobre las mismas.

Al igual que los sistemas anteriores se cumple

$$n_1 * d_1 = n_2 * d_2$$

Donde $c = (d_1 + d_2) / 2$

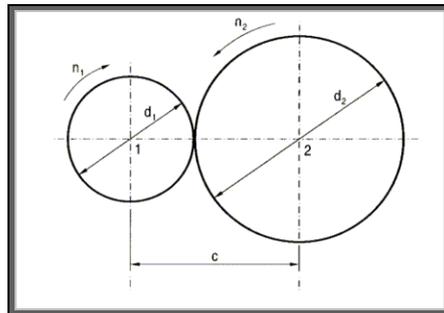


Figura 4.7: Sistemas de ruedas de fricción

4.2.4.- Sistema de engranajes

Se trata de un sistema reversible capaz de transmitir potencia en ambos sentidos, en el que no son necesarios elementos intermedios como correas y cadenas para transmitir el movimiento de un eje a otro.

Este sistema posee grandes ventajas con respecto a las correas y poleas: reducción del espacio ocupado, relación de transmisión más estable (no existe posibilidad de resbalamiento), posibilidad de cambios de velocidad automáticos y, sobre todo, mayor capacidad de transmisión de potencia. En un sistema de este tipo se le suele llamar rueda al engranaje de mayor diámetro y piñón al más pequeño. Cuando el piñón mueve la rueda se tiene un sistema reductor de velocidad, mientras que cuando la rueda mueve el piñón se trata de un sistema multiplicador de velocidad.

En función de la forma de sus dientes y de la del propio engranaje, éstos pueden ser: Rectos. Helicoidales y cónicos.

Engranajes rectos.

Son engranajes cilíndricos de dientes rectos y van colíndales con el propio eje de la rueda dentada.

Engranajes helicoidales.

Son aquellos cuyos dientes están dispuestos siguiendo la trayectoria de hélices paralelas alrededor de un cilindro. Estos engranajes pueden transmitir movimiento (potencia) entre ejes paralelos o entre ejes que se cruzan en cualquier dirección (incluso perpendiculares).

Engranajes cónicos.

Se utilizan para transmitir movimiento entre ejes perpendiculares, aunque también se fabrican formando ángulos diferentes a 90 grados

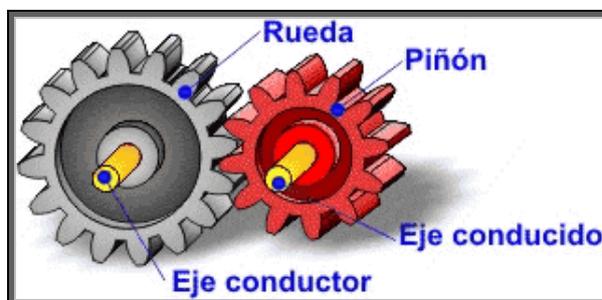


Figura 4.8: Sistema de engranajes

Relación de velocidades

Las velocidades de entrada (eje conductor) y salida (eje conducido) están inversamente relacionadas con el número de dientes de las ruedas a las que están conectados.

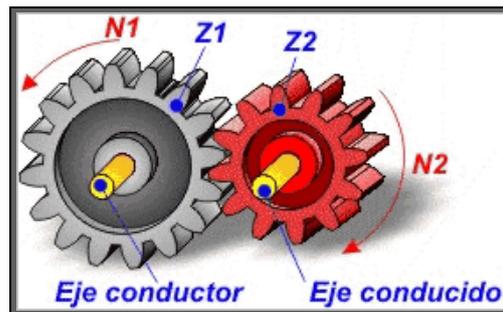


Figura 4.9: Relación de transmisión

$$N1 \cdot Z1 = N2 \cdot Z2$$
$$N2 = N1 \cdot (Z1/Z2)$$

Donde:

N1 Velocidad de giro del eje conductor

N2 Velocidad de giro del eje conducido

Z1 Número de dientes de la rueda

Z2 Número de dientes del piñón

La relación de transmisión del sistema es:

$$i = z2 / z1$$

4.3.- Uniones mecánicas, Accesorios

4.3.1.- Uniones

Las uniones de elementos mecánicos pueden ser mediante soldadura o mediante elementos mecánicos de sujeción. Ambas se trataron brevemente en el anterior capítulo, correspondiente a “Estructuras Mecánicas”.

4.3.2.- Accesorios

Otro tipo de elementos necesarios para el funcionamiento del sistema teleférico son los rodillos o poleas, los cuales están en directa interacción con los cables y otros elementos mecánicos del sistema. Por lo cual es necesario hacer ciertas consideraciones que nos permitan seleccionar los más adecuados para obtener mayor eficiencia, seguridad y durabilidad.

Ranuras o canaletas en los tambores y poleas

La mayor parte de los cables en operación están en contacto con las canaletas de tambores o poleas. A medida que el cable trabaja en estas canaletas, los alambres y torones se deslizan unos sobre otros en un esfuerzo para ajustarse a la curvatura de la polea o tambor. Para permitir este movimiento las ranuras deben ser ligeramente mayores al diámetro real del cable (diámetro nominal más tolerancia máxima).

Una canaleta muy estrecha no sólo apretará el cable, dañándolo, sino que además, la presión que produzca impedirá el libre movimiento de alambres y torones. Una canaleta demasiado ancha no dará suficiente apoyo al cable, causará su aplastamiento y restringirá también el libre movimiento de sus elementos estructurales.

Las poleas corrugadas por el uso deberán ser sustituidas o rectificadas antes de instalar un cable nuevo. En caso contrario la vida del cable se reducirá a causa de su esfuerzo por ajustarse al desgaste ocasionado en la polea por los cables utilizados anteriormente. Es esencial que todos los rodillos, tambores y poleas, se encuentren correctamente alineados, para evitar así el desgaste localizado en el cable.

Por lo general se suele adoptar un perfil de garganta en las poleas formado por el arco de una circunferencia de diámetro ligeramente mayor al del cable que va a instalarse con un ángulo de contacto de 135° . Se enlaza este arco por 2 rectas convergentes que den entre sí un ángulo de 45° , obteniendo entonces un perfil de 1.5 a 2 veces el diámetro del cable.

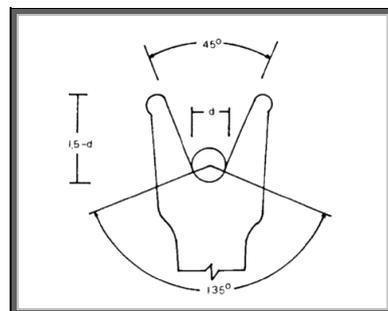


Figura 4.10: Canaletas en poleas

Relación diámetro polea/diámetro cable

Uno de los factores importantes que influye en la vida útil de un cable de acero es la relación entre el diámetro de la polea y el diámetro del cable y esto a su vez tiene relación con el tipo de construcción y cantidad de alambres en el cable.

Se puede decir que para un cable determinado su vida útil aumentará proporcionalmente al aumento en el diámetro de la polea sobre el cual el cable se mueve o trabaja. Igualmente se puede decir que si el diámetro de la polea es inferior a lo aceptable, entonces su rendimiento o vida útil podría ser notoriamente inferior a lo esperado.

En la siguiente tabla se ha puesto una lista de las construcciones de cables de acero más conocidas y utilizadas.

Tabla 4.1: Diámetros de poleas de acuerdo a la construcción

CONSTRUCCIÓN DEL CABLE	DIAMETRO DE POLEAS	
	RECOMENDADO	ACEPTABLE
6 X 7	72*d	42*d
6 X 17 SEALE	56*d	37*d
6 X 19 SEALE	51*d	34*d
6 X 21 (6 X 16 FILLER)	45*d	30*d
6 X 26 WARRINGTON SEALE	42*d	28*d
6 X 25 (6 X 19 FILLER)	41*d	27*d
6 X 31 WARRINGTON SEALE	38*d	25*d
6 X 36 WARRINGTON SEALE	31*d	21*d
6 X 41 WARRINGTON SEALE	28*d	19*d
6 X 43 FILLER SEALE	31*d	21*d
6 X 49 FILLER SEALE	28*d	19*d
8 X 19 SEALE	36*d	24*d
8 X 25 (8 X 19 FILLER)	29*d	19*d
18 X 7	51*d	36*d

CAPÍTULO V

CARACTERÍSTICAS DEL PROYECTO

Previo a la implantación y diseño definitivo del proyecto, es necesario que se apegue a las condiciones reales del sitio, en lo que respecta a Topografía y Geología, lo que permitirá un diseño funcional y con una distribución arquitectónica adecuada.

5.1.- Topografía.



Figura 5.1: Topografía del sitio (Vista desde estación inferior)

El teleférico nació como una solución para el transporte en alta montaña, y considerando que la diferencia de nivel entre los puntos de salida y llegada es de alrededor de los 200 mts. Es importante analizar las condiciones topográficas del proyecto.

5.1.1.- Características generales.

El proyecto se encuentra ubicado en el Cantón San Miguel de Los Bancos, a una altura de 1100 m.s.n.m. en la cuenca del Río Blanco.

El terreno en el que se pretende instalar la estación de salida se encuentra a 2km del centro poblado, con un área de de 1.50 Has., en el cual el margen del peñón tiene una longitud de 274 mts.

El predio de llegada tiene un área total de 83.5 Has compuestos por pastizales, bosques y una isla que se forma con un brazo del Río Blanco, que tiene un área de 12,30 Has que es donde se implantará al estación de llegada.

5.1.2.- Análisis de la faja topográfica.

En el terreno superior se observan curvas de nivel relativamente separadas lo que nos indica se trata de una meseta con diferencias de nivel mínimas, lo cual permite una fácil implantación de la estación y obras complementarias, basándonos únicamente en la planimetría.

En la estación inferior se focaliza el análisis en la isla de 12.30 Has. la cual tiene similares características topográficas que el terreno superior.

A lo largo de la línea del peñón se aprecian curvas de nivel muy cercanas las que nos indican una seria depresión que llega hasta aproximadamente 20 mts. antes del brazo de río.

5.1.3.- Implantación del proyecto.

Por lo antes mencionado se entiende que se colocarán las torres en la meseta y la isla, dado que estas brindan las facilidades de implantación, haciendo que el cable (carril), sea el elemento al que le compete la comunicación de estos dos puntos, venciendo una diferencia de nivel de 200 mts y una longitud de 562 mts.

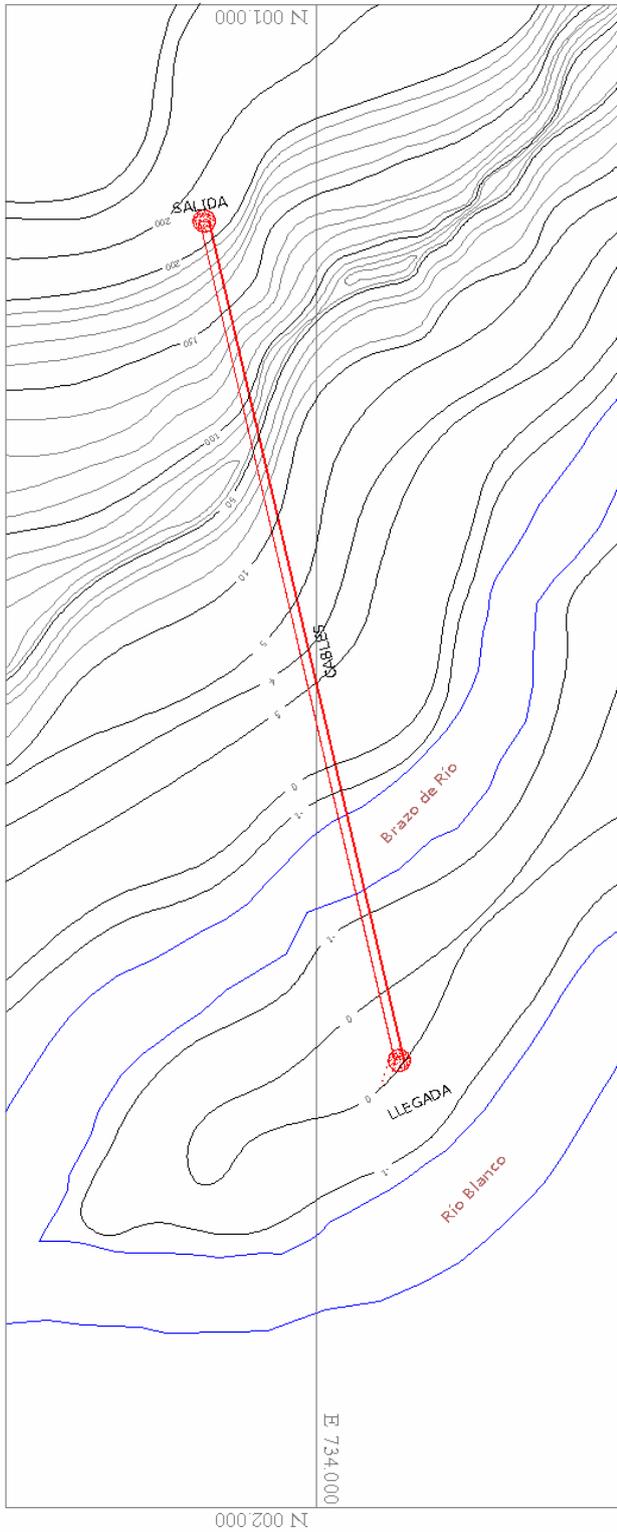


Figura 5.2: Implantación en faja topográfica.

5.2.- Geología y Suelos.

5.2.1.- Características generales.

Una primera aproximación, el estudio de suelos se hace con un análisis de las condiciones particulares de la zona.

El sector de San Miguel de los Bancos es parte del bosque húmedo primario, con una alta pluviosidad. Lo cual hace suponer un suelo saturado. Por observación se distingue una densa capa vegetal, es decir que el estrato superior tiene un alto contenido de materia orgánica.



Figura 5.3: Terreno Superficial (SUELO A)

Como se dijo anteriormente se pretende instalar una estación superior y una inferior, y debido a las diferentes condiciones de los terrenos sobre las que se pretende implantar estas, se ha considerado necesario particularizar este estudio para cada caso.

La estación de salida se encuentra ubicada en la parte superior de la elevación sobre la cuenca del río, lo cual hace suponer que el suelo corresponde a material de depósito, presentándose en el estrato superficial un color café claro a amarillento y en este estudio se lo llamará "SUELO A"

Mientras que en el terreno inferior se presume la presencia de material granular en los estratos inferiores de suelo debido a que se encuentra en el margen del río Blanco. A este suelo se lo denomina "SUELO B".



Figura 5.4: Terreno Superficial (SUELO B)

5.2.2.- Tipología de suelo.

Para determinar el tipo de suelo se realizan ensayos empíricos para determinar su resistencia en base a la experiencia y recomendaciones del CEC (Código Ecuatoriano de la construcción). Con estos criterios se determina:

- En el terreno superior (SUELO A)
Arcilla suave, que se hunde con moderada presión del pulgar con una capacidad segura de apoyo de 0.1 MPa.
- En el terreno adyacente al río (SUELO B)
Arena fina, limo (terrones secos fácilmente pulverizados con el dedo). Con capacidad de apoyo segura de 0.15 MPa.

Para comprobar o modificar esta clasificación se toman muestras de suelo inalteradas para realizar ensayos de suelos : granulometría, contenido de humedad, límites de consistencia, corte directo (SUELO A).

De acuerdo al tipo de proyecto se espera la implementación de cimentaciones superficiales, por lo cual la muestras de suelo se toman a una altura de 1.75 mts. tanto en la estación superior como en la inferior.



Figura 5.5 : Toma de muestra inalterada

Para determinar el tipo de suelo se usan los resultados obtenidos para compararlos con las recomendaciones del SUCS (Sistema Unificado de Clasificación de Suelos).

Este sistema está basado en el análisis granulométrico y en los límites de Atterberg (límites líquido y plástico) de los suelos. La primera y más importante decisión esta dada por el contenido de finos, definido como el correspondiente a partículas de diámetro equivalente menor a 0,075 mm, pasante del tamiz #200. Si menos del 50% en peso del suelo pasa el tamiz #200, entonces el suelo es “grueso” y se subclasifica en arena o grava usando el tamiz #4. De otro modo, el suelo es “fino” y se subclasifica en limo o arcilla, usando los límites de plasticidad. La Figura presenta un esquema simplificado del SUCS.

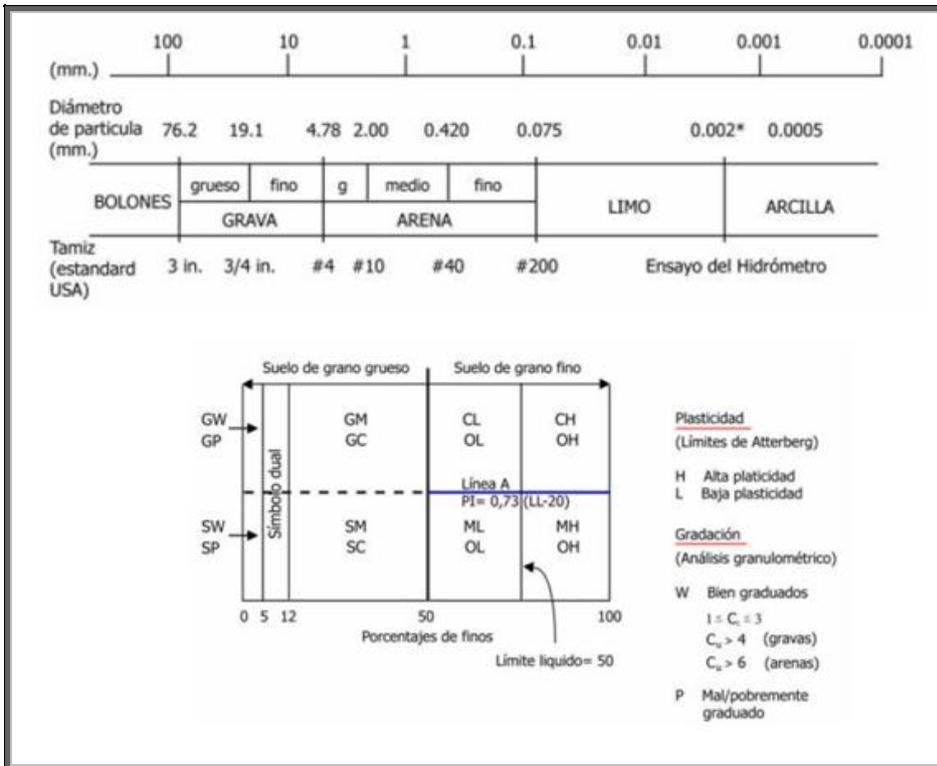


Figura 5.6 : Esquema SUCS



Figura 5.7 : Ensayo Granulométrico.

ESTACIÓN SUPERIOR

Tabla 5.1: Resultados de Granulometría (SUELO A)

ENSAYO DE GRANULOMETRÍA		
Muestra:	SUELO A	
Peso Muestra	434,5 g	
TAMICES	PESO RETENIDO	% RETENIDO
Nº 4	0	0,00%
Nº 10	0,1	0,02%
Nº 16	16,9	3,89%
Nº 25	15,1	3,48%
Nº 40	63,1	14,52%
Nº 60	118,1	27,18%
Nº 100	112,6	25,91%
Nº 200	98,7	22,72%
	9,9	2,28%
	434,5	100,00%

1. Mas del 50% del material es retenido en el tamiz Nº 200, entonces se trata de un material de GRANO GRUESO.
2. Más del 50 % de la fracción gruesa pasa por el tamiz Nº 4, por lo que se trata de ARENAS.
3. Mas del 12% pasa por el tamiz Nº 200, por lo que se clasifica como SM, o SC.
4. El índice de plasticidad es de 3 ($I_p < 4$), por lo cual se concluye que el suelo se trata de un SM (Arenas limosas, mezclas de arena y limo)

ESTACIÓN INFERIOR

Tabla 5.2: Resultados de Granulometría (SUELO B)

ENSAYO DE GRANULOMETRÍA		
Muestra:	SUELO B	
Peso Muestra	488,3 g	
TAMICES	PESO RETENIDO	% RETENIDO
Nº 4	1,9	0,39%
Nº 10	2,3	0,47%
Nº 16	5,2	1,06%
Nº 25	9,8	2,01%
Nº 40	17,5	3,58%
Nº 60	82,5	16,90%
Nº 100	160,7	32,91%
Nº 200	165,3	33,85%
	43,1	8,83%
	488,3	100,00%

1. Mas del 50% del material es retenido en el tamiz Nº 200, entonces se trata de un material de GRANO GRUESO.
2. Más del 50 % de la fracción gruesa pasa por el tamiz Nº 4, por lo que se trata de ARENAS.
3. Mas del 12% pasa por el tamiz Nº 200, por lo que se clasifica como SM, o SC.
4. El índice de plasticidad es de 1 ($I_p < 4$), por lo cual se concluye que tanto el suelo A como el B se trata de un SM (Arenas limosas, mezclas de arena y limo)

5.2.3.- Determinación de la resistencia del suelo.

Se obtiene el valor de resistencia de los suelos, mediante el uso de cuadros de acuerdo al tipo de suelo que se ha determinado.

Se ha considerado que no es necesaria la realización del ensayo SPT (Standard Penetration Test) para determinar la resistencia exacta del suelo, debido a que el suelo presenta condiciones de suelo relativamente favorables si se considera que las cargas a transmitir sobre este no son altas. Razón por la cual se prevé cimentaciones poco profundas. Para compensar esto se realiza una disminución a la resistencia del suelo de los cuadros.

Naturaleza del suelo	Capacidad segura de Apoyo	
	Ton / pie ²	MPa
Lecho macizo de roca dura, como granito.	25 – 100	2.40 – 9.56
Esquisto macizo y otras rocas medianas que requieren voladura para su extracción.	10 - 15	0.96 – 1.43
Arcilla compacta, arena cementada y grava difíciles de arrancar con pico.	8 – 10	0.76 – 0.96
Roca blanda, lecho desintegrado; en lecho natural es difícil de arrancar con pico.	5 – 10	0.48 – 0.96
Arena y grava compactas, que deben arrancarse con pico.	4 – 6	0.38 – 0.58
Arcilla dura, que se debe arrancar con pico.	4 – 5	0.38 – 0.48
Grava, arena gruesa, en lechos naturales gruesos.	4 – 5	0.38 – 0.48
Arena suelta, mediana y gruesa; arena fina compacta.	1.5 – 4	0.15 – 0.38
Arcilla mediana, consistente, pero que se puede arrancar con pala.	2 – 4	0.20 – 0.38
Arena fina suelta.	1 – 2	0.10 – 0.20
Arcilla blanda	1	0.10

Figura 5.8: Capacidad segura de apoyo según tipo de suelo.

Es decir que para efectos de diseño de las cimentaciones en los 2 terrenos estudiados se usa una resistencia del suelo de 0.10 Mpa.

Otra consideración importante en el diseño son la cohesión y el ángulo de rozamiento. Para lo cual se realizó también un ensayo de corte directo.



Figura 5.9: Realización del ensayo de Corte Directo



Figura 5.10: Muestras ensayadas

De este procedimiento se obtuvieron como valores para ambas muestras de suelos (A y B). ANEXO A

Cohesión: 1.85 Kg/cm²

Angulo de Rozamiento Interno de : 30°

5.2.4.- Análisis de alternativas de mejoramiento de suelo.

Como se dijo en el subcapítulo antepuesto, las cargas que se transmiten al suelo, en las cimentaciones de las torres no demandan esfuerzos que no puedan ser resistidos por el tipo de suelo natural de ambos terrenos.

Por esta razón se considera que no es necesaria la implementación de mejoramiento de suelos para mejorar sus características mecánicas.

5.3.- Arquitectura del proyecto.

En lo referente a la distribución de los elementos complementarios del teleférico se prepondera el análisis al terreno superior que colinda con la vía, en el cual se implantará la estación de salida, la misma que contará con estacionamientos vehiculares y una zona de embarque que darán al proyecto las condiciones de funcionalidad y confort necesarias.

5.3.1.- Ubicación de obras complementarias.

Para el adecuado funcionamiento del proyecto se requiere complementar el teleférico propiamente dicho con otros elementos que brinden las facilidades necesarias tales como parqueaderos vehiculares, zonas de espera y embarque, servicios higiénicos y otros.

Aunque la competencia del presente trabajo es el diseño estructural del sistema teleférico, es importante que sea concordante con la arquitectura de otros servicios complementarios a implementarse en el terreno superior. Para lo cual, es necesario delimitar un área que no podrá ser usada con fines ajenos a la implantación de las torres superiores y anclajes. Esta área es de 315 m² y está delimitada por una circunferencia de 20 m de diámetro.

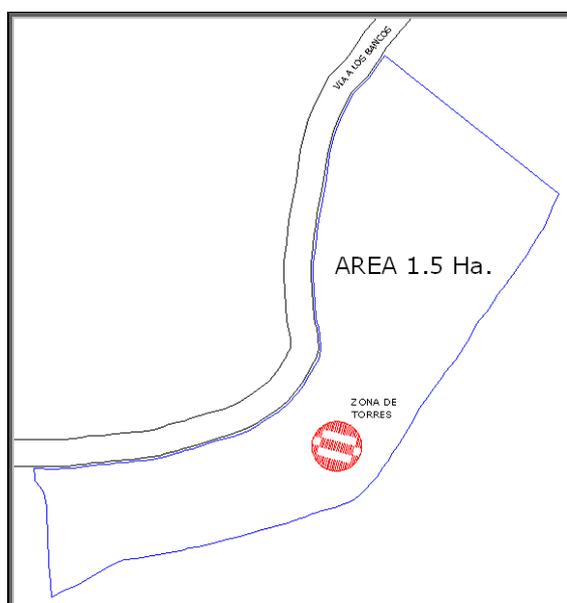


Figura 5.11: Distribución Arquitectónica

5.3.2.- Casa de máquinas.

En la casa de máquinas se ubicará el motor y el sistema de transmisión de potencia el cual se conecta a la polea motriz ubicada en la estación superior.

Con el fin de brindar facilidades en el diseño e instalación del mecanismo de transmisión de potencia, el motor se ubicará junto a la torre y para protegerlo de las condiciones climáticas principalmente de humedad se instalará una cubierta sobre este.

5.3.3.- Cubiertas.

Considerando que el cantón San Miguel de Los Bancos es una zona de alta pluviosidad se ha considerado la ubicación de cubiertas. Aparte del motor hay otros elementos a los que se debe brindar protección a las condiciones ambientales ya sea para elementos mecánicos sensibles a la humedad como también para brindar comodidad al usuario.

Las cubiertas se colocarán sobre los siguientes elementos:

- Zona de embarque y de espera (estación superior)
- Zona de desembarque e información (estación inferior)
- Polea motriz (estación superior)
- Polea conducida (estación inferior)

5.4.- Especificaciones de usuario.

Mediante la observación y análisis de las condiciones particulares del proyecto se pretende determinar la alternativa más favorable tanto de diseño estructural como mecánico ambos temas se detallarán en sus capítulos correspondientes sin embargo en este capítulo se pretende cuantificar dos variables que serán fundamentales en la fase de diseño, estas son cargas esperadas y velocidad requerida.

5.4.1.- Determinación de carga

Las cargas actuantes sobre las estructuras de cimentación y sustentación son consecuencia de las aplicadas sobre los cables más la carga por sismo que no se considera y las cuales se detallan en el proceso de diseño. Para un primer análisis las cargas consideradas son:

- **Peso propio del cable.**
Están en función del diámetro y tipo de cable utilizado.
- **Carga muerta (Peso del vehículo)**
Para efectos de prediseño se considera un peso de vehículo de 180 Kg pero el peso real se definirá luego de diseñar el vehículo de transporte.
- **Carga de viento (Se verifica de acuerdo al periodo)**
La velocidad del viento en la parte mas alta es de 15 Km/h. Luego de efectuado un prediseño se definirá si es necesario incluir este

estado de carga luego de hacer un análisis de periodos de vibración de la estructura

- Carga por sismo (sustentación y anclajes).

No se considera para el análisis de las cargas sobre el cable debido a que estos elementos no ofrecen resistencia a flexión.

- Carga Viva (Peso de personas y equipaje)

Luego de un análisis tentativo de usuarios se prediseña la estructura para que cada cable lleve un vehículo con 8 personas y con su respectivo equipaje.

Se estima un peso por persona de 75 Kg. cada una con un equipaje de aproximadamente 15 Kg.

Entonces se espera un peso total por persona de:

$$75 \text{ Kg.} + 15 \text{ Kg.} = 90 \text{ Kg}$$

Al multiplicar por el número de personas el peso total de la carga viva es de:

$$90 \text{ Kg.} * 8 \text{ personas} = 720 \text{ Kg.}$$

5.4.2.- Determinación de velocidades.

La longitud total del cable deformado desde la torre de direccionamiento y de llegada es de 600 mts y se espera que el recorrido dure aproximadamente 7 minutos para apreciar el paisaje.

Con lo cual se obtiene una velocidad de diseño de 1.42 m/s que es aproximadamente 5 Km/h.

5.5.- Análisis de alternativas

Se muestran a continuación las alternativas más comunes para cada uno de los elementos estructurales constitutivos del teleférico.

e) Sustentación (Cable Carril)

Es un cable de suspensión que debido a la sollicitación de la carga se obliga a cambiar su forma, produciendo únicamente esfuerzos de tensión, que se distribuyen uniformemente sobre su sección transversal.

Es el elemento principal que permite el funcionamiento de un teleférico, este se encuentra suspendido por la estructura portante cuyos apoyos se encuentra en dos o más puntos y a través de este se desplaza el vehículo.

Se puede escoger entre varios tipos de cables, pero la primera selección está basada en el número de cables a usar.

Entre las alternativas se tiene:

A un cable

El vehículo se desplaza suspendido por un solo cable.

Ventajas

- Mayor rango de error permisible y menor tiempo en su instalación
- Bajo costo de instalación

Desventajas

- Necesita de secciones mayores para grandes luces, lo cual aumenta su peso y costo.
- Tiene un menor coeficiente de seguridad.

A dos cables

El vehiculo se encuentra suspendido por dos cables paralelos.

Ventajas

- Mayor estabilidad durante el traslado del vehiculo.
- Mejor coeficiente de seguridad.
- Menores secciones de cable, bajo peso, disponibilidad en el mercado y menor costo.

Desventajas

- Mayor costo en instalación y tiempo de ejecución.
- La precisión es necesaria dado que los dos cables deben ser paralelos tanto en el sentido vertical como horizontal, lo que conlleva a mayor control en el proceso de instalación.

e) Elementos de apoyo

Son elementos verticales, que sirven como sustento del cable carril y el cable motor, que a la vez permite la circulación del vehículo.

Estos deben ser capaces de absorber las deformaciones en los cables.

Pueden ser:

a) Torres, b) Pórticos, c) Columnas



Figura 5.12: Torres

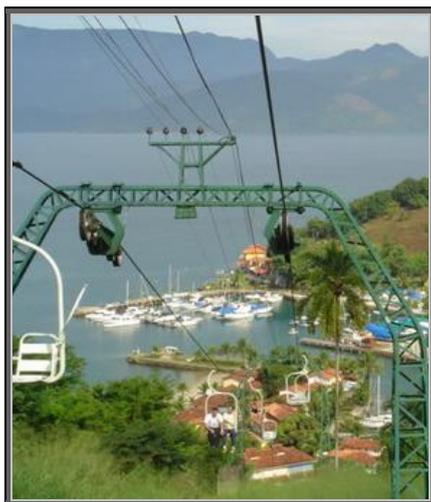


Figura 5.13: Pórticos en celosía



Figura 5.14: Columnas

Cada una de éstas alternativas, pueden admitir las siguientes características de funcionamiento:

Elemento pendular

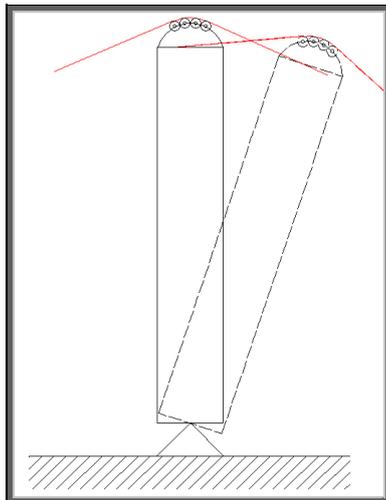


Figura 5.15: Deformación de elemento pendular

Es un elemento isostático, simplemente apoyado en su base y mediante los cables en la parte superior.

Las deformaciones de los cables generan un giro en la base.

Elemento rígido

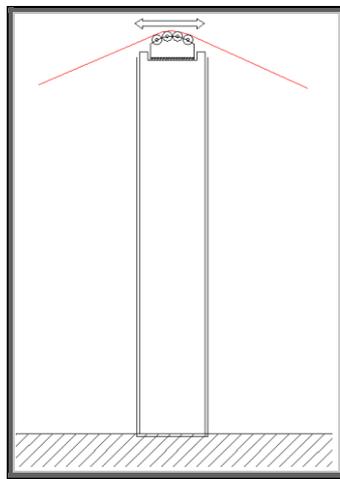


Figura 5.16: Esquema de elemento rígido

Análogo a los puentes colgantes tiene en su parte superior un elemento mecánico denominado "galápago", el cual absorbe las deformaciones de los cables, se encuentra empotrado en su base y se mueve en el plano horizontal, mediante rodillos.

Elemento flexible

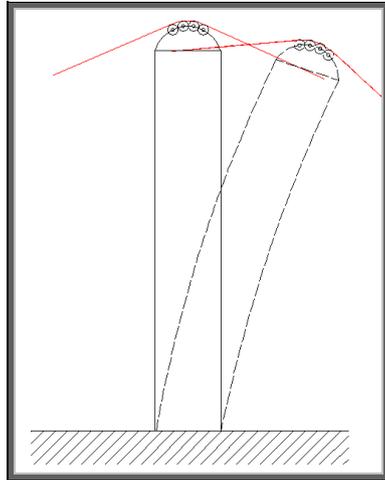


Figura 5.17: Deformación de un elemento flexible

Las deformaciones de los cables son absorbidas por el mismo, es decir su deformación será igual a la de los cables.

c) Anclajes

Es un tipo especial de cimentación, diseñada para resistir una fuerza de tensión lateral o hacia arriba.

Existen dos tipos:

Bloque de anclaje

Son semejantes a zapatas o muros incrustados en el suelo, su capacidad esta regida ya sea por la capacidad de soporte debido al empuje pasivo del suelo y/o peso del bloque.

Barras de anclaje

Son semejantes a los pilotes de fricción, sus capacidades están regidas por la fricción o esfuerzo cortante que se desarrolla a lo largo del cuerpo cilíndrico del hormigón en forma de anclaje.

d) Vehículo

Es el elemento que transporta a las personas y su equipaje, el diseño debe brindar facilidad de acceso, comodidad y seguridad.

Tipo “Canasta”



Figura 5.18: Vehículo tipo “canasta”

Es el elemento más sencillo, bajo nivel de comodidad para personas pero funcional para el transporte de carga, teniendo un bajo costo.

Tipo “Cabina”



Figura 5.19: Vehículo tipo “cabina”

Es adecuado para el uso de personas, brinda las comodidades necesarias y proporciona protección ante adversidades climáticas. Tiene un costo elevado.

Tipo “Telesilla”

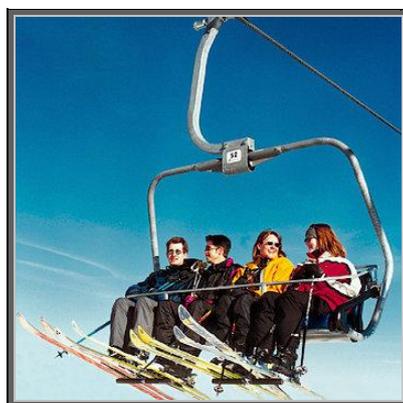


Figura 5.20: Vehículo tipo “telesilla”

Es adecuado para el uso de personas, tiene aplicaciones al turismo de aventura ya que permite una vista panorámica de la zona y sus atractivos.

El costo es intermedio si se los compara con los dos otros sistemas.

e) Alternativas de funcionalidad

La manera de operar un teleférico tiene influencia sobre la estructuración del mismo. Dependiendo del tipo de proyecto se presentarán diferentes alternativas estructurales y mecánicas viables:

- 1) Trazado con Apoyos Intermedios:** Debido a la longitud apreciable del recorrido, y a las condiciones topográficas ventajosas, pueden colocarse torres de apoyo distribuidas a lo largo del proyecto. Las torres intermedias ayudan a controlar las deflexiones en los cables lo que permite utilizar cables de menor diámetro que el que se requeriría sin los apoyos intermedios.

- 2) Trazado sin Torres Intermedias:** En proyectos de longitud limitada, con topografía que no permite colocar torres intermedias solamente se podrán colocar torres en los extremos del recorrido. De igual manera si la longitud horizontal del proyecto es relativamente pequeña (menor a unos 500 m), y el peso de los vehículos de transporte no es excesivo, puede ser económicamente conveniente no recurrir a las torres intermedias.

- 3) Cable de Circuito Completo:** Cuando existen facilidades técnicas y de distribución en planta en los puntos extremos del trayecto, el cable pueden realizar un recorrido completo del circuito (ida y vuelta en el mismo circuito) con las canastas de transporte, desplazándose siempre en la misma dirección.

- 4) **Cable de Medio Circuito:** Cuando no existen facilidades técnicas y de distribución en planta, el cable puede diseñarse para realizar recorridos de medio circuito en sentido normal y en sentido reverso, para prestar el servicio de desplazamiento de las canastas en las 2 direcciones.

CAPÍTULO VI

ANÁLISIS Y DISEÑO

Con formato: Nivel 1

6.1.- **P**redimensionamiento.

Previo al diseño de los elementos se ha considerado conveniente armar un modelo tentativo que mediante consideraciones generales correspondientes a las condiciones reales del proyecto nos permita tener un acercamiento a las dimensiones luego de realizado el diseño definitivo.

Para este predimensionamiento el elemento dirimente es el cable debido a que en función de la geometría inicial que se le dé al mismo varían las tensiones que dimensionarán los elementos de anclaje y sustentación.

De acuerdo a las características topográficas del terreno antes mencionadas se opta por la implantación de 2 puntos de anclaje que soportarán la tensión de los cables carriles que serán sustentados por tres torres, dos de estas interactuarán directamente con los anclajes y una intermedia para direccionar el movimiento de los vehículos.

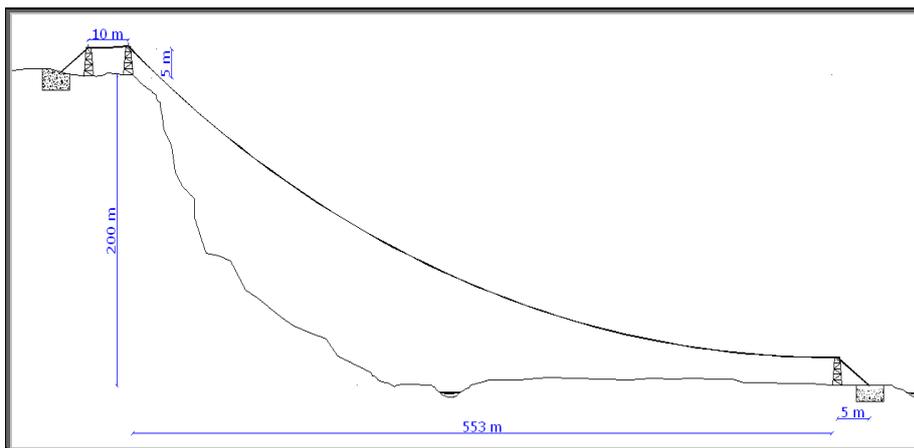


Figura 6.1: Esquema del perfil del terreno.

Con formato: Nivel 1

Para la etapa de predimensionamiento se modela con un cable carril de 28.7 mm. El cual luego será corregido o confirmado.

Para los anclajes se ha seleccionado los bloques de anclajes tomando como base sus múltiples ventajas respecto a otros sistemas. Entre estas:

- No requiere mano de obra ni equipo especializado.

- Tienen un bajo costo respecto de otros sistemas mas elaborados.

Inicialmente las torres tienen una altura tentativa de 5 mts. cada una, lo cual permitirá el ajuste de una geometría del cable más favorable y a la vez facilitará el embarque y desembarque de pasajeros.

Para el modelamiento en programa SAP2000 se hacen algunas consideraciones importantes como:

Secciones de materiales, tipos de apoyos, determinación de geometrías en cables.

Una vez definida la grilla respecto a las dimensiones correspondientes del punto de partida y llegada se colocan los elementos CABLE y se definen los apoyos que serán MÓVILES en las torres para simular el efecto de las poleas y FIJOS en los anclajes.

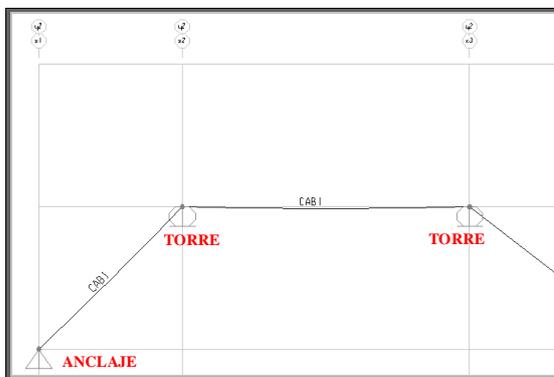


Figura 6.2.- Apoyos de la estación de salida del teleférico

Con formato: Nivel 1

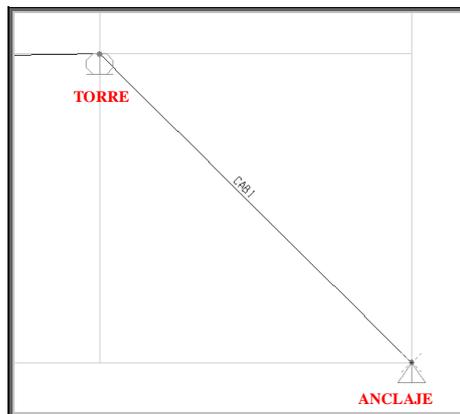


Figura 6.3.- Apoyos de la estación de llegada del teleférico

Con formato: Nivel 1

Cuando se coloca los elementos "CABLE" se pueden adoptar diferentes parámetros de los mismos.

La sección "A" permite definir el tipo de geometría inicial del cable, para este caso se selecciona una deformada definiendo el punto más bajo respecto a la prolongación horizontal del apoyo inferior que se colocó con el valor de 1 metro "B".

El programa permite que el análisis se realice con la geometría sin considerar deformaciones o considerando las mismas, para nuestro análisis el segundo es el adecuado "C".

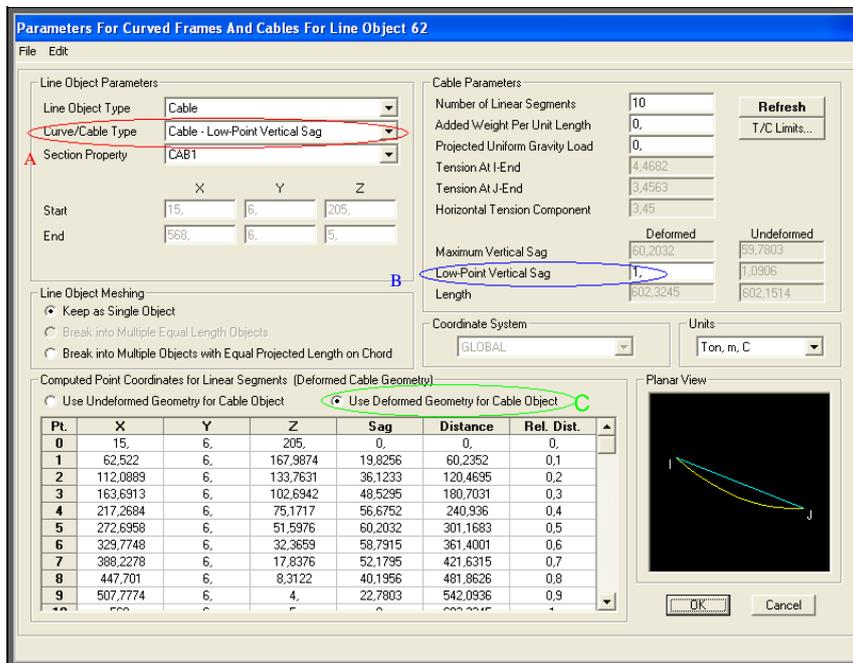


Figura 6.4.- Cuadro de parámetros de curvas de los cables.

Con formato: Nivel 1

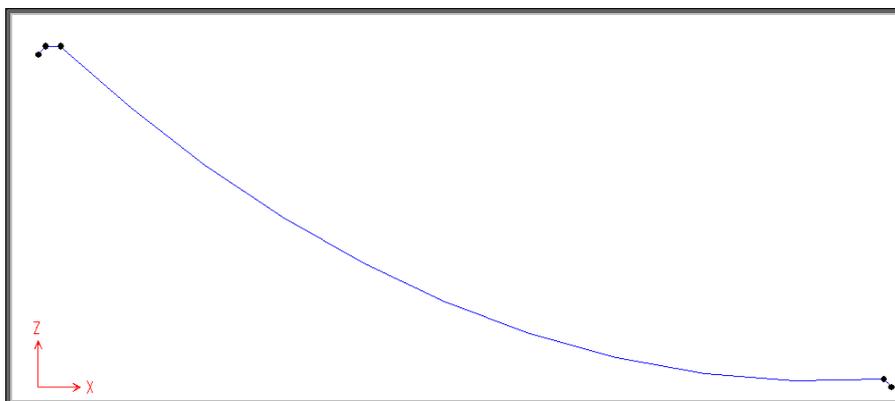


Figura 6.5.- Geometría inicial del cable carril.

Para asignar las solicitaciones por carga móvil se ingresa el valor de 900 Kg. que es el estimado del peso de la cabina más el peso de pasajeros y equipaje, cada décimo de la longitud del cable, y se considera a cada uno de estos como un estado de carga diferente para simular el movimiento del vehículo.

Tabla 6.1: Cargas vivas sobre los cables

Fuente (SAP2000)

TABLE: Cable Loads - Point									
Cable	LoadCase	CoordSys	Type	Dir	DistType	RelDist	AbsDist	Force	
Text	Text	Text	Text	Text	Text	Unitless	m	Ton	
62	1	GLOBAL	Force	Gravity	RelDist	0,1	60,23245	0,9	
62	2	GLOBAL	Force	Gravity	RelDist	0,2	120,46491	0,9	
62	3	GLOBAL	Force	Gravity	RelDist	0,3	180,69736	0,9	
62	4	GLOBAL	Force	Gravity	RelDist	0,4	240,92982	0,9	
62	5	GLOBAL	Force	Gravity	RelDist	0,5	301,16227	0,9	
62	6	GLOBAL	Force	Gravity	RelDist	0,6	361,39472	0,9	
62	7	GLOBAL	Force	Gravity	RelDist	0,7	421,62718	0,9	
62	8	GLOBAL	Force	Gravity	RelDist	0,8	481,85963	0,9	
62	9	GLOBAL	Force	Gravity	RelDist	0,9	542,09208	0,9	
2	0	GLOBAL	Force	Gravity	RelDist	0,5	5,00042	0,9	

Una vez ingresados estos valores se procede a correr el sistema y se verifican los resultados para cada estado de carga.

Tabla 6.2: Reacciones en el anclaje

Cable	LoadCase	AbsDist	Estación de Salida		Estación de Llegada	
			Rx	Rz	Rx	Rz
62	1	60,23245	-3,89	-3,88	3,89	-3,88
62	2	120,46491	-4,28	-4,27	4,28	-4,27
62	3	180,69736	-4,61	-4,60	4,61	-4,60
62	4	240,92982	-4,85	-4,84	4,85	-4,84
62	5	301,16227	-5,00	-4,99	5,00	-4,99
62	6	361,39472	-5,01	-5,00	5,01	-5,00
62	7	421,62718	-4,88	-4,87	4,88	-4,87
62	8	481,85963	-4,59	-4,58	4,59	-4,58
62	9	542,09208	-4,11	-4,10	4,11	-4,10
2	0	5,00042	-3,44	-3,55	3,44	3,43

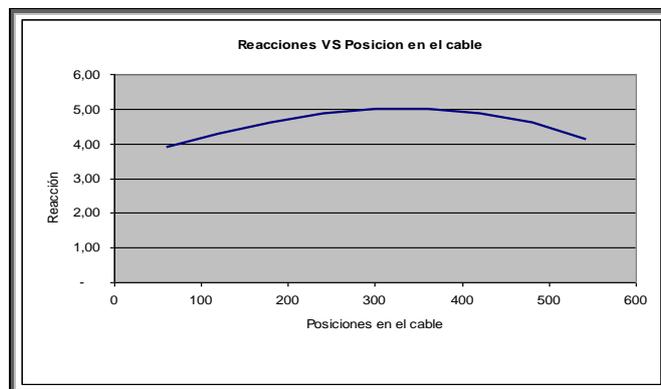


Figura 6.6: Reacciones producidas por las diferentes posiciones del vehículo.

Como se puede apreciar cuando el vehículo se encuentra en el tercio medio del recorrido produce las mayores solicitaciones.

La tensión del cable carril es transmitida al bloque de anclaje el cual debe resistir 5 Toneladas tanto en el sentido horizontal como vertical.

También es importante determinar la tensión que resiste el cable carril y la cual debe ser comprobada en la fase de diseño con el catálogo del fabricante para controlar que el diámetro del cable se encuentre dentro de los rangos de tensión admisibles considerando los factores de seguridad recomendados.

Tabla 6.3: Tensiones en el cable carril

Cable	LoadCase	AbsDist	Tensión	
			Superior	Inferior
62	1	60,23245	5,42	3,89
62	2	120,46491	5,77	4,27
62	3	180,69736	6,05	4,61
62	4	240,92982	6,24	4,85
62	5	301,16227	6,32	5,00
62	6	361,39472	6,29	5,02
62	7	421,62718	6,09	4,89
62	8	481,85963	5,73	4,59
62	9	542,09208	5,19	4,12
2	0	5,00042	4,46	3,45

Otra directriz para el diseño de los demás componentes del teleférico es el cable motriz. Como se menciono anteriormente para un primer análisis se considera una carga puntual sobre el cable de carril de 900 Kg. La tensión que se ejerce sobre el cable carril es la fuerza necesaria para subir el vehículo por el plano inclinado que resulta entre la horizontal y la

trayectoria del mismo sobre el cable carril, considerando también las pérdidas por rozamiento.

Tabla 6.4: Tensiones en el cable motriz.

Dist/rel	Angulo	Normal	Peso x	F. Rozamiento	Tensión
0.1	44,32	0,64	0,63	0,03	0,66
0.2	39,48	0,69	0,57	0,03	0,61
0.3	35,02	0,74	0,52	0,04	0,55
0.4	30,91	0,77	0,46	0,04	0,50
0.5	26,55	0,81	0,40	0,04	0,44
0.6	23,81	0,82	0,36	0,04	0,40
0.7	19,80	0,85	0,30	0,04	0,35
0.8	14,59	0,87	0,23	0,04	0,27
0.9	8,21	0,89	0,13	0,04	0,17

6.2.- Criterios para el diseño del sistema estructural.

Una vez que se tiene una estimación de las dimensiones se procede a realizar un diseño con condiciones más aproximadas a la realidad del proyecto, tanto de cargas como de geometrías.

6.2.1.- criterios de diseño

6.2.1.1.- Comportamiento de los componentes estructurales.

En un teleférico se integran componentes estructurales con comportamientos muy variados: cables, torres de sustentación, cimentaciones, contrapesos de anclaje, etc.

Los cables son elementos que trabajan axialmente, dentro del rango elástico de comportamiento de los materiales, que deben ser diseñados bajo el paradigma de grandes deformaciones, con factores de seguridad altos por su funcionamiento mecánico.

Las torres de sustentación pueden ser metálicas, o de hormigón armado o preesforzado. Son estructuras generalmente esbeltas, con deformaciones comparativamente pequeñas, que podrán ser diseñadas bajo criterios de resistencia última o de esfuerzos admisibles, dependiendo del material y de la geometría escogida.

La cimentación de los elementos de sustentación generalmente es de tipo tradicional, construida en hormigón, por lo que en el diseño estructural se recurre a cargas últimas, y en el diseño de la superficie en contacto con el suelo se utilizan cargas de servicio.

Los contrapesos de anclaje son elementos cuya sustentación depende del peso que poseen, del empuje pasivo que puede desarrollarse en el suelo, y de la capacidad de resistir a fricción la superficie de contacto entre el contrapeso y el suelo.

Los anclajes del cable de alta resistencia logran su funcionamiento gracias a la resistencia a compresión del hormigón en el que se embeben y apoyan, y la resistencia al desgarramiento por corte del hormigón en el que están incrustados.

6.2.1.2.- Estados de carga para el análisis y diseño

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

Para las solicitaciones de servicio se requiere la combinación directa de las cargas que actúan sobre la estructura. Para el caso de presentarse cargas eventuales, se puede mayorar la capacidad resistente en un 33%, o se pueden reducir las cargas en un 25%.

Estados de carga básicos de servicio

Con formato: Nivel 1

$$S = D + D_c + L \quad (\text{Ecuación 1})$$

Donde:

S = carga de servicio

D = carga permanente de las estructuras y otros elementos con excepción del cable

D_c = carga permanente por peso propio del cable

L = carga viva proveniente de las canastillas, las personas y el sobrepeso que llevan las personas.

Estados de carga eventuales de servicio

Con formato: Nivel 1

$$S = 0.75(D + D_c + L + W) \quad (\text{Ecuación 2})$$

$$S = 0.75(D + D_c + L + Q) \quad (\text{Ecuación 3})$$

Donde:

W = carga eventual de viento

Q = carga eventual de sismo

Estados de carga básicos últimos

Con formato: Nivel 1

El ACI-2002 y el CEC-2000 establecen el siguiente estado de carga última base, que será el punto de partida del análisis:

$$U = 1.4D + 1.7L \quad (\text{Ecuación 4})$$

En las estructuras de un teleférico existen 2 tipos de cargas permanentes: cargas cuyo comportamiento básico es estático como las torres y los anclajes, y cargas cuyo comportamiento es semidinámico cuando se combinan con las otras cargas gravitacionales pues sufren grandes desplazamientos, como es el caso del cable. En vista de este hecho es necesario diferenciar el comportamiento del peso del cable, cuyo efecto es más parecido al de las cargas vivas sobre edificios que al de las cargas permanentes tradicionales. Es por ello que el factor de

mayoración del peso de los cables es más apropiado que sea 1.7; eso modificaría el estado de carga en los siguientes términos:

$$U = 1.4D + 1.7D_c + 1.7L \quad (\text{Ecuación 5})$$

Por otro lado el código de diseño de puentes AASHTO establece la siguiente carga última básica, análoga a las cargas ACI-2002 y CEC-2000:

$$U = 1.3 \left[D + \frac{5}{3}(L + I) \right] \quad (\text{Ecuación 6})$$

$$U = 1.3D + (1.3) \cdot \frac{5}{3}(L + I) \quad (\text{Ecuación 6a})$$

La carga viva que actúa sobre el cable es en realidad una carga móvil dinámica cuyo comportamiento es análogo al de las cargas vehiculares de puente, por lo que es más adecuado utilizar los coeficientes definidos en el código AASHTO. En tal virtud la ecuación 5 se transformará en:

$$U = 1.4D + 1.7D_c + (1.3) \cdot \frac{5}{3}(L + I) \quad (\text{Ecuación 7})$$

Donde:

I = carga de impacto

El impacto es una función directa de la velocidad del vehículo de carga elevado al cuadrado (energía cinética) y puede llegar a ser hasta el 30% de la carga viva. En puentes las velocidades de los camiones de diseño

son del orden de 60 Km/h, mientras que en teleféricos la velocidad referencial es del orden de 10 Km/h, lo que vuelve el efecto de impacto 36 veces menor (máximo 0.8% de la carga viva). Es por ello que en la ecuación 7 se puede despreciar el componente de impacto.

$$U = 1.4D + 1.7Dc + (1.3) \cdot \frac{5}{3}L \quad (\text{Ecuación 8})$$

Estados de carga eventuales últimos

Con formato: Nivel 1

El ACI-2002 y el CEC-2000 establecen los siguientes estados de carga últimos cuando se incluye el efecto del viento y del sismo:

$$U = 0.75[1.4D + 1.7L + 1.7W] \quad (\text{Ecuación 9})$$

$$U = 0.75[1.4D + 1.7L + 1.87Q] \quad (\text{Ecuación 10})$$

Incluyendo los nuevos elementos establecidos en las ecuaciones 9 y 10, los estados de carga de diseño serían:

$$U = 0.75 \left[1.4D + 1.7Dc + (1.3) \cdot \frac{5}{3}L + 1.7W \right] \quad (\text{Ecuación 11})$$

$$U = 0.75 \left[1.4D + 1.7Dc + (1.3) \cdot \frac{5}{3}L + 1.87Q \right] \quad (\text{Ecuación 12})$$

Las ecuaciones 1, 2 y 3 se pueden emplear en el diseño por esfuerzos admisibles de un teleférico, mientras que las ecuaciones 8, 11 y 12 se pueden emplear en el diseño por resistencia.

6.3-1.- CablesABLES.

Se realizará el análisis y selección tanto del cable carril como motriz, por separado; se definirán las tensiones generadas en cada uno de estos por separado mediante el empleo del programa estructural SAP2000 y principios fundamentales los cuales permitirán obtener tensiones reales para posteriormente compararlas con las tensiones admisibles proporcionadas por empresas dedicadas a la fabricación de cables.

6.3.1-1.- Cable carrilCarril.

6.3.1.1-1.- Apoyos.POYOS

Para prediseñar el cable carril se consideró este como aislado del sistema por facilidad en el modelamiento en SAP2000. Sin embargo los elementos de sustentación interactúan con el cable y entre sí, razón por la cual se ingresan ambos elementos simultáneamente para obtener tensiones reales sobre el cable aunque son muy parecidas a las obtenidas en el primer caso.

Para esto se modelan las torres y los cables simultáneamente en SAP2000, el detalle de las torres se describe en el capítulo

correspondiente, la competencia del presente capítulo es el comportamiento del cable carril como elemento.

La primera corrección al predimensionamiento es el cambio de las condiciones de apoyo. El modelo del predimensionamiento consta elementos deslizantes que conectaban a los cables con las torres como un apoyo móvil. Una consideración más real se logra al asignar el punto de apoyo como un “constrain” del tipo “equal” (Figura 6.7) que representa el elemento mecánico en el que se restringe únicamente el desplazamiento en el eje Z (Figura 6.8)

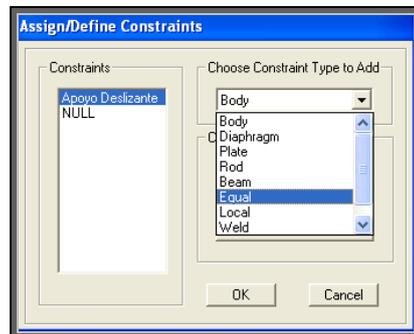


Figura 6.7: Constrain tipo “Equal”

Con formato: Nivel 1

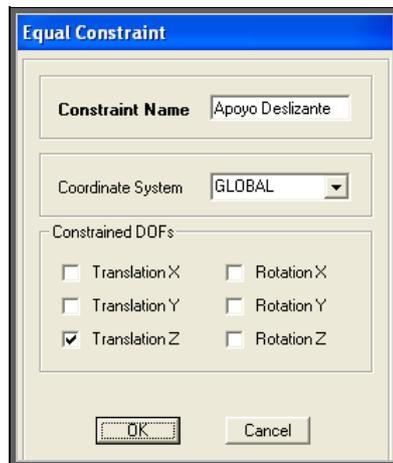


Figura 6.8: Restricción de desplazamientos y giros

Con formato: Nivel 1

Para realizar un modelo integral del teleférico es necesario incluir los dos cables ambos conectados con las torres de sustentación.

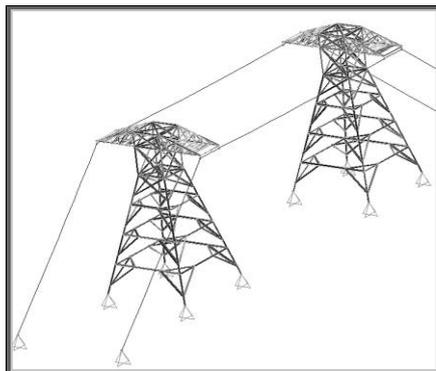


Figura 6.9 Nuevas condiciones de apoyo (estación superior)

Con formato: Nivel 1

6.3.1.1-2.- **Cargas ARGAS**

Las tensiones reales que se generan sobre el cable carril están dadas por el peso propio del cable, la aplicación de la carga viva que para apegarse más a las condiciones reales no se considera una puntual de 900 Kg. como en la fase de prediseño sino que se consideran 4 cargas puntuales de 250 Kg. equivalente a un par de

pasajeros y equipaje + peso de la fracción de vehículo correspondiente.

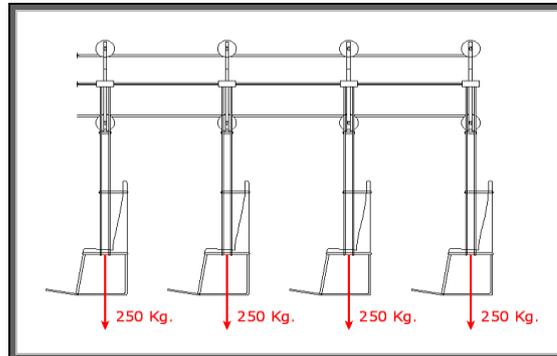


Figura 6.10: Distribución de cargas en el vehículo de transporte

Con formato: Nivel 1

Para asignar las cargas en el modelo del programa SAP2000, se representa el peso del vehículo cargado como cuatro cargas puntuales de 250 Kg. separadas por 1.4 mts. que corresponde a la separación entre cada par de sillas.

Para simular el desplazamiento del vehículo sobre el cable carril se definen 10 estados de carga viva que se cargarán cada 1/10 de la longitud del cable de forma no simultánea.

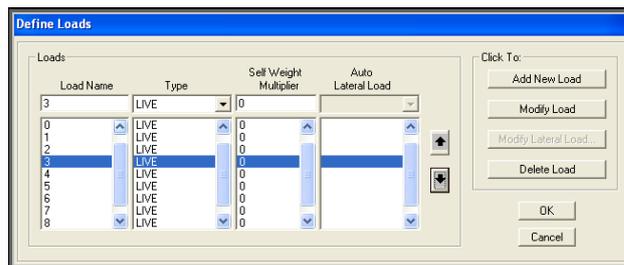


Figura 6.11: Estados de carga viva

Con formato: Nivel 1

En el estado de carga 0 se representa que el vehículo del cable carril A se encuentra en la zona de embarque y el que está sobre el

cable carril B en la estación inferior. Y a partir del estado 1 hasta el 9 la carga sobre el cable A se ubica cada 56 mts. avanzando hacia la estación inferior. Mientras que la carga ubicada sobre el cable carril B avanza de forma análoga hacia la estación inferior.

Se modelará de forma integral todo el conjunto en el que considerarán torres y anclajes. Sin embargo las cargas de sismo y viento afectan únicamente a las estructuras de sustentación y anclajes más no a los cables por lo cual se detallará la manera de modelar con estas cargas.

6.3.1.1.3.- Selección del Cable carril Carril.

Una vez asignadas las cargas y considerando el diámetro utilizado en el prediseño (28,7mm) al correr la estructura el programa SAP2000 determino una carga axial máxima de 8 Ton. Que se produce en el estado de carga 5, es decir cuando los vehículos se encuentran circulando por el tercio medio del cable carril.

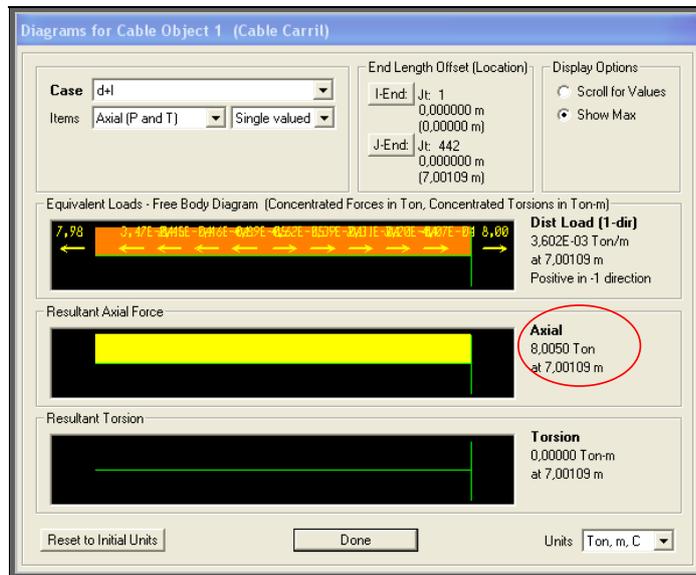


Figura 6.12: Carga axial sobre el cable carril (prediseño)

Con formato: Nivel 1

Para escoger un diámetro de cable comercial, se utiliza los valores de carga reales sin mayorar y se compara con la resistencia a la tensión de los diámetros de los catálogos, considerando el factor de seguridad obtenido de la tabla 2.3 en el capítulo 2. Para el caso de cables carriles para teleféricos es de 3 a 4. Para este caso se usa 3.5.

De acuerdo al catálogo de PRODINSA (Anexo B2) se requiere un cable de 1". Es importante considerar que las propiedades varían de acuerdo al tipo de construcción, las cuales serán modificados en un nuevo modelo más aproximado a la realidad, luego de que se seleccione el cable tomando consideraciones tales como: resistencia, fatiga, abrasión, aplastamiento y exposición a la corrosión.

Para seleccionar el cable más adecuado se debe privilegiar las características más sensibles a cambio de una disminución relativa de aquellas características menos relevantes.

Resistencia

Es el factor mandatorio y define el diámetro del cable. Una primera aproximación en base a este ya se realizó previamente y luego de modificar las propiedades del material se hará una verificación o corrección en la selección.

Con formato: Nivel 1

Fatiga y Abrasión

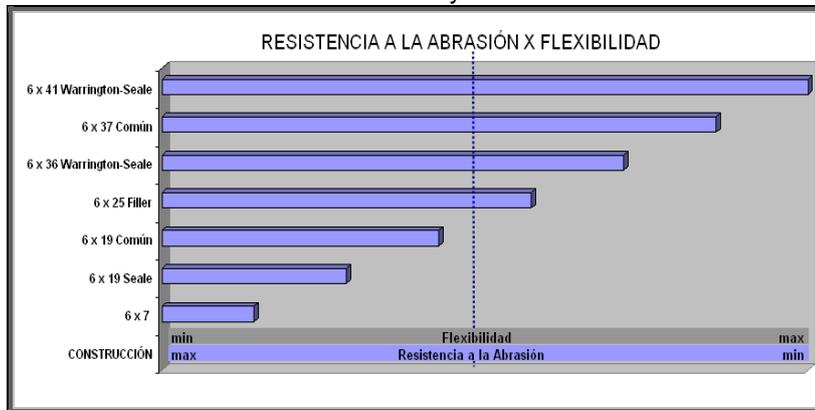
Considerando estos dos factores se selecciona el tipo de construcción más apropiada.

Con formato: Nivel 1

La fatiga es la resistencia a las flexiones y vibraciones, es considerable cuando el cable se dobla alrededor de poleas, tambores o rodillos con bajos radios de curvatura o menores a los recomendados sin embargo para el caso del cable carril no es considerable ya que el cable no dobla alrededor de la polea sino que la utiliza únicamente como apoyo por lo cual la flexibilidad del cable no es mandataria.

Por el contrario la abrasión es un factor mucho más representativo en este caso particular, ya que la fricción entre cable y poleas produce un desgaste en los alambres exteriores.

Gráfico 6.1: Resistencia a la Abrasión y Flexibilidad



Con formato: Nivel 1

En el gráfico se puede apreciar que la mayor flexibilidad de un cable de acero está en proporción inversa al diámetro de los alambres externos del mismo, en cuanto que la resistencia a la abrasión es directamente proporcional a este diámetro.

En consecuencia, se debería elegir una composición con alambres finos cuando prevalezca el esfuerzo a la fatiga de doblamiento, y una composición de alambres externos más gruesos cuando las condiciones de trabajo exijan gran resistencia a la abrasión.

Para cable carril es conveniente utilizar una configuración 6 x 7, Debido a que el número de alambres(7), que forman el torón(6) es reducido. Esto indica una construcción de cables formada por alambres gruesos lo cual le da la característica de ser muy resistente a la abrasión, y tiene una flexibilidad reducida, lo que nos permitirá seguir una trayectoria más homogénea de los vehículos.

Aplastamiento

Para disminuir los efectos debido al aplastamiento se selecciona un cable con alma de acero ya que ésta da mayor soporte a los cordones e impide su deformación.

El alma de acero se ha seleccionado considerando también que prima la resistencia a la tracción.

Exposición a la corrosión

Como las condiciones en las que va a operar el teleférico no son muy agresivas, no es económicamente conveniente utilizar cables con acabado galvanizado. Es recomendable el terminado negro, conocido también como brillante.

Otras consideraciones

Por cuestiones de manejabilidad se recomienda el uso de un cable preformado y arrollamiento corriente.

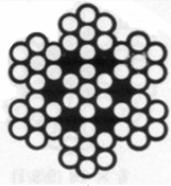
TIPO	JIRAFA (AA-30)		
		DIAMETRO	1" (CONFIRMAR)
		CONSTRUCCION	6 X 7
		ALMA	ACERO (6/1)
		TORCIDO	REGULAR DERECHO
		ACABADO	NEGRO
		PESO ESPECÍFICO	4.87 T/m ³
		MODULO DE ELASTICIDAD	7000 kg/m ²

Figura 6.13: Cable Carril seleccionado

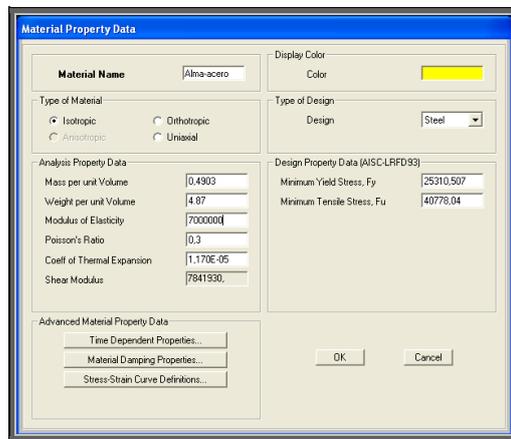


Figura 6.14: Propiedades del material de cable carril (6 x 7 AA)

Con formato: Nivel 1

Con el fin de hacer consideraciones de no linealidad. Se incluye también el efecto p-delta en un estado de análisis, que incluye las cargas de peso propio y parte de las cargas de servicio.

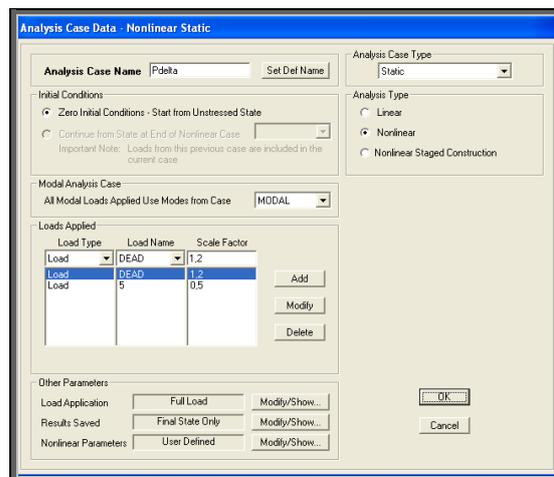


Figura 6.15: Definición de las cargas del efecto p-delta.

Con formato: Nivel 1

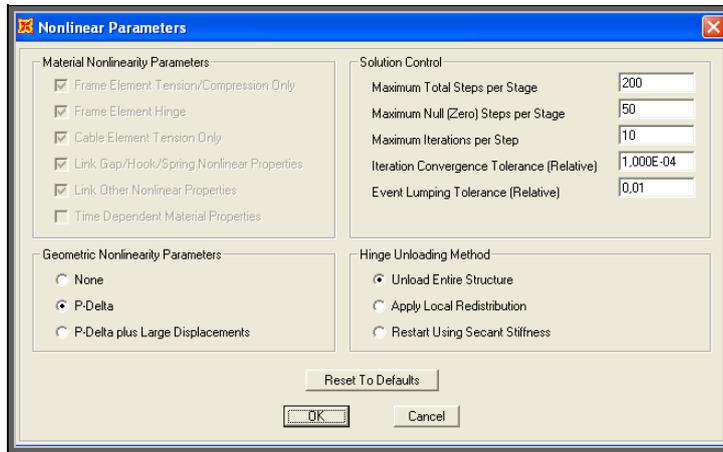


Figura 6.16: Definición geométrica del efecto PDELTA

Con formato: Nivel 1

Una vez ingresadas las propiedades del cable carril, e incluido el efecto p-delta la fuerza axial sobre el cable carril es 4.33 Ton.



Figura 6.17: Tensión sobre el cable carril

Con formato: Nivel 1

Con esta tensión en el cable carril, aplicando el factor de seguridad la carga facturada es de 17.32 T, y comparando con las admisibles del catálogo del anexo, se requiere un cable de 3/4" tipo jirafa 6x7 (6/1)(AA 30).

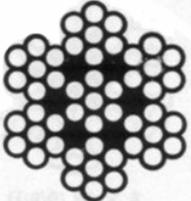
TIPO	JIRAFA (AA-30)		
	DIAMETRO		3/4"
	CONSTRUCCION		6 X 7
	ALMA		ACERO (6/1)
	TORCIDO		REGULAR DERECHO
	ACABADO		NEGRO
	PESO ESPECÍFICO		4.87 T/m ³
	MODULO DE ELASTICIDAD		7000 kg/m ²

Figura 6.18: Cable carril (Selección final).

Con formato: Nivel 1

Otro tipo de deformaciones se producen en el cable durante la fase de operación, que si son comparadas con las provocadas por la carga resultan despreciables. Sin embargo, en esta fase de análisis se estiman este tipo de deformaciones con el fin de descartar la posibilidad que al producirse cambien las condiciones de embarque o desembarque, o dar soluciones en el caso de que resulten representativas.

1.- Alargamiento permanente por construcción

Es debido al acomodamiento de alambres y torones cuando se pone en servicio. Tipificando la carga como NORMAL y consultando la tabla 2.1 del capítulo 2. Se considera un alargamiento de 0.125 %.

$$0.0025 * 562000 \text{ mm} = 1405 \text{ mm}$$

2.- Alargamiento elástico

Tomando en cuenta que el cable carril seleccionado es 6x7 Alma de acero y en base a la tabla 2.2 del capítulo 2. referente al módulo de elasticidad, aplicamos la formula.

$$\text{Alargamiento Elástico} = \frac{CL}{EA} (\text{mm})$$

Donde

C = Carga axial aplicada (Kg) = 4334
L = Longitud del cable (mm) = 562000
E= Módulo de elasticidad (Kg/mm²) = 6300
A= Área aparente del cable (mm²) = 285.0236

El alargamiento elástico es igual a 1356.45 mm.

Con formato: Nivel 1

Con formato: Nivel 1

Con formato: Nivel 1

3.- Expansión o contracción térmica.

Se traduce en un aumento o disminución de longitud de acuerdo al cambio de temperatura.

$$\Delta L = \alpha * L_o * \Delta t$$

Donde:

α = Coeficiente de Expansión Lineal

L_o = Longitud Inicial Cable (mm)

Δt = Cambio Temperatura (mm)

El coeficiente de expansión lineal de un cable de acero es $12.5 \cdot 10^{-6}$ por cada grado Celsius. Y para las condiciones locales se considera una variación máxima de temperatura de 15°C y aplicando la longitud de cable de 562000 mm tenemos:

$$+105.37 \text{ mm} \quad \text{o} \quad -105.37 \text{ mm}$$

Alargamiento Total

Tomando en cuenta que en el modelo realizado en SAP2000, ya se incluye la deformación elástica, únicamente se adicionan el alargamiento permanente por construcción y de expansión térmica que es el caso más desfavorable de incremento de longitud.

$$\text{Alargamiento Total} = 1405\text{mm} + 105.37\text{mm}.$$

$$= 1510.37 \text{ mm}.$$

Se concluye que estas deformaciones son despreciables al ser comparadas con la longitud total del cable

Con formato: Nivel 1

6.3-4.2.- Cable motriz

6.3-4.2.1.- Cargas.

Para el diseño del cable motriz se determina la tensión máxima del mismo haciendo un diagrama de cuerpo libre para la condición más desfavorable, que se produce en el mayor ángulo de inclinación.

Con formato: Justificado

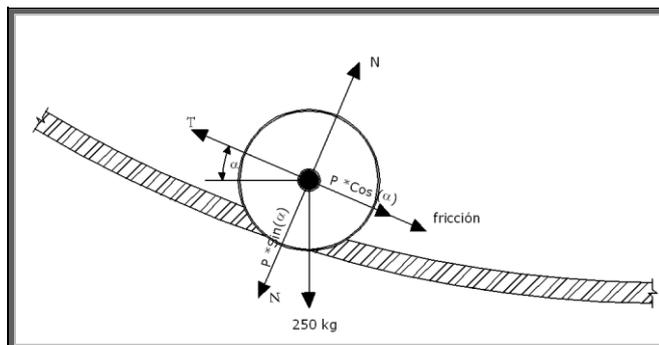


Figura 6.19: Diagrama de cuerpo (cable motriz sobre carril)

Con formato: Nivel 1

El diagrama del cuerpo libre se hace considerando la carga por cada par de personas y equipaje es decir 250 kg. Luego se obtiene el total por vehículo lleno. El coeficiente de rozamiento es, $\mu = 0.005$.

Tabla 6.5: Tensión de diseño en el cable motriz

Dist/rel	Angulo	Normal	Peso x	F Rozamiento	Tensión	T.T. vehículos
0.1	44,32	0,18	0,17	0,01	0,18	0,73
0.2	39,48	0,19	0,16	0,01	0,17	0,67
0.3	35,02	0,20	0,14	0,01	0,15	0,61
0.4	30,91	0,21	0,13	0,01	0,14	0,56
0.5	26,55	0,22	0,11	0,01	0,12	0,49
0.6	23,81	0,23	0,10	0,01	0,11	0,45
0.7	19,80	0,24	0,08	0,01	0,10	0,39
0.8	14,59	0,24	0,06	0,01	0,08	0,30

Tabla con formato

0.9	8,21	0,25	0,04	0,01	0,05	0,19
-----	------	------	------	------	------	------

La tensión necesaria para elevar el vehiculo es de 0.73 Ton. cuando más cercana se encuentra a la estación superior, debido a que es en este punto donde mayor ángulo de inclinación existe.

Como una primera aproximación se modeló el cable motriz con un cable de 1/2", con el cual resulta de tensión por peso propio 0,8761 Toneladas. Al aplicarse las propiedades del material



Figura 6.20.- Carga axial sobre el cable motriz.

Con formato: Nivel 1

6.3.1.2.2.- Selección del cable motriz.

Para la selección del cable motriz se deben tomar en cuenta los mismos factores que en el cable carril, estos son: resistencia, fatiga, abrasión, aplastamiento y exposición a la corrosión. Teniendo en cuenta las características de mayor exigencia para el caso particular.

Resistencia

Con formato: Nivel 1

El programa SAP2000 no nos permite modelar un cable en movimiento, por lo cual para obtener la carga máxima a la que va a estar sometido el cable motriz se adicionan las cargas axiales obtenidas por peso propio y la necesaria para poner en movimiento al vehículo lleno en el punto mas desfavorable. Ambas calculadas previamente.

Comparadas las tensiones de ambos cables (carril y motriz), las del primero son considerablemente mayores. Sin embargo luego de determinar las condiciones del cable motriz más adecuadas se comprobará las tensiones admisibles con las propiedades correspondientes al material de acuerdo al tipo de cable.

Fatiga y Abrasión

El cable motriz dobla alrededor de dos poleas que se determinarán de acuerdo a los diámetros recomendados por el fabricante. Es decir que se debe seleccionar un cable que tenga buen comportamiento tanto a la fatiga como a la abrasión.

Para cable motriz es conveniente utilizar una configuración 6 x 19 debido a que el número de alambres (19), que forman los torones (6) le da la condición de mayor flexibilidad que el seleccionado para cable carril debido a que esta formado por alambres delgados, lo cual le da la característica de ser resistente a la abrasión, y una flexibilidad adecuada para el uso en poleas y tambores.

Con formato: Nivel 1

La selección se la hace con referencia en el Gráfico 6.1

Con formato: Nivel 1

Aplastamiento

Con formato: Nivel 1

El aplastamiento no es un factor crítico para el cable motriz, razón por la cual no es necesario utilizar alma de acero en éste, sino que por el contrario al mantener un cable con alma de fibra se obtienen mejores resultados en cuanto a la elasticidad del cable.

El alma de fibra sintética presenta mejor comportamiento en humedad si se los compara con los de fibra natural.

Exposición a la corrosión

Con formato: Nivel 1

Las condiciones ambientales son las mismas que para el cable carril, por lo tanto se recomienda el uso de un cable en acabado negro o brillante.

Otras consideraciones

Con formato: Nivel 1

Por cuestiones de manejabilidad se recomienda el uso de un cable preformado y arrollamiento corriente.

De acuerdo al catálogo de PRODINSA (Anexo 2) el cable requerido y disponible es TIPO COBRA 6x19(9/9/1). El paréntesis indica la

configuración del torón. 9 alambres externos, 9 intermedios y 1 central.

Sus propiedades son:

Peso específico: 4.97 T/m^3

Modulo de elasticidad: 5.000 kg/mm^2

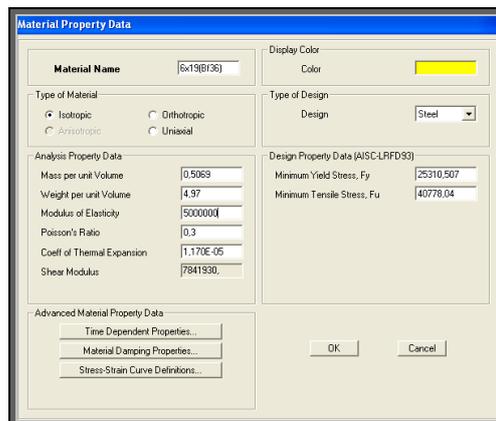


Figura 6.21.- Propiedades del cable TIPO COBRA 6x19(9/9/1).

Con formato: Nivel 1

De acuerdo a las propiedades reales del cable a usarse la tensión generada por el peso propio es 0.5490 Toneladas.



Figura 6.22.- Carga axial sobre el cable motriz
Al sumar la tensión generada por peso propio y la necesaria para arrastrar el vehículo sobre el plano inclinado de mayor inclinación formado entre el cable carril y la horizontal resulta:

Con formato: Nivel 1

$$0.5490 \text{ Ton} + 0.73 \text{ Ton} = 1.279 \text{ Ton.}$$

Al aplicar el coeficiente de seguridad de la tabla 2.3 del capítulo 2 correspondiente a cables motrices para teleféricos y andariveles es 5 – 6. En el caso particular se utiliza 5.5.

Con lo cual se tiene una tensión total de 7.0345 Ton.

Con formato: Nivel 1

Entonces se verifica el diámetro y tipo de cable comercial anteriormente señalado.

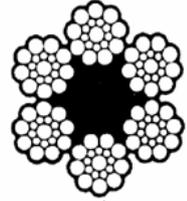
TIPO	COBRA (BF-36)		
		DIAMETRO	1/2 "
		CONSTRUCCION	6 X 19 (3/3/1)
		ALMA	FIBRA
		TORCIDO	REGULAR DERECHO
		ACABADO	NEGRO
		PESO ESPECÍFICO	4.97 T/m ³
		MODULO DE ELASTICIDAD	5000 kg/m ²

Figura 6.23: Cable Motriz (Selección final)

Con formato: Nivel 1

No es necesario verificar los alargamientos durante la fase de operación ya que mediante las poleas del vehículo, la sección del cable motriz que se encuentra operando adopta la geometría paralela a la del cable carril.

6.4.- Aapoyos (Ttorres).

Para el diseño de las torres se ha escogido a celosías espaciales, en forma de pirámides truncadas, las cuales se conectan a brazos también conformados en celosía en forma triangular, con su hipotenusa en la parte superior para evitar fenómenos de esbeltez.

Se ha utilizado la torre de transmisión 1 que SAP 2000 tiene en su programación, a la que se adicionó los brazos de sujeción de los cables y el mecanismo de movimiento del cable motor.

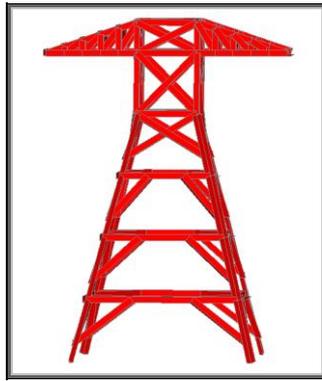


Figura 6.24: Torre Tipo

Con formato: Nivel 1

Las que se han colocado de acuerdo a las figuras 6.2 y 6.3, incluyendo al cable y sus respectivos apoyos como se mencionó en el diseño de los cables.

6.4.1.- Cargas sobre las torres.

Al ya estar determinadas las condiciones de carga viva y peso propio sobre los cables, se determina el peso propio de las torres, las cargas laterales que son las de SISMO (q) y VIENTO (w).

Carga de peso propio (Muerta)

Con formato: Nivel 1

Basta con colocar en SAP2000 1 por el coeficiente de peso propio "self weight multiplier", y el programa determinará esta carga.

Carga Sísmica

Con formato: Nivel 1

Para determinar la carga sísmica se puede utilizar dos tipos de análisis que son el ESTÁTICO EQUIVALENTE y MODAL ESPECTRAL.

Análisis Estático Equivalente.

Con formato: Nivel 1

Para el análisis Estático Equivalente, la carga lateral será función del peso de la estructura. Para el que necesitaremos el valor de "C (Base Shear Coeficient)", que según CEC2000:

$$"C" = \frac{Z * I * C}{R * \phi_p * \phi_e}$$

Según el CEC2000, para este caso se utilizará:

Por ser una torre en celosía atirantada, y por tener un periodo de vibración menor a 0,6 se utilizará

$$"C" = 0,6 * Z * I \quad "C" = 0,24$$

Con formato: Nivel 1

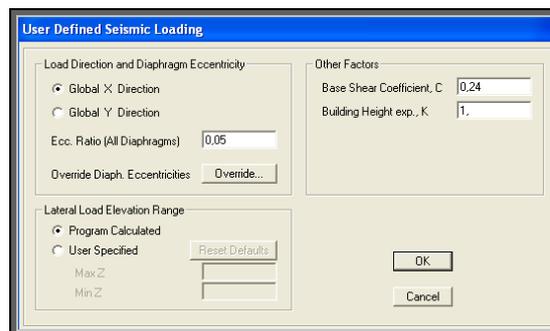


Figura 6.25: Carga sísmica dirección X

Con formato: Nivel 1

Se procede de igual manera para el sentido Y, y para determinar la carga Sísmica se determina que:

Con formato: Justificado

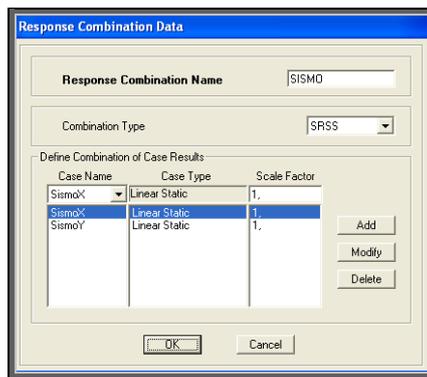


Figura 6.26: Carga sísmica

Con formato: Nivel 1

Análisis Modal Espectral.

Con formato: Centrado, Nivel 1, Interlineado: sencillo

Este análisis es el más aproximado a la realidad, puesto que parte del espectro de respuesta del CEC2000.

Con formato: Nivel 1

Primero se define el espectro de respuesta:

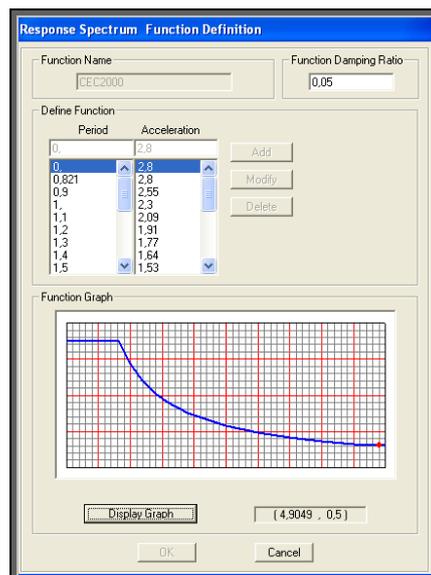


Figura 6.27: Espectro de respuesta CEC2000

Con formato: Nivel 1

Se determinará el caso de análisis para poder proceder al diseño

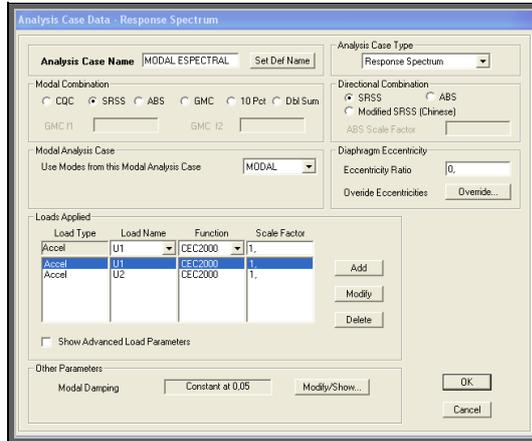


Figura 6.28: Determinación de la dirección del sismo

Con formato: Nivel 1

Carga de viento (W)

Con formato: Nivel 1

La carga de viento está en función de la velocidad del viento y el ángulo de inclinación del área de contacto.

En cada cara de la torre el área de contacto es de 10.44 m², y el área vacía es del 70% es decir el viento choca con el 30 % de esta área.

~~En cada cara de la torre el área de contacto es de 10.44 m², y el área vacía es del 70% es decir el viento choca con el 30 % de esta área.~~

Con formato: Justificado

Tabla Figura 6.6: Determinación de las cargas de Viento

Con formato: Nivel 1

Carga de viento			
Velocidad del viento	16	km/h	
Velocidad de diseño	80	km/h	
Carga de viento	30,86	Kg/m2	
Altura	Área	A. Corregida	C. Aplicada en los

Tabla con formato

	(m2)	(m2)	nudos (T)
1,00	2,75	0,77	0,0238
2,00	2,25	0,63	0,0194
3,00	1,75	0,49	0,0151
4,00	1,25	0,35	0,0108
5,00	1,00	0,28	0,0086
5,50	1,50	0,42	0,0130

Se hace notar que la carga está duplicada, dado que el viento actúa en las dos barras de la torre.

6.4.2.- Selección de perfiles.

Para la confección de la torre se han determinado los materiales a usar, previa consulta a proveedores locales, los cuales se definen para su posterior uso.-

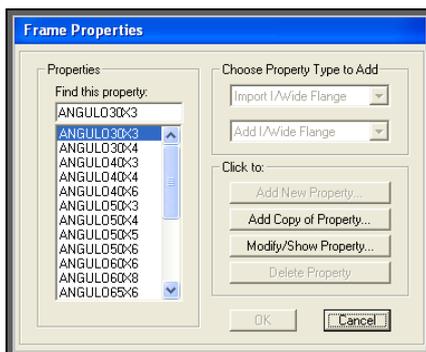


Figura 6.29: Definición de secciones disponibles de ángulos.

Con formato: Centrado, Nivel 1

El paquete informático SAP2000 ofrece facilidades gráficas de diseño y rediseño con el que se obtienen los perfiles necesarios para resistir las solicitaciones.

Con formato: Justificado

~~Una vez asignada una sección tentativa e ingresadas todas las cargas, se corre el modelo.~~

~~Para el diseño de los elementos de las torres en celosía espacial se utiliza la opción "Steel Frame desing", el cual permite conocer que elementos sobrepasan su capacidad, para sustituirlos si es necesario, realizándose las iteraciones necesarias hasta que todos los elementos cumplan con los esfuerzos admisibles de la AISC.~~

~~Cuando se inicia el proceso de diseño, se observa que el programa despliega cada uno de los elementos de la torre con un color que representa la fracción~~

$$\frac{E_u}{E_{adm}}$$

~~donde :~~

~~E_u : Esfuerzo Ultimo~~

~~E_{adm} : Esfuerzo admisible~~

Con formato: Nivel 1

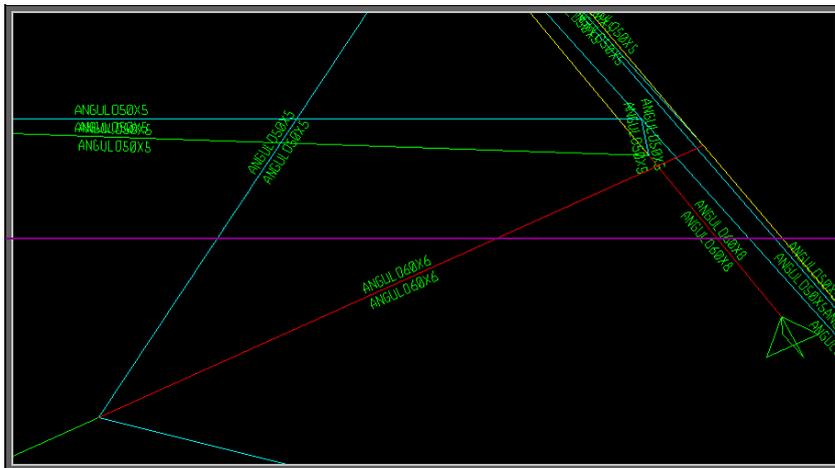


Figura 6.30: Ejemplo de falla de un elemento.

Siempre que esta relación sea menor a 1 se marca con un color diferente de rojo e indica que cumple con las especificaciones de diseño del AISC.



En el caso contrario es necesario asignar una nueva sección a los elementos marcados con color rojo.

Para esto una vez que se conocen que elementos cumplen con las condiciones de diseño y cuales no de acuerdo a los colores mostrados en el programa SAP2000. Se marca las barras que sobrepasan los esfuerzos admisibles (rojas) y se abre una ventana que muestra las características particulares del elemento y los detalles de la falla. Un elemento puede fallar por carga axial, flexión o esbeltez.

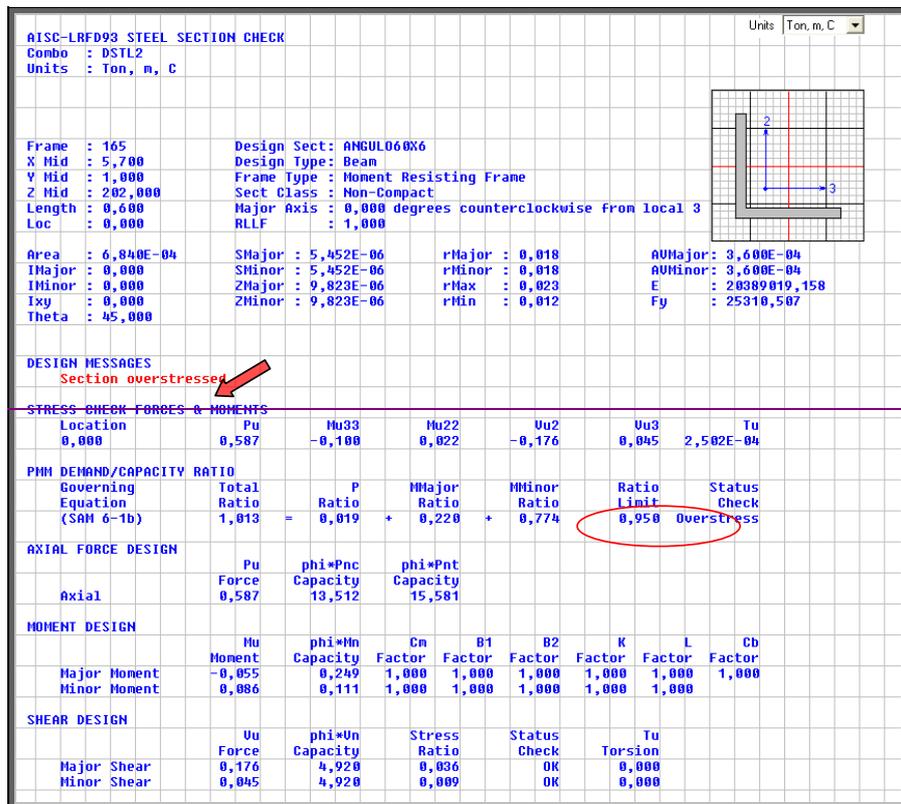


Figura 6.31: Detalles de un elemento que falla.

Previo análisis del motivo de falla se asigna una nueva sección que se supone satisfaga con el diseño.

Este proceso se repite hasta que la relación antes mencionada sea menor a 1 (color diferente a rojo). Entonces se marca y se despliega un cuadro en el que se puede apreciar las características del elemento.

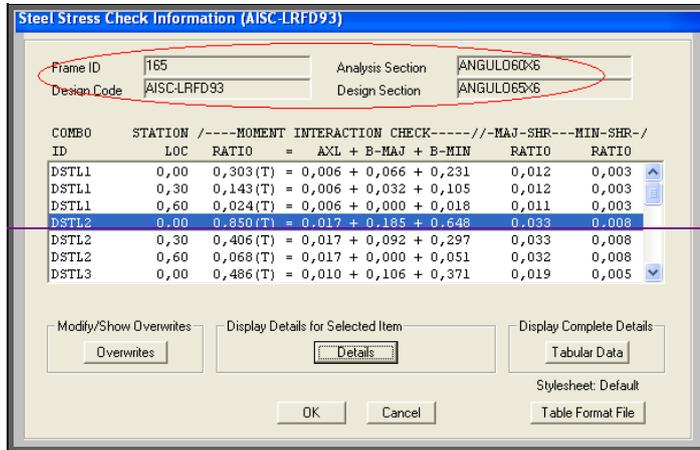


Figura 6.32: Características de la nueva sección.

También se verifican los detalles de la nueva sección asignada, que cumple con las condiciones de diseño

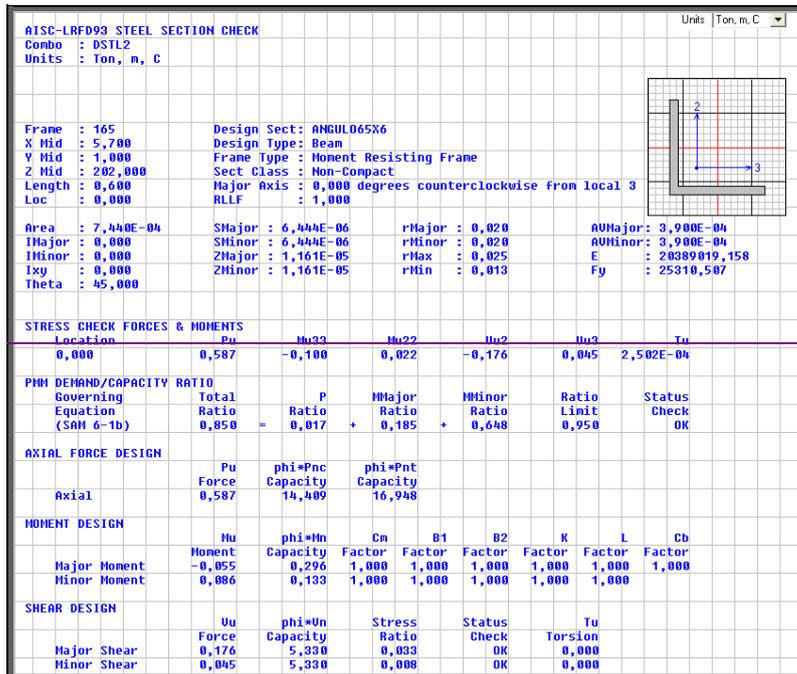


Figura 6.33: Detalles de un elemento que cumple con AISC.

~~Una vez que todos los elementos satisfacen el diseño el programa SAP2000 despliega un mensaje que indica esto.~~

6.5.- Bbloques de ~~aneajes~~Anclajes.

6.5.1.- Cargas.

Las cargas para diseño de anclajes son producto del análisis de las tensiones actuantes sobre el cable carril asignadas anteriormente para modelar el mismo, considerando también la carga de sismo y viento.

Entonces las cargas son:

Carga muerta (D), Carga Viva (L), Carga Sísmica (Q), Carga de viento (W).

6.5.2.- Materiales ~~ATERIALES~~

Para los bloques de anclaje se usa hormigón ciclópeo de:

$$f'c = 140\text{kg/cm}^2$$

$$\text{Peso específico} = 1.2 \text{ T/m}^3$$

6.5.3.- Reacciones.

EACCIONES

~~Las reacciones se han determinado respecto de la siguiente combinación:~~

Con formato: Sangría: Izquierda: 1,59 cm

Con formato: Nivel 1

$$1.7\left(D + \frac{5}{3}L\right) + W + Q$$

Con formato: Centrado

La cual produce las siguientes tensiones del cable, que Las reacciones que deben ser absorbidas por los anclajes son producto de las tensiones producidas sobre el cable.

Con las consideraciones de estados de carga señaladas en el subcapítulo 6.2 se obtienen las siguientes reacciones. deben ser absorbidas por el bloque de anclaje.

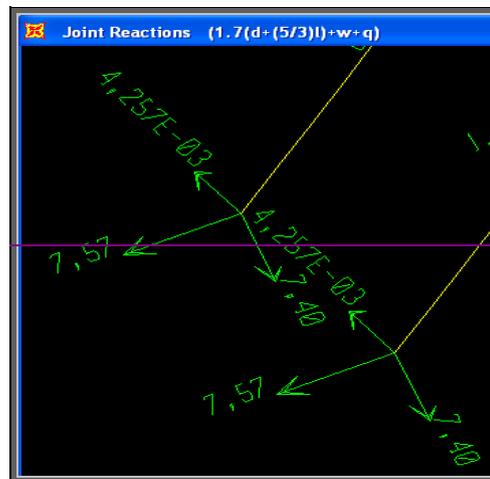
En la Estación superior:

Con formato: Fuente: Negrita

Reacción horizontal máxima (longitudinal): 7.57 Ton. por línea

Con formato: Nivel 1

Reacción vertical máxima: 7.40 Ton. por línea.



6.34: Reacciones en la estación superior

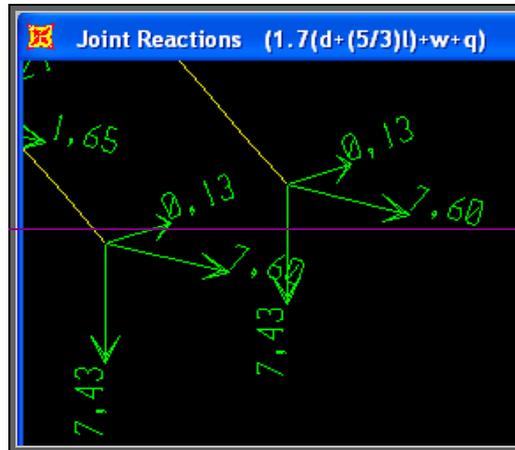
En la estación inferior:

Con formato: Fuente: Negrita

Reacción horizontal máxima (longitudinal): 7.60 Ton por línea

Con formato: Nivel 1

Reacción vertical máxima: 7.43 Ton por línea.



6.35: Reacciones en la estación inferior

6.5.4.- Diseño. ISEÑO

Se diseñarán un bloque de anclaje por cada extremo de cable carril.

Como son 2 cables carril paralelos separados por 4 mts. el uno del otro. Se considera para el diseño 2 bloques de anclaje en la estación superior y 2 en la estación inferior, que debido a sus características se diseñarán por pares.

Determinación de volúmenes de hormigón ciclópeo.

Es necesario particularizar los diseños de los bloques de anclaje en la estación superior e inferior debido a las diferencias no solo de tensiones sino también de las características del suelo.

Con formato: Nivel 1

Para el diseño en la parte superior se tomará un valor de peso específico de 2.2 T/m^3 considerando que el nivel freático se encuentra bajo la superficie de apoyo del suelo a una distancia mayor del ancho de la fundación.

La estación inferior se encuentra en la isla formada por el río y el brazo de este, y en base al estudio de suelos del capítulo 5. Se considera un peso específico del hormigón ciclópeo de 1.2 T/m^3 por que el nivel freático se encuentra cerca de la superficie de apoyo del bloque con el suelo.

En la parte superior:

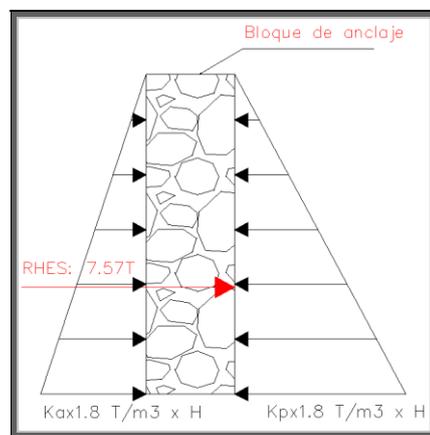


Figura 6.306: Fuerzas actuantes bloque de anclaje (estación superior).

Con formato: Nivel 1

Para definir el ancho que debe tener el bloque se debe observar la distancia entre las líneas que es de 4 metros, entonces es posible darle una longitud de 2 metros, entonces la profundidad a la que debemos fundar el bloque será de:

$$7.57(T) = \frac{(Kp - Ka) * \gamma * h * 2m}{F.S.}$$
$$7.57(T) = \frac{(3.33 - 0.3) * 1.8 \left(\frac{T}{m^3} \right) * h * 2m}{2.5}$$
$$h = 1.75m$$

Para la reacción vertical se necesita equilibrar una fuerza de 7.40 Ton, ya que se conoce el ancho y la profundidad, podemos determinar el largo del bloque:

Dado que se necesita un volumen de 3.36 m^3 bastaría con un metro de espesor, pero debido al factor de seguridad se utiliza un volumen de 8.4 m^3 . Es decir 2.4 m de largo. Enviando al suelo una carga al suelo de 3.85 T/m^2 , en la fase de construcción, y 2.31 T/m^2 en la fase de servicio.

En la parte inferior:

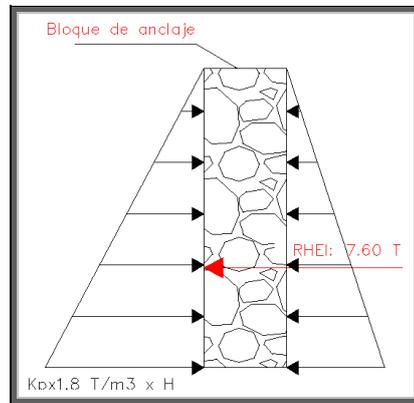


Figura 6.317: Fuerzas actuantes bloque de anclaje (estación inferior).

Con formato: Nivel 1

Para definir el ancho que debe tener el bloque se debe observar la distancia entre las líneas que es de 4 metros, entonces es posible darle una longitud de 3 metros, entonces la profundidad a la que debemos fundar el bloque será de:

$$7.57(T) = \frac{(K_p - K_a) * \gamma * h * 3m}{F.S.}$$

$$7.57(T) = \frac{(3.33 - 0.3) * 1.8 \left(\frac{T}{m^3}\right) * h * 3m}{2.5}$$

$$h = 1.15m \longrightarrow 1.30m$$

Para la reacción vertical se necesita equilibrar una fuerza de 7.43 Ton, ya que se conoce el ancho y la profundidad, podemos determinar el largo espesor del bloque:

Como el nivel freático esta cercano al nivel de fundación, se necesita un volumen de 6.19 m^3 , bastaría con 1.58 m de largo, pero debido al factor de seguridad se utiliza un volumen de 15.47 m^3 , Es decir 3.96 m de largo. Enviando al suelo una carga al suelo de 2.85 T/m^2 , en la fase de construcción, y 1.71 T/m^2 en la fase de servicio.

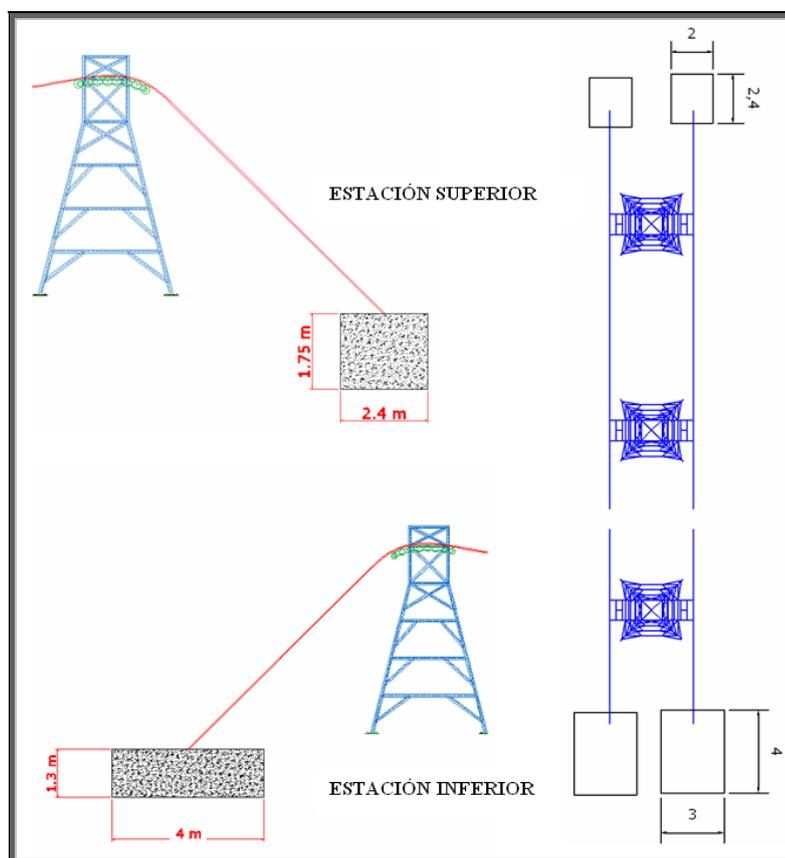


Figura 6.328: Esquema de bloques de anclaje

Con formato: Nivel 1

Placa de anclaje (cable – bloque de anclaje)

Con formato: Nivel 1

Para la unión entre el cable carril y el bloque de anclaje es necesario implementar una placa de anclaje que se encontrará embebido en el

bloque de anclaje y esta evitará que se produzca un rompimiento en la sección de contacto del hormigón con el cable.

El área necesaria es:

$$A = \frac{P}{f_c'}$$

P es la carga y f_p es la resistencia del hormigón a compresión.

Con formato: Nivel 1

Con 7500 kg de tensión el área necesaria es de 36 cm², es decir de 6 cm x 6 cm, pero se utilizará una placa de 30cm x 30cm, por efectos de corte en el hormigón.

$$\sigma = \frac{P}{A} = \frac{7500}{900} = 8.33 \text{ kg/cm}^2$$

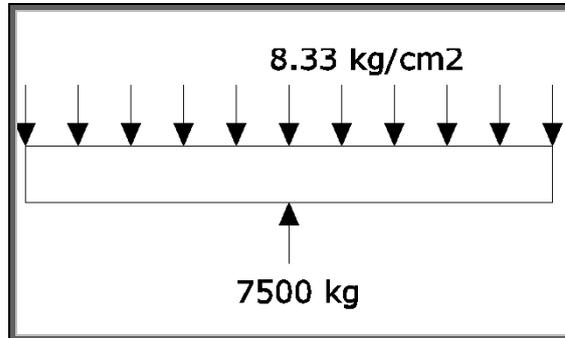


Figura 6.339: Diagrama de la placa de anclaje

Con formato: Nivel 1

Momento: 28125 kg.cm

Con formato: Nivel 1

$$\sigma = \frac{Mc}{I} = \frac{6M}{b * t^2}$$

En acero A36 tiene un límite de fluencia de 2532 kg/cm², a la compresión se utiliza un factor de reducción de 0.6, es decir 1520 kg/cm².

Entonces:

$$1520 = \frac{28125 * 6}{300 * t^2}$$

$$c = 0.60 \text{ cm} = 1 \text{ cm}$$

El área de corte es de 30 cm², la fuerza de corte es de 3750 kg, entonces el esfuerzo de corte será de 125 kg/cm², que cumple con las normas AISI para acero A36.

El esfuerzo de corte en el hormigón será igual a la proyección de la placa, en función de su área producida.

El corte admisible en el hormigón es de: 7.11 kg/cm²

El corte sobre el hormigón será:

El perímetro de la placa multiplicado por la profundidad del anclaje

$$\frac{7500}{120 * longitud} = 7.11 \text{ kg/cm}^2$$

Longitud = 8.79 cm

La profundidad será de: 1m

Con formato: Interlineado: sencillo

Con formato: Nivel 1

Con formato: Nivel 1

Con formato: Nivel 1

Con formato: Nivel 1

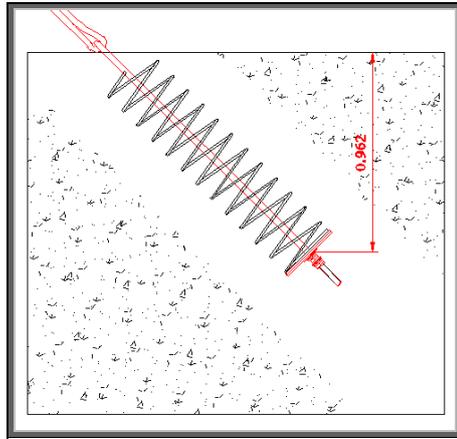


Figura 6.340: Unión bloque de anclaje - cable

Con formato: Nivel 1

Para la sección del bloque de anclaje en la que se introduce el cable se colocará hormigón simple en lugar de hormigón ciclópeo.

Otra consideración importante es que el cable carril no se introduce hasta la placa de anclaje sino que se une a otro cable que se encuentra embebido. Esta decisión servirá en el eventual caso de que se requiera cambiar el cable carril, por desgaste u otra eventualidad.

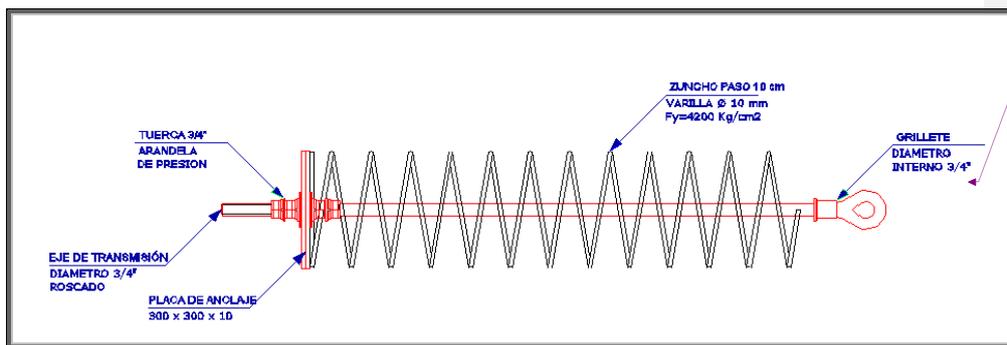


Figura 6.35: Detalles de anclaje

Con formato: Interlineado: sencillo

Con formato: Nivel 1

Con formato: Fuente: Sin Negrita

Con formato: Centrado, Nivel 1, Interlineado: sencillo

6.6.- Cimentación de las torres.

6.6.1.- Cargas.

Las cargas para las cuales se diseñan las cimentaciones son las mismas que en el diseño de los perfiles de las torres. Carga muerta (D), Carga Viva (L), Carga Sísmica (Q), Carga de viento (W).

6.6.2.- Materiales MATERIALES

Se usan plintos de hormigón armado.

Hormigón $f^c = 210 \text{ kg/cm}^2$

Acero $f_y = 4200 \text{ kg/cm}^2$

6.6.3.- Reacciones.

REACCIONES

Las reacciones se han determinado respecto a las combinaciones de cargas anteriormente descritas con lo que se obtiene los siguientes valores de la siguiente combinación:

$$1.7 \left(D + \frac{5}{3} L \right) + W + Q$$

La que ha dado como resultado las siguientes reacciones en las torres.

Torre 1

Con formato: Nivel 1

Con formato: Nivel 1

Reacción posterior 11.53T (Compresión)

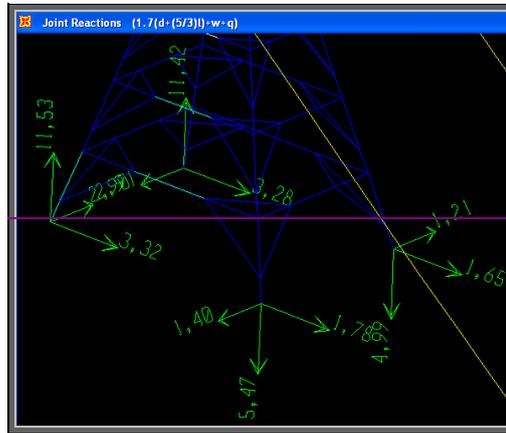


Figura 6.43: Reacciones en la Torre 3

Con formato: Nivel 1

6.6.4.- Diseño ISEÑO

Se identifican los plintos de de acuerdo a como se indica en la figura 6.44.

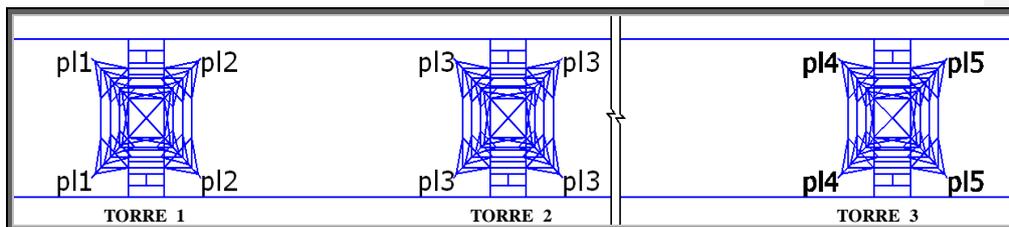


Figura 6.3644: Identificación de los plintos de las torres

Con formato: Nivel 1

PL1

Para equilibrar la fuerza de tensión ejercida en la base de la torre se requiere un peso que equilibre esta fuerza. Es decir que se necesita un bloque que tenga un peso de 6.02 Ton.

Con el uso de un bloque de hormigón ciclópeo de 2.74 m^3 , se equilibra la tensión producida.

Con dimensiones de:

Largo: 1.5 m, Ancho: 1.5m, Profundidad: 1.25 m.

Sin embargo por facilitar la adherencia con el macizo de hormigón se elige la construcción de un plinto de hormigón armado de armadura mínima, es decir:

1 ϕ 12mm@13cm

Sobre la zapata del mismo se colocará el macizo de hormigón requerido de forma que se sumado al plinto cumpla con el volumen requerido.

Con formato: Centrado, Nivel 1,
Interlineado: sencillo

Con formato: Nivel 1

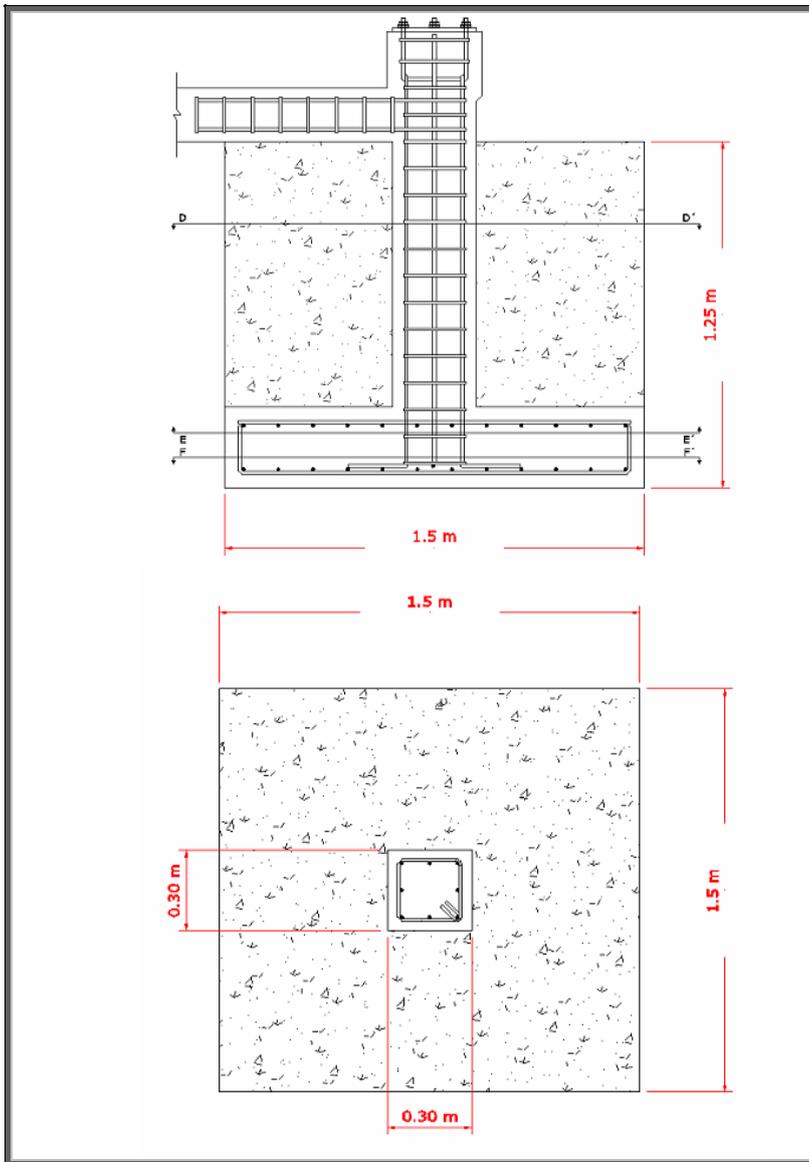


Figura 6.3745: PL1 (Planta y Elevación)

Con formato: Nivel 1

PL2

Con formato: Nivel 1

Para la parte anterior se escoge un plinto aislado de hormigón armado, en

los apoyos que soportan compresión:

Reacción sin factorar:

$$D + L + W + Q = 5.43 \text{ T}$$

1.- Área de fundación

$$Area = \frac{Reacción}{Q_{admisible}} \quad Area = \frac{5.43T}{10T/m^2} = 0.54m^2$$

Es decir un plinto de 0.75 m x 0.75 m

Con formato: Nivel 1

Para el diseño tomaremos 1.00 m x 1.00 m

Con formato: Nivel 1

2.- Determinación de la reacción del suelo

$$Q = \frac{P}{Area} \quad Q = \frac{5.43T}{1m} = 5.43T/m^2$$

Que es menor que el Q admisible.

Con formato: Nivel 1

3.- Carga última

$$1.7 \left(D + \frac{5}{3} L \right) + W + Q = 12.34 \text{ T}$$

$$Qu = \frac{Pu}{Area} \quad Qu = \frac{12.34T}{1m^2} = 12.34T/m^2$$

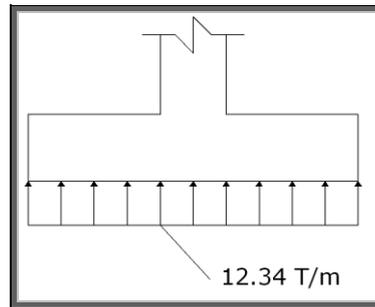


Figura 6.3846: Presión última PL2

Con formato: Nivel 1

4.- Determinación de d

$$V_c = 0.53\sqrt{f_c} = 7.68 \text{ kg/cm}^2$$

$$V_{act} = \frac{V_u}{0.85 \times 1.00 \text{ m} \times d}$$

$$V_u = 1 \text{ m} \times 12.34 \text{ T/m}^2 \times (0.35 \text{ m} - d)$$

$$V_{act} = \frac{1 \text{ m} \times 12.34 \text{ T/m}^2 \times (0.35 \text{ m} - d)}{0.85 \times 1.00 \text{ m} \times d}$$

$$d = 0.25 \text{ m}$$

$$H = 0.30 \text{ m}$$

Con formato: Nivel 1

5.- Comprobación a corte bidireccional

$$V_{bid} = 1.06\sqrt{210} = 15.36 \text{ kg/cm}^2$$

$$V_u = \text{AreaExt} \times Q_u$$

$$V_u = (1 - (0.55)^2) \times 12.34 \text{ T/m}^2$$

$$V_u = 8.60 \text{ T}$$

$$V_{act} = \frac{V_u}{0.85 \times \text{AreaBid}}$$

$$V_{act} = \frac{8.60 \text{ T}}{0.85 \times 0.55} = 18.39 \text{ T/m}^2 = 1.83 \text{ Kg/cm}^2$$

6.- Diseño a flexión

$$l = \frac{1.00 - 0.30}{2} \quad l = 0.35m$$

$$Mu = \frac{q * l * l}{2} \quad Mu = \frac{12.34 * 0.35 * 0.35}{2} = 0.75T.m$$

7.- Cuantía de acero

$$\rho = 0.0003187$$

Se utiliza cuantía mínima es decir: 0.0033

El área de acero a usar es de 8.26 cm²

Lo que resulta $1\phi 12mm @ 13cm$

PL3

Por tener cargas menores al PL2 y considerando que el armado de este es mínimo. Se adopta el mismo tipo de plinto.

PL4

Los plintos de la torre 3 están sometidos a compresión y se opta por plintos aislados de hormigón armado. Considerando una reducción en la resistencia del suelo del 50% por que el nivel de agua freática esta cerca del nivel de apoyo del suelo. (CEC Apéndice X. Nota 3)

Con formato: Nivel 1

Con formato: Nivel 1

Con formato: Nivel 1

Con formato: Nivel 1

Reacción sin factorar:

$$D + L + W + Q = 4.91 \text{ T}$$

1.- Área de fundación:

$$Area = \frac{Reacción}{Q_{admisible}} \quad Area = \frac{4.91T}{5T/m^2} = 0.98m^2$$

Es decir un plinto de 1 m x 1 m

Con formato: Nivel 1

2.- Determinación de la reacción del suelo

$$Q = \frac{P}{Area} \quad Q = \frac{4.91T}{1m} = 4.91T/m^2$$

Que es menor que el Q admisible.

Con formato: Nivel 1

3.- Carga última

$$1.7 \left(D + \frac{5}{3} L \right) + W + Q = 11.63 \text{ T}$$

$$Q_u = \frac{P_u}{Area} \quad Q_u = \frac{11.63T}{1m^2} = 11.63T/m^2$$

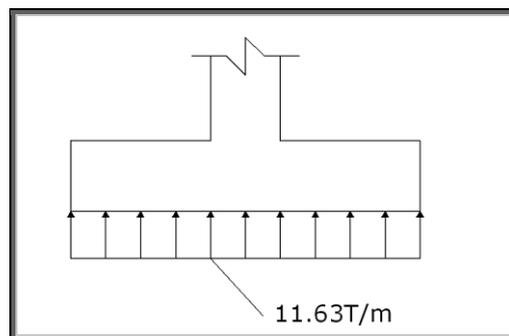


Figura 6.3947: Presión última PL4

Con formato: Nivel 1

4.- Determinación de d

$$V_c = 0.53\sqrt{f_c} = 7.68 \text{ kg/cm}^2$$

$$V_{act} = \frac{V_u}{0.85 \times 1.00 \times d}$$

$$V_u = 1 \text{ m} \times 11.63 \text{ T/m}^2 \times (0.35 \text{ m} - d)$$

$$V_{act} = \frac{1 \text{ m} \times 11.63 \text{ T/m}^2 \times (0.35 \text{ m} - d)}{0.85 \times 1.00 \times d}$$

$$d = 0.25 \text{ m}$$

$$H = 0.30 \text{ m}$$

Con formato: Nivel 1

5.- Comprobación a corte bidireccional

$$V_{bid} = 1.06\sqrt{210} = 15.36 \text{ kg/cm}^2$$

$$V_u = Area_{Ext} \times Q_u$$

$$V_u = (1 - (0.55)^2) \times 11.63 \text{ T/m}^2$$

$$V_u = 8.11 \text{ T}$$

$$V_{act} = \frac{V_u}{0.85 \times Area_{Bid}}$$

$$V_{act} = \frac{8.11 \text{ T}}{0.85 \times 0.55} = 17.34 \text{ T/m}^2 = 1.73 \text{ Kg/cm}^2$$

6.- Diseño a flexión

$$l = \frac{1.00 - 0.30}{2} \quad l = 0.35 \text{ m}$$

$$M_u = \frac{q \cdot l \cdot l}{2} \quad M_u = \frac{11.63 \cdot 0.35^2 \cdot 1}{2} = 0.71 \text{ T.m}$$

7.- Cuantía de acero:

$$\rho = 0.0003016$$

| Se utiliza cuantía mínima es decir: 0.0033

| El área de acero a usar es de 8.25 cm²

Lo que resulta $1\phi 12mm @ 13cm$

← Con formato: Nivel 1

← Con formato: Nivel 1

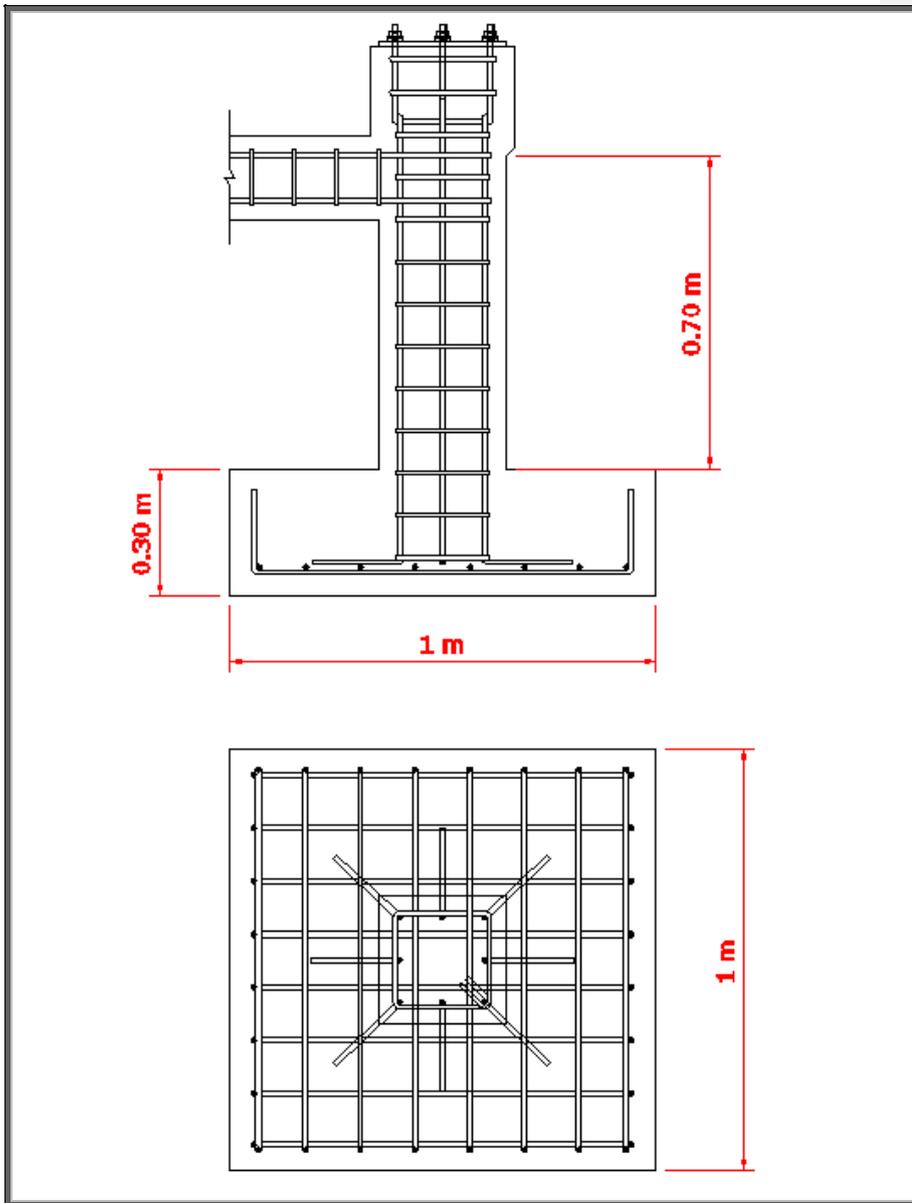


Figura 6.408: PL2, PL3, PL4 (Planta y Elevación)

Con formato: Nivel 1

PL5

El caso es análogo al PL1, pero se requiere un peso de 5.47 T.

Con formato: Nivel 1

Con el uso de un bloque de hormigón ciclópeo (peso específico 1.2 T/m³) para prever que la cimentación siga funcionando en caso de estar totalmente sumergida.

Con un volumen de 4.55 m³, se equilibra la tensión producida.

Con dimensiones de:

Largo: 1.5 m, Ancho: 1.5m, Profundidad: 2.00 m.

Para facilitar la adherencia con el macizo de hormigón se elige la construcción de un plinto de hormigón armado de armadura mínima, es decir:

1 ϕ 12mm@13cm

Sobre la zapata del mismo se colocará el macizo de hormigón requerido de forma que se sumado al plinto cumpla con el volumen requerido.

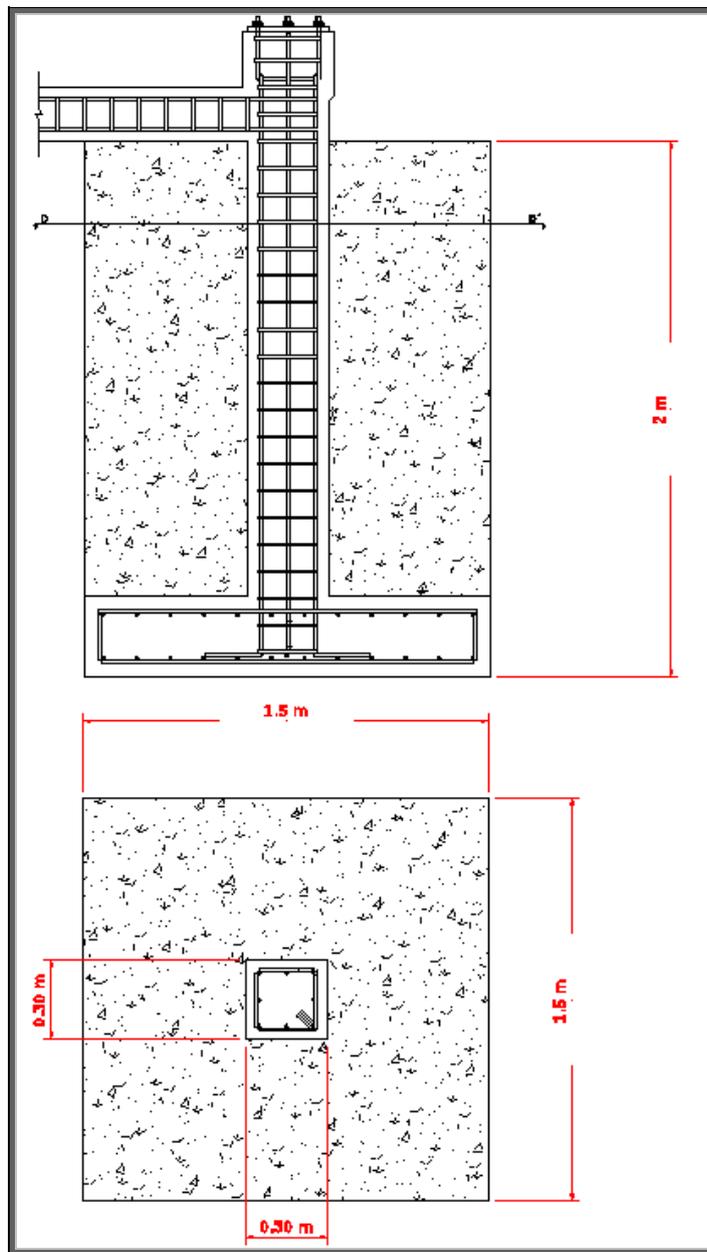


Figura 6.419: PL5 (Planta y Elevación)

Con formato: Nivel 1

Placas de anclaje

Con formato: Nivel 1

Las torres se apoyan sobre una cimentación de hormigón. Para impedir el aplastamiento de éste, se inserta placas de base entre el acero y el hormigón para distribuir la carga.

Para la cimentación de PL1 y PL5

Con formato: Nivel 1

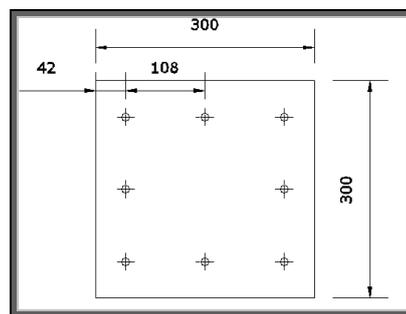


Figura 6.4259: Dimensiones de la placa de anclaje

Con formato: Nivel 1

El diseño es completamente a tensión:

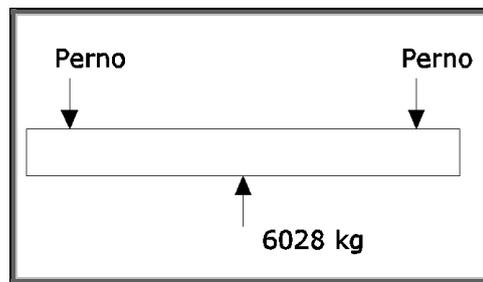


Figura 6.4354: Diagrama de la placa de anclaje (P1 y P5)

Con formato: Nivel 1

El momento sobre la placa es de 60280 kg.cm

Con formato: Nivel 1

$$\sigma = \frac{Mc}{I} = \frac{6M}{b * t^2}$$

En acero A36 tiene un límite de fluencia de 2532 kg/cm², a la compresión se utiliza un factor de reducción de 0.6, es decir 1520 kg/cm².

$$1520 = \frac{60280 * 6}{300 * t^2}$$

$$t = 0.89 \text{ cm} = 1 \text{ cm}$$

El cortante máximo es de 3014 kg

Con formato: Nivel 1

Entonces el esfuerzo de corte será de 100.46 kg/cm².

Con formato: Nivel 1

Los pernos estarán a tensión de 6.02 Ton, es decir cada uno soportará 0.76 Ton, con un área cada uno de 2.85 cm², el esfuerzo es de 266 kg/cm² a tensión, el que se cumple con

Para PL2, PL3 y PL4

Con formato: Nivel 1

Se tendrán cargas de 12.24 Ton en compresión

Con formato: Nivel 1

El área necesaria es:

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

P es la carga y f_p es la resistencia del hormigón a compresión.

Con formato: Nivel 1

El área necesaria es de 60 cm², es decir de 8 cm x 8 cm, pero se utilizará una placa de 30cm x 30cm, por diseño de la cimentación.

$$\sigma = \frac{P}{A} = \frac{12240}{900} = 13.6 \text{ kg/cm}^2$$

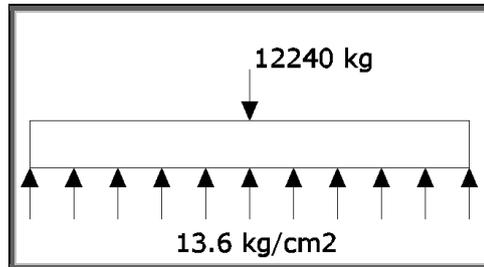


Figura 6.4452: Diagrama de la placa de anclaje (P2, P3 y P4)

Con formato: Nivel 1

Momento: 45900 kg.cm

Con formato: Nivel 1

$$\sigma = \frac{Mc}{I} = \frac{6M}{b * t^2}$$

En acero A36 tiene un limite de fluencia de 2532 kg/cm², a la compresión se utiliza un factor de reducción de 0.6, es decir 1520 kg/cm².

Entonces:

$$1520 = \frac{45900 * 6}{300 * t^2}$$

$$c = 0.77 \text{ cm} = 1 \text{ cm}$$

El área de corte es de 30 cm², la fuerza de corte es de 6120 kg, entonces el esfuerzo de corte será de 204 kg/cm², que cumple con las normas AISI para acero A36.

6.7.- Sistema mecánico

El diseño del sistema motriz estará en función de la potencia necesaria para generar el movimiento del vehículo entre las estaciones.

De acuerdo al diagrama de cuerpo libre, antes realizado se ha obtenido la fuerza máxima necesaria para el movimiento del vehículo, esta se produce al llegar a los 44.60 grados, donde la fuerza equivale a 733.33 Kg. (7194 N.)

6.7.1.- Selección del motor

La zona es de una gran extensión, y el fluido eléctrico no es fiable, entonces se ha escogido un motor de combustión interna.

La potencia necesaria para movilizar el vehículo es de:

$$Potencia = fuerza * velocidad$$

$$Potencia = torque * velocidad _ angular$$

El movimiento de los vehículos es simultáneo entonces se necesitará un motor de 20.430,96 Vatios, que es equivalente a 27,39 hp, 28 hp., que es la potencia para el cálculo del sistema motriz.

El motor tendrá un coeficiente de seguridad adicional del 25 %, es decir se colocará un motor de 35 hp.

6.7.2.- Elementos mecánicos de la transmisión de potencia

Estos elementos permiten transmitir la potencia de salida de un motor, hacia el objeto que se desea mover, en nuestro caso el cable motor y a la vez el vehículo de transporte. Entre los que podemos enumerar:

1. Bandas
2. Cadenas de rodillos
3. Engranajes

1.- Bandas

Las bandas son elementos elástico flexibles que hacen posible la transmisión de potencia, las que presentan pérdidas por deslizamiento, que en elementos de precisión pueden provocar algunos problemas.

Existen cuatro tipos de bandas: Plana, redonda, V, y de sincronización.

Bandas planas y redondas

Las bandas planas y redondas no tienen un límite superior de distancia entre centros de sus respectivas poleas, lo que permite hacer diseños de grandes distancias para su transmisión, aprovechando así la tensión inicial del propio peso de la banda, tensión que es necesaria para que exista la transmisión de potencia.

Bandas V

Los fabricantes han estandarizado las dimensiones de la sección transversal de estas bandas para su uso, es decir tienen una letra que identifica la sección y un número que representa la longitud de la

Con formato: Nivel 1

Con formato: Nivel 1

circunferencia interna, este tipo de bandas tienen su limitante en la distancia entre centros, la cual está dada por máximo tres veces el diámetro de la polea.

Bandas de sincronización

Como su nombre lo indica tienen una alta eficiencia y precisión para su uso en máquinas que requieren de una elevada precisión, no requieren de lubricación y son silenciosas, y no requieren asegurar la tensión inicial, pero la distancia entre sus centros es limitada.

Las bandas necesitan asegurar una tensión inicial, sin la cual la transmisión de potencia tendrá pérdidas altas, a excepción de las bandas de sincronización.

2.- Cadenas de rodillos

Las características básicas de las cadenas de rodillos, incluyen una relación constante, ya que no tienen deslizamiento ni arrastre, tienen una vida larga y pueden impulsar varios ejes a partir de una sola fuente de potencia.

3.- Engranajes

En ruedas dentadas, que mediante el tipo de diente pueden transmitir la potencia por contacto entre ellos, existen algunos tipos, de los cuales se enumeran los siguientes:

Con formato: Nivel 1

- Engranés rectos: Se utilizan para transmitir movimientos entre ejes paralelos.
- Engranés helicoidales: Se usan para transmitir el movimiento de rotación entre ejes paralelos o no paralelos.
- Engranés cónicos: Se utilizan para transmitir el movimiento de rotación entre ejes que se interseca.
- Engranés de tornillo sinfín: Transmiten el movimiento de rotación entre ejes no paralelos que se intersecan.

Decisiones para el diseño.

El sistema debe mover simultáneamente a los vehículos, para lo que al tener el movimiento tipo de vaivén, se debe tener una precisión relativamente buena para evitar problemas a la llegada a las estaciones, es decir que una llegue primero que la otra, lo que se puede conseguir con **C**adenas de **R**odillos y bandas de sincronización, la última tiene una limitación en distancia entre sus centros y una gran precisión, lo que nos hace tomar a la alternativa de la cadena, que al no tener problemas con la distancia entre sus centros y su relativa precisión la hacen la mejor opción para el diseño.

Se necesita un mecanismo inversor de movimiento, el cual solo se puede lograr con la ayuda de engranes, que con un ligero movimiento entre tres engranes permite la inversión de giro lo que permitirá que pueda subir como bajar, ya sea a la vez o en vaivén.

Con formato: Nivel 1

Esquema del mecanismo

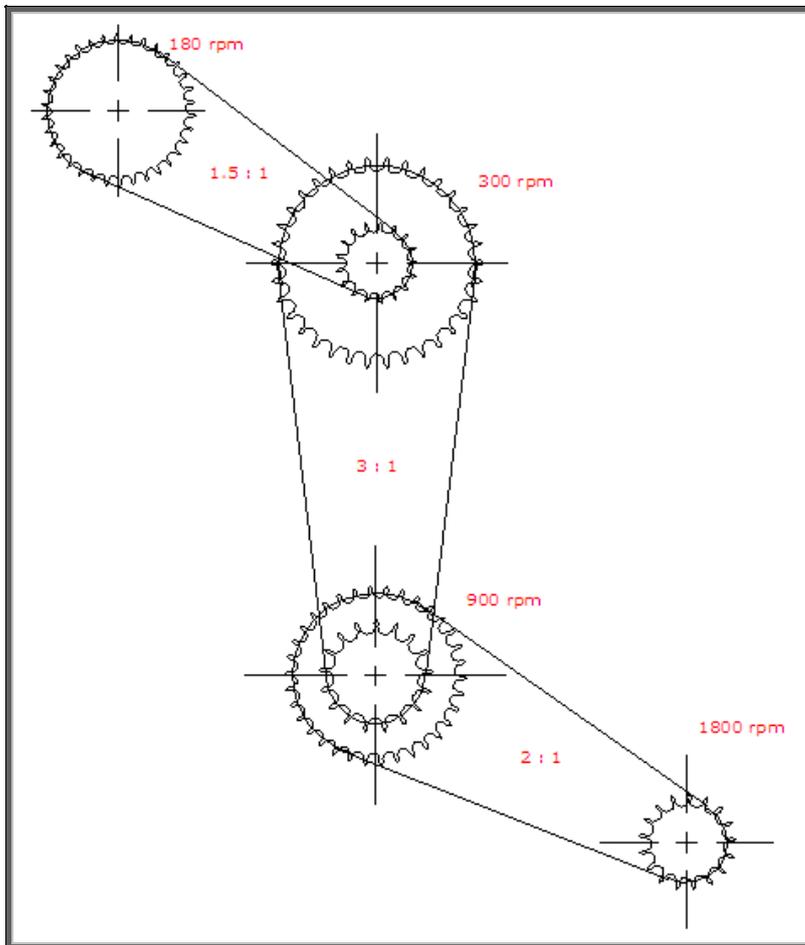


Figura 6.4553: Esquema transmisión de potencia

De acuerdo con este modelo tendremos tres relaciones de transmisión, dos de tipo “Cadena de Rodillos”, y una de tipo “engrane”.

Con formato: Nivel 1

Con formato: Nivel 1, Interlineado: sencillo

Con formato: Nivel 1

Con formato: Justificado, Sangría: Izquierda: 1,27 cm

1era. Relación de transmisión tipo “Cadena de Rodillos”

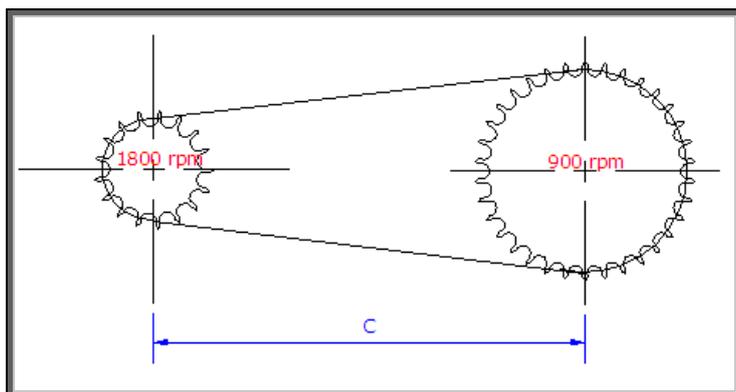


Figura 6.4654: 1era transmisión

Con formato: Nivel 1

- Relación de transmisión: 2 : 1
- Potencia de entrada: 28 hp
- Régimen: 1800 rpm
- Relación de centros y paso: 75
- Factor de diseño: 1.5
- Factor de servicio: 1.3
- Dientes catalina impulsora: 17
- Dientes catalina conducida: 34

Con formato: Nivel 1

$$H_{tab} = \frac{n_d K_s H_{nom}}{K_1 K_2} = \frac{55}{k_2}$$

Tabla 6.7: Selección de cadena 1ra transmisión

No de hilos	H tab /k2	No de cadena	Tipo de lubricación
1	55	-	-
2	33	-	-
3	22	-	C

Con formato: Nivel 1

4	16.7	100	C
---	------	-----	---

$$K1 = 1.00$$

$$K2 = 3.30$$

$$\frac{L}{P} = \frac{2c}{p} + \frac{N1+N2}{2} + \frac{(N2-N1)}{4\pi^2(c/P)} = 175.60$$

$$A = \frac{N1+N2}{2} - \frac{L}{p} = -150.5$$

$$\frac{C}{P} = \frac{1}{4} \left[-A + \sqrt{A^2 - 8 \left(\frac{N1-N2}{2\pi} \right)^2} \right] = 75.210 \rightarrow C = 94"$$

$$F_s = \frac{K1 * K2 * H_{tab}}{K_s * H_{nom}} = 1.51$$

1.51 > 1.5 → OK

Diámetros de las Catalinas impulsora e impulsada.

Con formato: Nivel 1

Catalina impulsora

Con formato: Nivel 1

$$D = \frac{P}{\text{Sen}(180/n)} = 6.80 \text{ pulgadas}$$

Catalina impulsada

Con formato: Nivel 1

$$D = \frac{P}{\text{Sen}(180/n)} = 13.55 \text{ pulgadas}$$

2da. Relación de transmisión tipo “Cadena de Rodillos”.

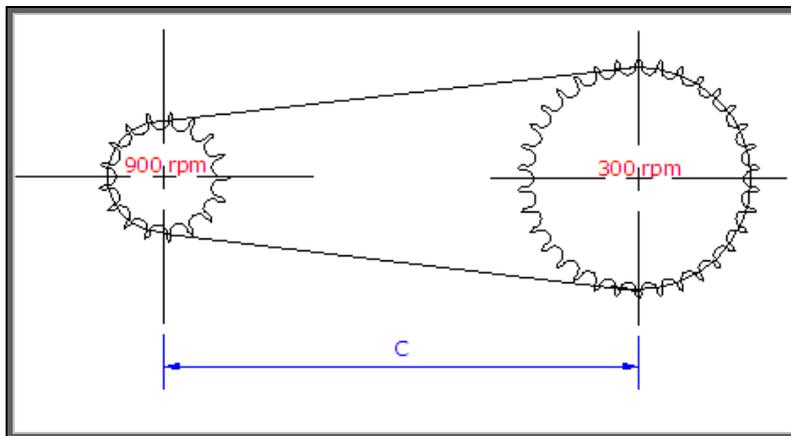


Figura 6.4755: 2da Transmisión

Relación de transmisión:	3 : 1
Potencia de entrada:	14 hp
Régimen:	900 rpm
Relación de centros y paso:	100
Factor de diseño:	1.5

Con formato: Nivel 1

Con formato: Nivel 1

Factor de servicio: 1.3

Dientes catalina impulsora: 17

Dientes catalina conducida: 51

$$H_{tab} = \frac{n_d K_s H_{nom}}{K_1 K_2} = \frac{28}{k_2}$$

Tabla 6.8: Selección de cadena 2da transmisión

No de hilos	H tab /k2	No de cadena	Tipo de lubricación
1	28	80	B
2	17	80	B
3	11.2	60	B
4	8.5	50	B

Con formato: Nivel 1

K1= 1.00

K2= 2.50

$$\frac{L}{P} = \frac{2c}{p} + \frac{N1+N2}{2} + \frac{(N2-N1)^2}{4\pi^2(c/P)} = 234.29$$

$$A = \frac{N1+N2}{2} - \frac{L}{p} = -201$$

$$\frac{C}{P} = \frac{1}{4} \left[-A + \sqrt{A^2 - 8 \left(\frac{N1-N2}{2\pi} \right)^2} \right] = 100.35 \rightarrow C = 75.27 \text{ pulgadas}$$

$$F_s = \frac{K1 * K2 * H_{tab}}{K_s * H_{nom}} = 1.54$$

1.54 > 1.5 → OK

Diámetros de las Catalinas impulsora e impulsada.

Con formato: Nivel 1

Catalina impulsora

Con formato: Nivel 1

$$D = \frac{P}{\text{Sen}(180/n)} = 4.08 \text{ pulgadas}$$

Catalina impulsada

$$D = \frac{P}{\text{Sen}(180/n)} = 12.18 \text{ pulgadas}$$

Con formato: Nivel 1

3ra. Relación de transmisión tipo “engrane”.

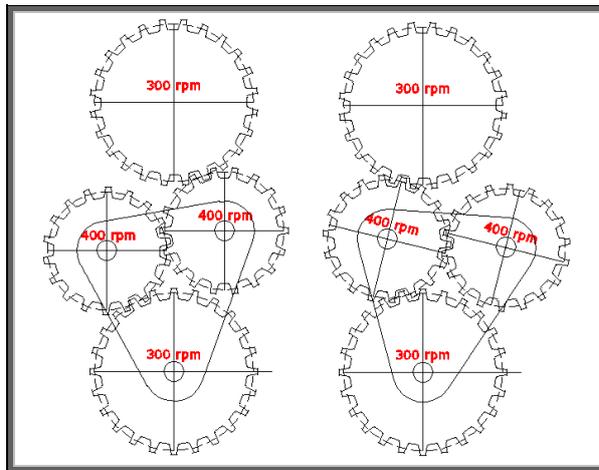


Figura 6.4856: Esquema de mecanismo inversor de movimiento.

Con formato: Nivel 1

Relación de transmisión: 3 : 4
 Dientes engranaje Ng: 24
 Dientes Piñón Np: 18
 Velocidad de salida Ng: 400 rpm
 Pd: 6 Pulgadas
 Diámetro de paso Engranaje: 4 Pulgadas
 Diámetro de paso Piñón: 3 Pulgadas
 Distancia central:

Con formato: Nivel 1

$$C = \frac{N_p + N_G}{2Pd} = \frac{18 + 24}{12} = 3.5 \text{ Pulgadas}$$

Velocidad de línea de paso:

$$vt = \frac{\pi(D_p)(n_p)}{12} = \frac{\pi * 3 * 400}{12} = vt = 314.16 \text{ pies/min.}$$

La carga tangencial es:

$$w_t = \frac{33000(HP)}{v_t} = \frac{33000(14)}{314.16} = 1468.53 \text{ lb} = 667.51 \text{ Kg}$$

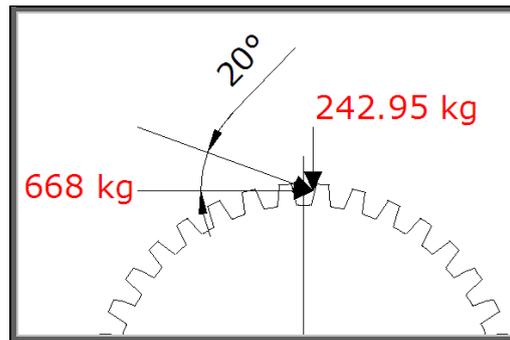


Figura 6.4957: DCL engrane

Con formato: Nivel 1

Número de calidad qv:	6
Factor de dinámica kv:	1.15
Factor de sobrecarga ko:	1.50
Fuente impulsora:	Impacto ligero
Fuente impulsada:	Impacto ligero
Factor de tamaño ks:	1 Paso diametral mayor que 5
Ancho de cara	$F = \frac{12}{P_d} = 2 \text{ pu lg adas}$
Factor de distribución de carga:	

Con formato: Nivel 1

Se usarán engranes abiertos

Con formato: Nivel 1

$$K_m = 1 + C_{mc} (C_{pf} C_{pm} + C_{ma} C_e)$$

$$K_m = 1 + 1 \left(\left(\frac{2}{10 * 3} - 0.0375 + 0.0125 * 2 \right) * 1 + (0.247 + 0.0167 * 2 - 0.765 * 4) * 0.8 \right) = 1.27$$

KB= 1

Factor geométrico: 24 dientes jg 0.335
18 dientes jp 0.305

Tensión por flexión

Con formato: Nivel 1

Piñón

Con formato: Nivel 1

$$\sigma_t = \frac{wtP_d * K_o * K_s * K_m * K_B}{FJ_p K_v}$$

$$\sigma_t = \frac{(1468.53)(6)}{(2)(0.305)} * \frac{(1.50) * (1) * (1.27) * (1)}{1.15} = 23928 PSI$$

Engrane

Con formato: Nivel 1

$$\sigma_t = \sigma_p \left(\frac{J_p}{J_G} \right)$$

$$\sigma_t = 23928 \left(\frac{0.305}{0.335} \right) = 21785 PSI$$

Tensión por contacto

Con formato: Nivel 1

$$\sigma_c = C_p \sqrt{\frac{C_a * C_s * C_m * wt}{C_v * F * D_p * I}}$$

Coefficiente elástico Cp:

2300 engranes de acero

Con formato: Nivel 1

Factor de geometría I:

0.082

Np: 18

Mg: 4/3 = 1.33

$$\sigma_c = C_p \sqrt{\frac{C_a * C_s * C_m * wt}{C_v * F * D_p * I}}$$

Co = 1.50

Cm = 1.27

Cv = 1.15

F = 2

Dp = 3

Con formato: Inglés (Estados Unidos)

wt = 1468.53 lb.

$$\sigma_c = 2300 \sqrt{\frac{(1.50)(1)(1.27)(1468.53)}{(1.15)(2)(3)(0.082)}}$$

$$\sigma_c = 161728 \text{ PSI}$$

Grado 2 1655 KSI

Con formato: Nivel 1

4ta. Relación de transmisión tipo "Cadena de rodillos".

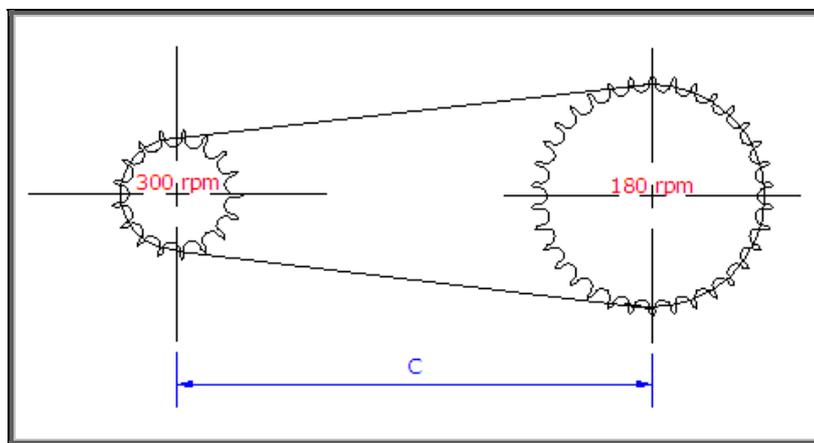


Figura 6.508: 4ta transmisión.

Con formato: Nivel 1

Relación de transmisión:	1.5 : 1
Potencia de entrada:	14 hp
Régimen:	300 rpm
Relación de centros y paso:	100
Factor de diseño:	1.5
Factor de servicio:	1.3
Dientes catalina impulsora:	20
Dientes catalina conducida:	30

Con formato: Nivel 1

$$H_{tab} = \frac{n_d K_s H_{nom}}{K_1 K_2} = \frac{23}{k_2}$$

Tabla 6.9: Selección de cadena 4ta transmisión

No de hilos	H tab /k2	No de cadena	Tipo de lubricación
1	23	100	B
2	14	80	B
3	9.2	80	B
4	7.0	80	B

Con formato: Nivel 1

$$K1 = 1.19$$

$$K2 = 2.51.7$$

$$\frac{L}{P} = \frac{2c}{p} + \frac{N1 + N2}{2} + \frac{(N2 - N1)}{4\pi^2(c/P)} = 234.29$$

$$A = \frac{N1 + N2}{2} - \frac{L}{p} = -201$$

$$\frac{C}{P} = \frac{1}{4} \left[-A + \sqrt{A^2 - 8 \left(\frac{N1 - N2}{2\pi} \right)^2} \right] = 100.48 \rightarrow C = 100.49 \text{ pulg adas}$$

$$F_s = \frac{K1 * K2 * H_{tab}}{K_s * H_{nom}} = 1.54 \text{ Que es mayor que } 1.5.$$

Diámetros de las Catalinas impulsora e impulsada.

Con formato: Nivel 1

Catalina impulsora

Con formato: Nivel 1

$$D = \frac{P}{\text{Sen}(180/n)} = 6.39 \text{ pulg adas}$$

Catalina impulsada

Con formato: Nivel 1

$$D = \frac{P}{\text{Sen}(180/n)} = 9.57 \text{ pulg adas}$$

6.7.3.- Uniones, Elementos de seguridad

EJE A

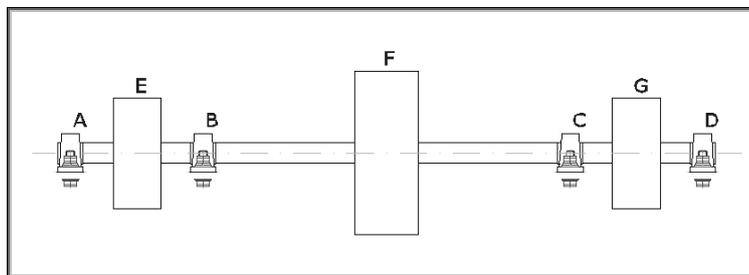


Figura 6.519: Eje A 28 HP

Material del eje: Acero AISI 1040

$S_y = 71.000 \text{ PSI}$ $S_n = 30.000 \text{ PSI}$

$C_R = 0.81$ con un factor de confiabilidad = 0.99

$C_S = 0.85$ porque el eje es moderadamente grande $\approx 2''$

$S'_n = S_n (C_S) (C_R) = (30.000) (0.85) (0.81)$

$S'_n = 20.650 \text{ PSI}$

Con formato: Sangría: Izquierda:
1,27 cm

Con formato: Nivel 1

Con formato: Nivel 1

Con formato: Nivel 1

Determinación de fuerzas

Se transmiten 14 HP a partir de F

$$T_F = \frac{63.000(28)}{900rpm} = 1960 \text{ lb.plg} \quad \text{Es decir } 980 \text{ lb.plg de F a C y } 980 \text{ lb.plg de F a B}$$

F a B

$$\text{Resultante : } F = \frac{T_F}{\left(\frac{D_F}{2}\right)} = \frac{1960}{\left(\frac{13.55}{2}\right)} = 289.30 \text{ lb.}$$

$$F_F = 1.5 F = 434 \text{ lb.}$$

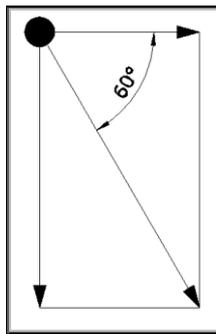


Figura 6.5260: Inclinación para tensión sobre primer eje

$$F_H = F \cos (60^\circ) = 175 \cos (60^\circ) = 217.00 \text{ lb.}$$

$$F_V = F \sin (60^\circ) = 175 \sin (60^\circ) = 375.85 \text{ lb.}$$

La fuerza E y G,

$$T_{EG} = \frac{63.000(14)}{900rpm} = 980 \text{ lb.plg}$$

$$\text{Resultante : } F = \frac{T_{EG}}{\left(\frac{D_{EG}}{2}\right)} = \frac{980}{\left(\frac{4.08}{2}\right)} = 480.39 \text{ lb.}$$

Cargas sobre el Eje A

Con formato: Nivel 1

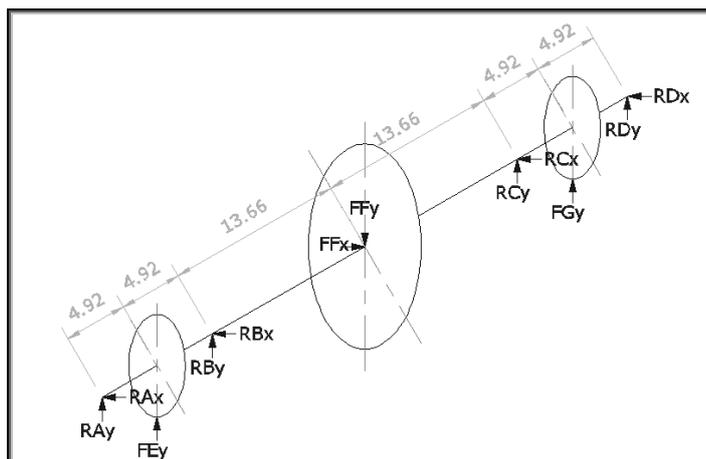


Figura 6.5364: Cargas sobre el Eje A

Con formato: Nivel 1

Sentido Y (Vertical)

Diagrama de cortante

Con formato: Nivel 1

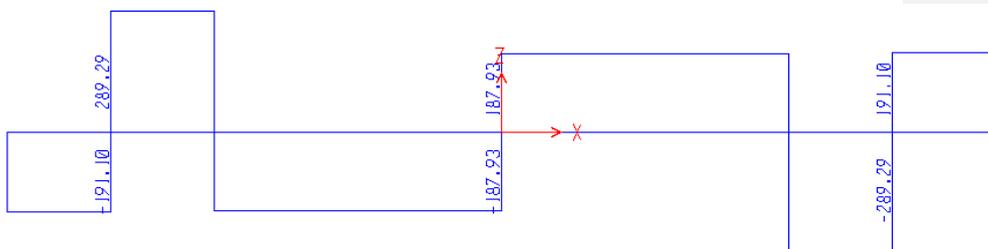
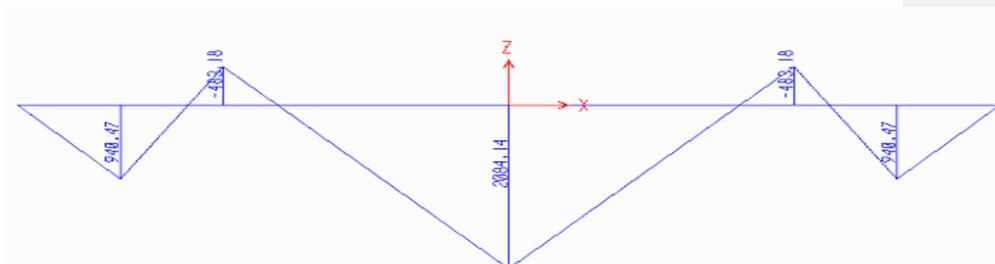


Diagrama de momento

Con formato: Nivel 1



Sentido X (Horizontal)

Con formato: Nivel 1

Diagrama de corte

Con formato: Nivel 1

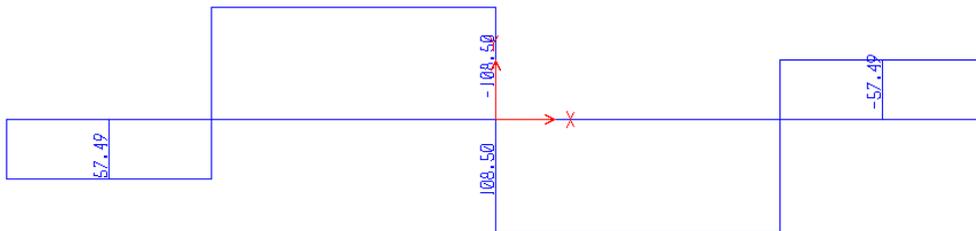
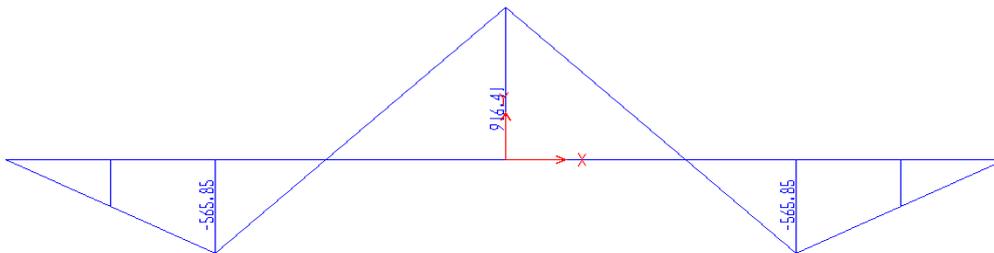


Diagrama de momentos

Con formato: Nivel 1



Sección A y D

Con formato: Nivel 1

Torque: 980.00 lb.plg

Con formato: Nivel 1

Momento: 0.00 lb.plg

Constantes: $N = 3$ $K_t = 1.5$

$$D = \left[\left(\frac{32N}{\pi} \right) \sqrt{ \left(\frac{K_t M}{S'_n} \right)^2 + \frac{3}{4} \left(\frac{T}{S_y} \right)^2 } \right]^{1/3}$$

$D_{AD} = 0.72'' = 0.77''$ Incluye 6% por concentraciones de tensiones.

Con formato: Nivel 1

Sección E y G

Con formato: Nivel 1

Torque: 980.00 lb.plg

Momento: 967.01 lb.plg

$D_{EG} = 1.54''$

Con formato: Nivel 1

Sección B y C

Torque: 980.00 lb.plg

Momento: 565.85 lb.plg

$D_{BC} = 1.20''$

Con formato: Nivel 1

Sección F

Torque: 1,960.00 lb.plg

Momento: 2,273.87 lb.plg

$D_F = 2.23''$

Con formato: Nivel 1

Con formato: Nivel 1

EJE B

Con formato: Nivel 1

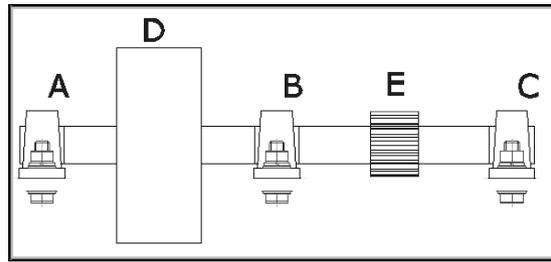


Figura 6.5462: Eje B

Con formato: Nivel 1

Determinación de fuerzas

Con formato: Nivel 1

$$T_D = \frac{63.000(14)}{300rpm} = 2940 \text{ lb.plg}$$

$$\text{Resultante : } F = \frac{T_D}{\left(\frac{D_D}{2}\right)} = \frac{2940}{\left(\frac{12.18}{2}\right)} = 482.75 \text{ lb.}$$

Con formato: Nivel 1

$$F = 482.57 \text{ lb.}$$

Se transmiten 14 HP a partir de D, hacia E.

Con formato: Nivel 1

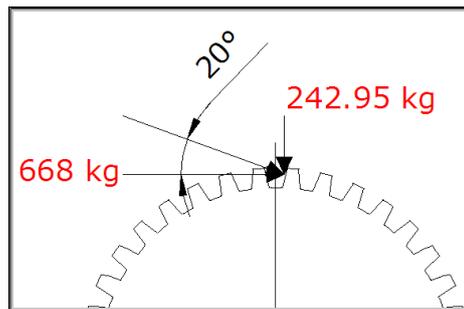


Figura 6.5568: Cargas sobre el Engrane

Con formato: Nivel 1

$$F_{DH} = 668.00 \text{ Kg.} = 1.469.60 \text{ lb.} \quad F_{DV} = 242.95 \text{ Kg.} = 534.49 \text{ lb.}$$

Con formato: Español (Ecuador)

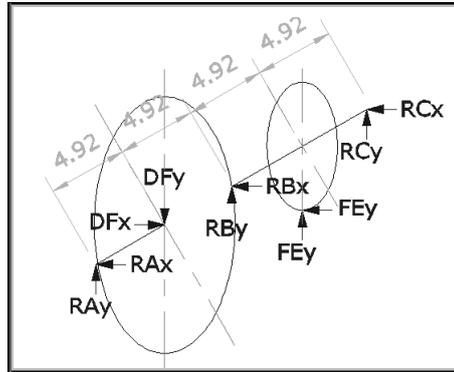


Figura 6.5663: Cargas sobre el Eje B

Con formato: Nivel 1

Sentido Vertical

Con formato: Nivel 1

Diagramas de corte

Con formato: Nivel 1

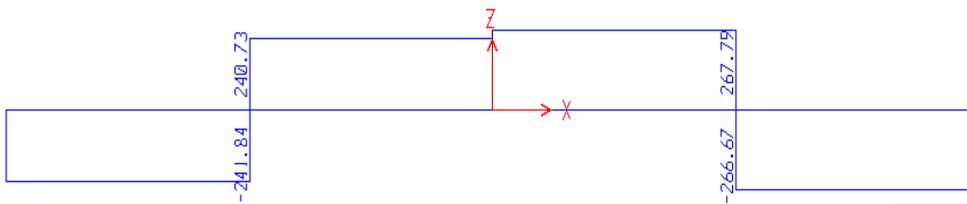
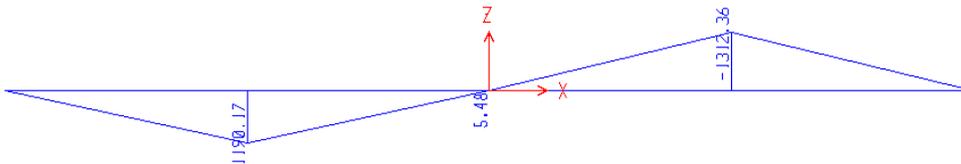


Diagrama de momento

Con formato: Nivel 1



Sentido horizontal

Con formato: Nivel 1

Diagrama de corte

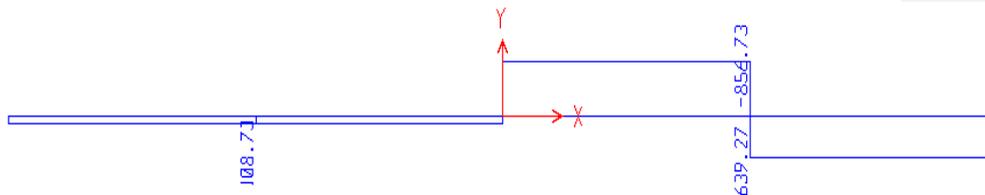
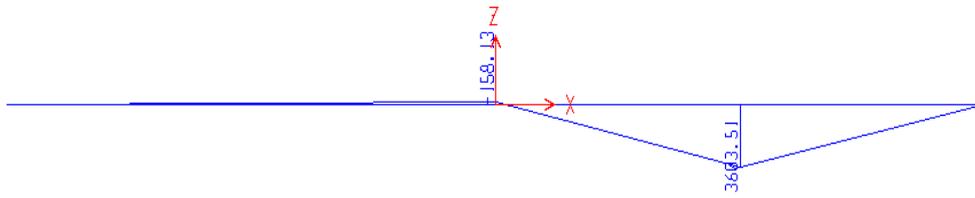


Diagrama de momento

Con formato: Nivel 1



Sección A

Torque: 2,940.00 lb.plg

Momento: 0.00 lb.plg

$D_A = 1.09''$

Con formato: Nivel 1

Sección B

Torque: 2,940.00 lb.plg

Momento: 158.22 lb.plg

$D_B = 1.11''$

Con formato: Nivel 1

Sección C

Torque: 2,940.0099 lb.plg

Momento: 0.00 lb.plg

$D_C = 1.11''$

Con formato: Nivel 1

Sección D

Torque: 2,940.0099 lb.plg

Momento: 1,190.17 lb.plg

$D_D = 1.86''$

Con formato: Nivel 1

Sección E

Torque: 2,940.0099 lb.plg

Con formato: Nivel 1

Momento: 3,835.04 lb.plg

$D_E = 2.67''$

EJE C

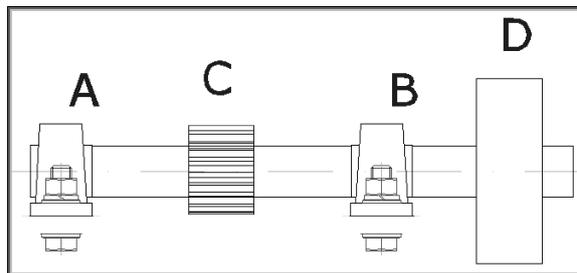


Figura 6.5764: Eje C

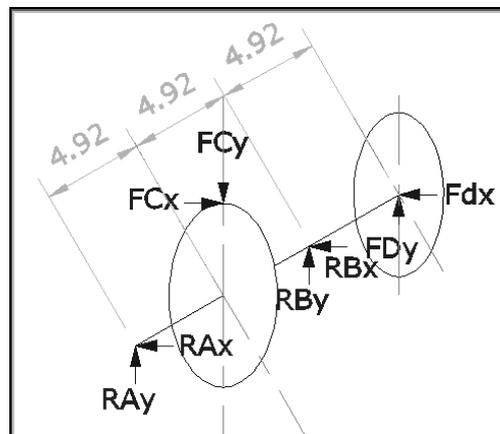


Figura 6.5865: Cargas sobre el Eje C

Determinación de fuerzas

$F_{CH} = 668.00 \text{ Kg.} = 1.469.60 \text{ lb.}$ $F_{CV} = 242.95 \text{ Kg.} = 534.49 \text{ lb}$

Con formato: Nivel 1

Con formato: Nivel 1

Con formato: Nivel 1

Con formato: Nivel 1

Con formato: Español (Ecuador)

$$T_D = \frac{63.000(14)}{300rpm} = 2940 \text{ lb.plg}$$

$$\text{Resultante : } F = \frac{T_D}{\left(\frac{D_D}{2}\right)} = \frac{2940}{\left(\frac{6.39}{2}\right)} = 920.18 \text{ lb.}$$

$$F_H = F \cos(30^\circ) = 920.18 \cos(30^\circ) = 796.90 \text{ lb.}$$

$$F_V = F \sin(30^\circ) = 920.18 \sin(30^\circ) = 460.09 \text{ lb.}$$

Con formato: Nivel 1

Con formato: Inglés (Estados Unidos)

Sentido vertical

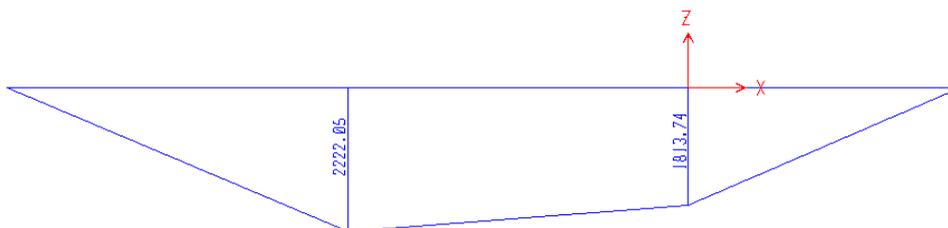
Diagrama de corte

Con formato: Nivel 1



Diagrama de momento

Con formato: Nivel 1



Sentido horizontal

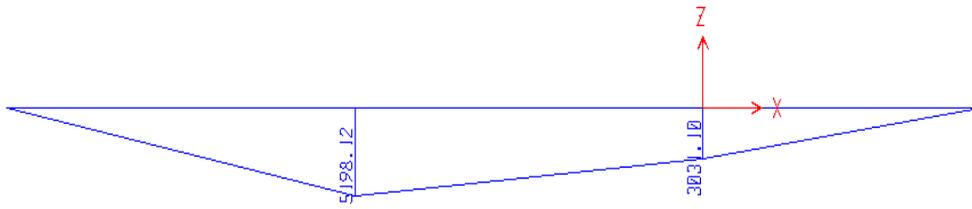
Diagrama de corte

Con formato: Nivel 1



Diagrama de momento

Con formato: Nivel 1



Sección A

Torque: 2,940.00 lb.plg

Momento: 0.00 lb.plg

$D_A = 1.11''$

Con formato: Nivel 1

Sección B

Torque: 2,940.00 lb.plg

Momento: 4,477.72 lb.plg

$D_B = 2.28''$

Con formato: Nivel 1

Sección C

Torque: 2,940.99 lb.plg

Momento: 5,198.00 lb.plg

$D_C = 2.47''$

Con formato: Nivel 1

Sección D

Torque: 2,940.99 lb.plg

Momento: 0.00 lb.plg

$D_D = 1.11''$

Con formato: Nivel 1

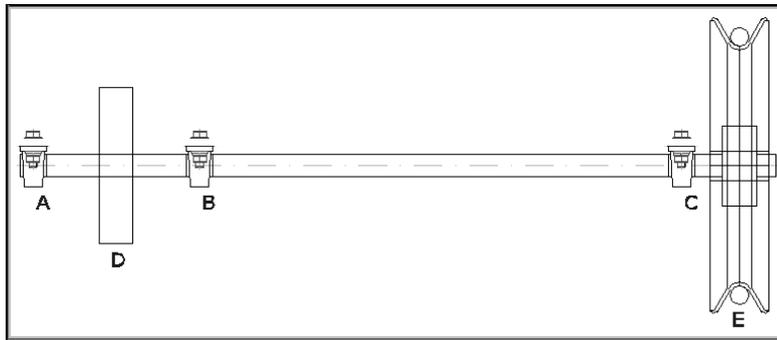


Figura 6.5966: Eje D

Con formato: Nivel 1

Determinación de fuerzas

Con formato: Nivel 1

$$T_D = \frac{63.000(14)}{150rpm} = 5880 \text{ lb.plg}$$

$$\text{Resultante : } F = \frac{T_D}{\left(\frac{D_D}{2}\right)} = \frac{5880}{\left(\frac{9.57}{2}\right)} = 1228.84 \text{ lb.}$$

Código de campo cambiado

Con formato: Español (Ecuador)

Con formato: Nivel 1

$$F_H = F \cos(30^\circ) = 920.18 \cos(30^\circ) = 1,064.20 \text{ lb.}$$

$$F_V = F \sin(30^\circ) = 920.18 \sin(30^\circ) = 614.42 \text{ lb.}$$

$$T_E = \frac{63.000(14)}{150rpm} = 5880 \text{ lb.plg}$$

Tensión máxima del cable motriz

Con formato: Nivel 1

$$T : 1613.32 \text{ lb.}$$

Inclinación :

$$F_H = F \cos(5^\circ) = 1,613.32 \cos(5^\circ) = 1,607.18 \text{ lb.}$$

$$F_V = F \sin(5^\circ) = 1613.32 \sin(5^\circ) = 140.16 \text{ lb.}$$

$$F_{v2} = 140.80 \text{ lb}$$

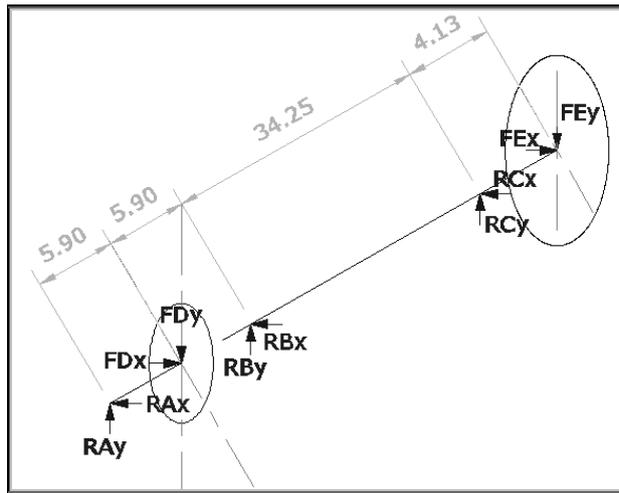


Figura 6.607: Eje D

Con formato: Nivel 1

Sentido vertical

Diagrama de corte

Con formato: Nivel 1

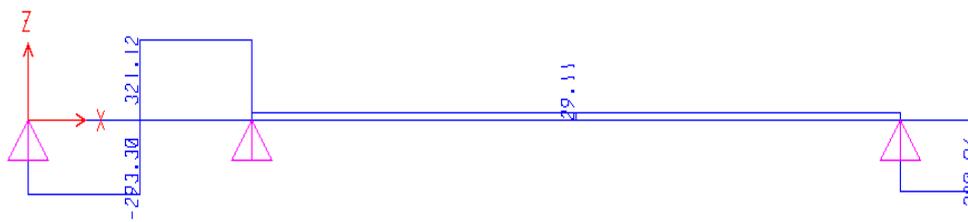
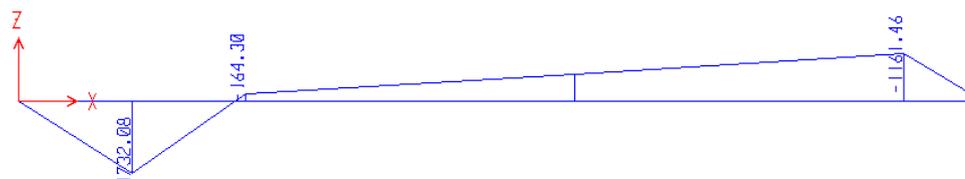


Diagrama de momentos

Con formato: Nivel 1



Sentido horizontal

Con formato: Nivel 1

Diagrama de corte

Con formato: Nivel 1

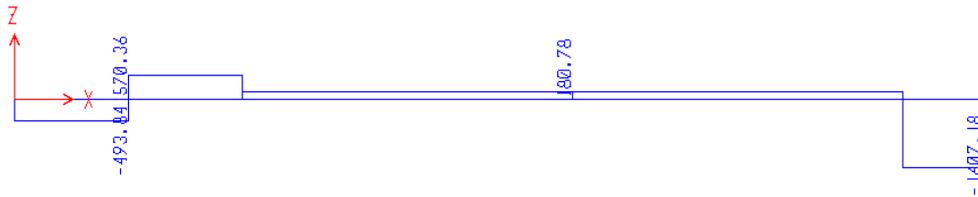
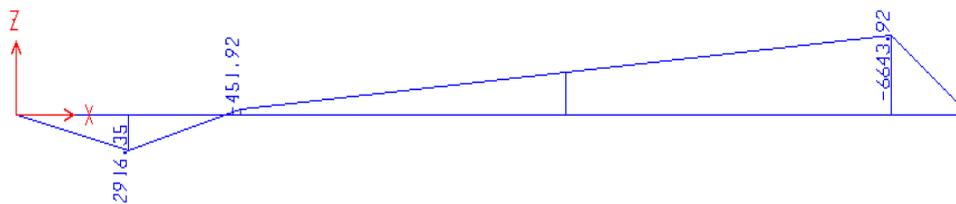


Diagrama de momentos

Con formato: Nivel 1



Sección A

Con formato: Nivel 1

Torque: 5,880.00 lb.plg

Momento: 0.00 lb.plg

$D_A = 1.38''$

Sección B

Con formato: Nivel 1

Torque: 5,880.00 lb.plg

Momento: 795.18 lb.plg

$D_B = 1.50''$

Sección C

Torque: 5.880.00 lb.plg

Momento: 6,743.77 lb.plg

$D_C = 2.87''$

Con formato: Nivel 1

Sección D

Torque: 5,880.00 lb.plg

Momento: 2,916.35 lb.plg

$D_D = 2.20''$

Con formato: Nivel 1

Sección F

Torque: 5,880.00 lb.plg

Momento: 0.00 lb.plg

$D_F = 1.38''$

Con formato: Nivel 1

6.7.4.- Elementos mecánicos del vehículo de transporte

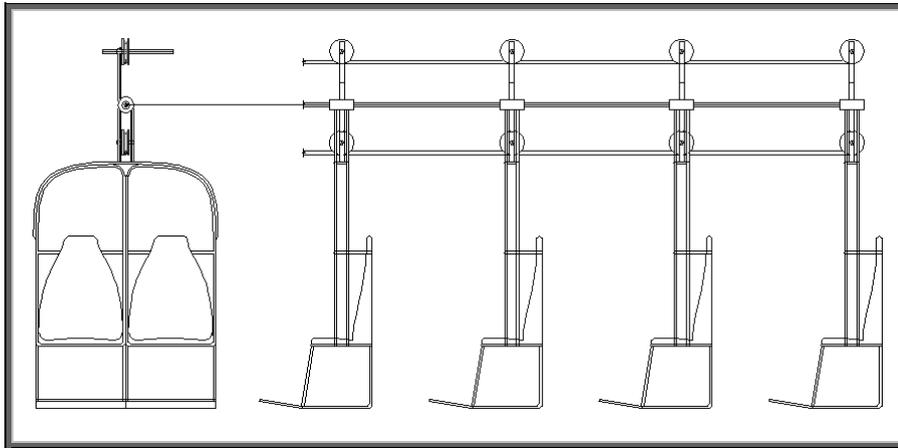


Figura 6.618: Esquema Telesilla

Con formato: Nivel 1

Los elementos mecánicos del vehículo de transporte son:

- Armadura (Tubos que conforman la telesilla)
- Brazo de sujeción.
- Polea de sustentación.
- Polea guía.

6.7.4.1.- Armadura

Se ha configurado en función del esquema antes propuesto, realizado en base a dimensiones humanas promedio, es decir en cuanto a peso y altura, incluyendo un habitáculo para equipaje.

Con las dimensiones que se muestran en la figura 6.6248

Con formato: Nivel 1

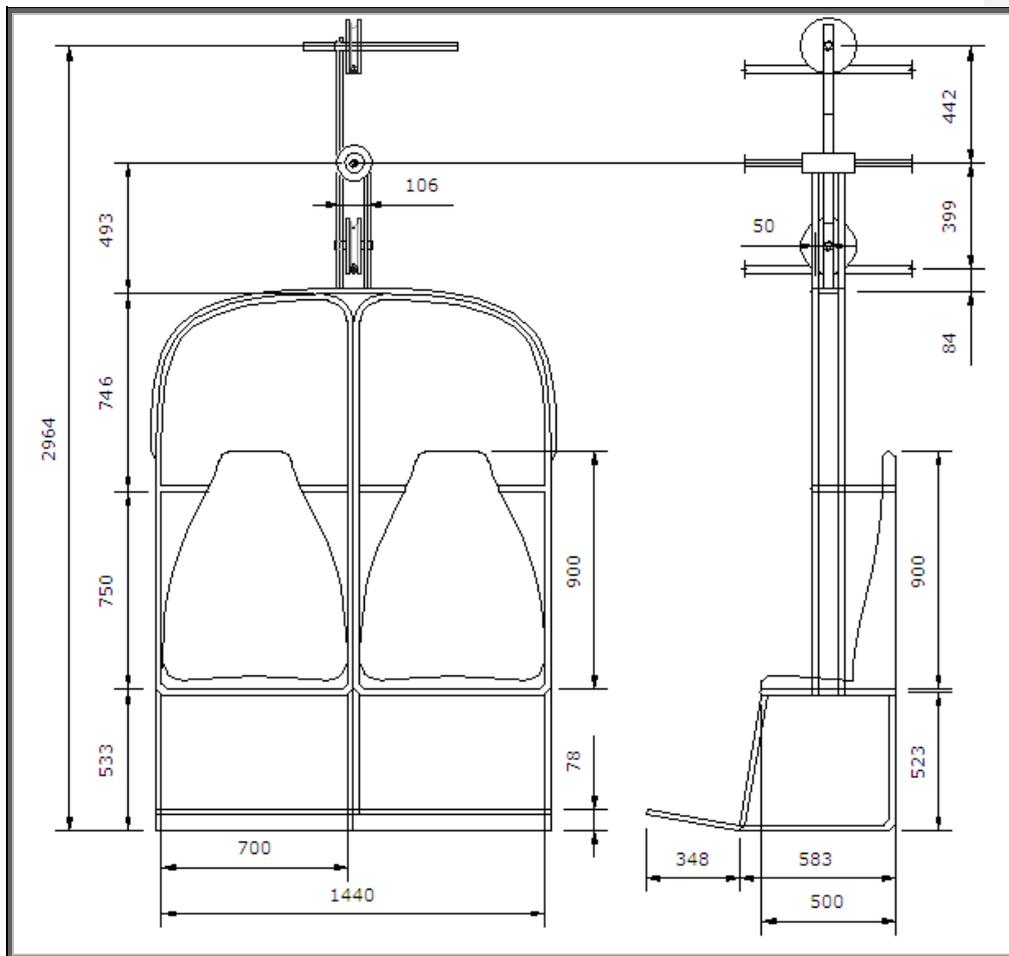


Figura 6.629: Dimensiones Telesilla

El diseño de la canastilla de transporte se hizo en SAP 2000, con el uso de perfiles de acero A-36 de acuerdo con los catálogos (anexos), y aplicando elementos área para modelar la carga producida por los pasajeros.

Cargas sobre la Telesilla:

Las cargas actuantes sobre la telesilla son carga viva, producida por los pasajeros y su equipaje y Peso Propio debido al peso de los perfiles.

Con formato: Nivel 1

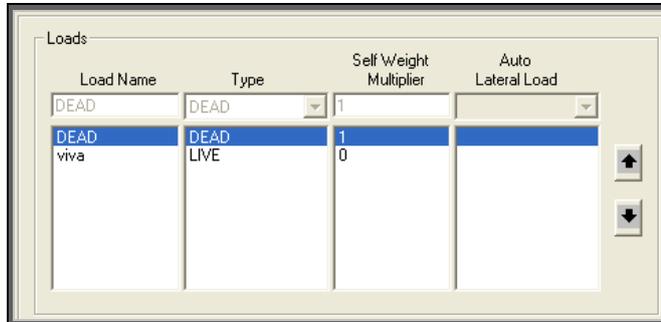


Figura 6.6370: Cargas sobre la silla

Con formato: Nivel 1

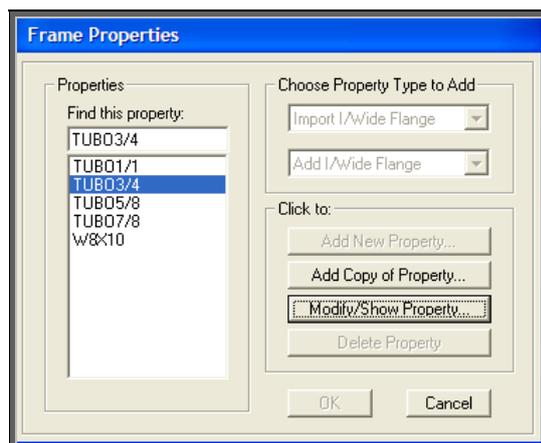


Figura 6.6471: Definición de sección

Con formato: Nivel 1

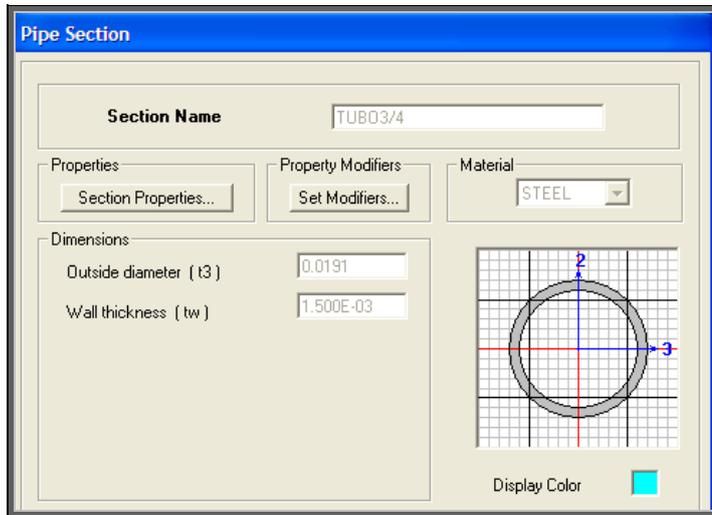


Figura 6.6572: Definición de sección

Con formato: Nivel 1

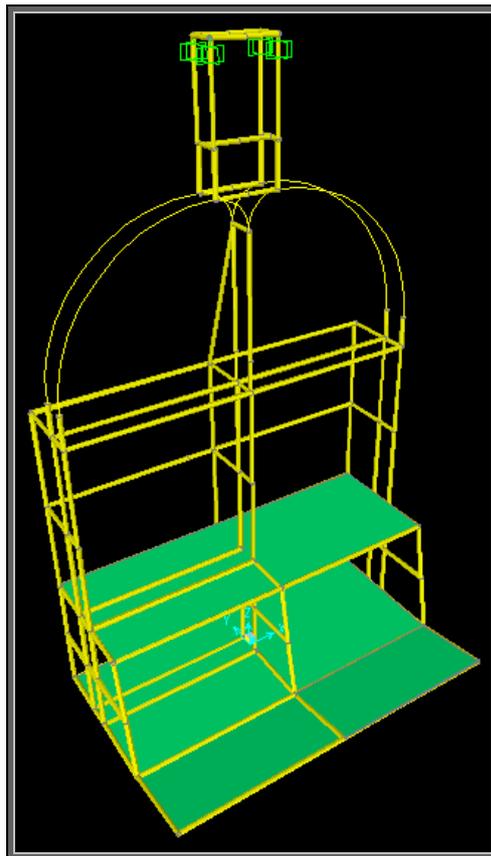


Figura 6.6673: Modelo 3D SAP2000

Con formato: Nivel 1

El diseño se hace de forma similar al descrito en el diseño de torres, obteniendo como resultado el funcionamiento con tubos redondos 5/8" hasta de 3/4", del tipo A36.

En los anexos se adjunta las cargas actuantes, y su diseño sobre la armadura.

Sin embargo por facilidad de construcción se ha determinado tubería de 3/4" para toda la tubería de la telesilla, y por factor psicológico de seguridad

6.7.4.2.- Poleas

Tanto la polea guía como la polea de sustentación conducen el vehículo por la trayectoria del cable carril.

De acuerdo a la geometría establecida de la telesilla se requieren poleas de 215 mm. de diámetro exterior y con el acanalamiento correspondiente al diámetro de cable motriz 1/2".

CAPÍTULO VII

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

7.1.- Manejo de cables

Traslado y Descarga

El cable de acero generalmente llega a su destino en carretes de madera y en su descarga deben tomarse todas las precauciones para impedir que el cable pueda caer al suelo desde la plataforma del vehículo que los transporta, ya que el peso del cable de acero puede causar la rotura del carrete con el consiguiente daño para el cable y, frecuentemente el cable puede dañarse más tarde durante la difícil operación de desenrollado de un carrete malogrado.

Existen varias maneras para desenrollar un cable, pero todas ellas deben efectuarse con ciertas precauciones con el fin de evitar la formación de "cocas", pues ellas entrañan una torcedura que desequilibra gravemente el cable de una manera irremediable. Una "coca", aunque se endereza antes de montar el cable, es un punto de débil resistencia a causa del desequilibrio producido por la deformación y además, como el cable queda un poco ondulado y ovalado en este sector, sufre deterioro prematuro por abrasión.

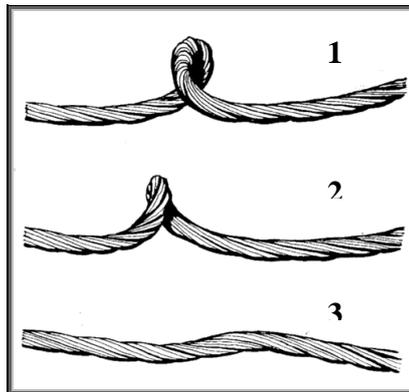


Figura 7.1: Etapas de formación de "cocas"

Manejo de cable en carretes

Cuando el cable se suministra enrollado en un carrete de madera, para desenrollarlo se coloca el carrete de modo que pueda girar libremente sobre un eje apoyado en dos caballetes o soportes. El movimiento del carrete, al ir desenrollando el cable se regula mediante un freno aplicado a uno de los costados o discos del carrete (una tabla de madera, presionándola en una forma inclinada es suficiente), ya que de lo contrario podría formarse una "coca" a la menor reacción de éste.

Manejo del cable en rollos

Si se suministra el cable embalado en rollo, éste se desenrolla, haciéndolo rodar hacia adelante, de manera que las vueltas del mismo se deshagan sin distorsión alguna.

Lubricación

Durante su fabricación, a los cables negros se les aplica un tipo de lubricante cuya característica dependerá del diámetro, tipo y uso del

cable. También a veces se aplican lubricantes a los cables galvanizados para ciertos trabajos específicos.

La aplicación de un lubricante provee una buena protección a la oxidación por un tiempo razonable, si está almacenado de una manera apropiada. Pero cuando el cable se pone en servicio, esta lubricación generalmente no va a ser suficiente para durar toda su vida útil. Debido a esto, será necesario hacer una lubricación de servicio periódicamente.

Las siguientes son las características de un buen lubricante para cables de acero:

- 1) Libre de ácidos y alcalinos.
- 2) Debe tener suficiente tenacidad para adherirse al cable.
- 3) Debe tener una viscosidad que permita su penetración dentro de los torones y el cable.
- 4) Debe ser "insoluble" en el ambiente alrededor de su área de trabajo.
- 5) Debe tener una tensión superficial alta.
- 6) Debe resistir la oxidación.
- 7) Preferiblemente el lubricante aplicado debe ser compatible con el lubricante original del cable.

Antes de la aplicación de lubricante hay que eliminar al máximo el polvo y material abrasivo sobre la superficie del cable. Se puede limpiar con un

cepillo de alambres con solventes, aire comprimido o vapor a presión. Inmediatamente después de la limpieza hay que aplicar el lubricante.

Cuando el cable trabaja en polvo, piedras, rocas u otro material abrasivo, hay que seleccionar un lubricante con mucho cuidado para asegurar que penetre al cable, pero al mismo tiempo que no se levante el material, por el cual el cable se mueve o trabaja.

Como regla general, la manera más eficiente y económica para lubricar en faena es usando algún sistema o método que permita la aplicación en una manera continua mientras el cable está en operación. Se usan muchas técnicas que incluyen, baño continuo, goteo, rocío, etc.

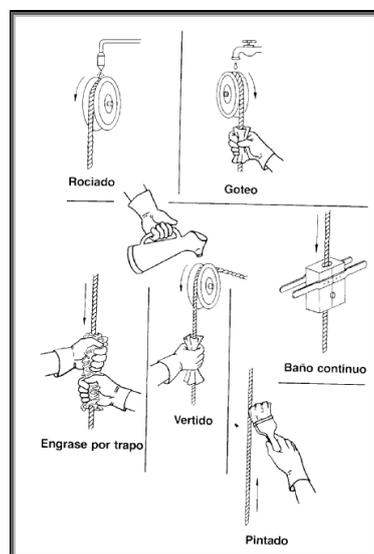


Figura 7.2: Lubricación de Cables

Frecuencia

Los cables de acero deben ser inspeccionados cuidadosamente a intervalos regulares; esta inspección debe ser más cuidadosa y frecuente cuando el cable ha prestado servicio mucho tiempo o en los casos de servicio pasado.

La inspección regular de los cables y del equipo en que se utilizan tiene un triple propósito:

- 1) Revela el estado del cable e indica necesidad de cambiarlo.
- 2) Indica si se está utilizando o no el tipo de cable más apropiado para ese servicio.
- 3) Hace posible el descubrimiento y corrección de fallas en el equipo o en la forma de operarlo, que causen desgaste acelerado y costoso del cable.

Esta inspección debe ser realizada por una persona que por medio de entrenamiento especial o por experiencia práctica, conozca los detalles a inspeccionar, y sea capaz de explicar y juzgar la importancia de los signos anormales que pudieran aparecer. La información obtenida por el inspector servirá como guía para estimar con mayor precisión el servicio que se debe esperar de un cable de acero.

Los puntos más importantes que deben ser tomados en cuenta para la inspección son éstos:

Diámetro del cable

Una reducción evidente en el diámetro del cable, es un signo seguro de que se acerca el momento de cambiarlo. Esta reducción puede tener su origen en varias causas, cualquiera de las cuales hace necesario retirar el cable del servicio.

La reducción del diámetro del cable puede ser causada por deterioro del "alma", originada por carga excesiva o por carga de impacto repetida; también por desgaste interno y fallas en los alambres por falta de lubricación o corrosión interna.

Como todo este daño es interno y no puede ser observado ni medido, lo recomendable es retirar el cable de inmediato.

Paso del Cable

Un aumento apreciable en el "paso de cable" es frecuentemente el resultado de una falla del alma del cable, que estará acompañada de la reducción de diámetro ya descrita.

Si el paso aumenta sin reducción de diámetro, el cable está siendo restringido en su movimiento de rotación mientras opera, o la causa puede ser que un extremo no esté fijo sino votando.

Cuando existe esta situación, el cable puede expulsar el alma o desbalancearse, permitiendo que toda la carga sea soportada por uno o dos torones.

Desgaste Externo

El desgaste abrasivo resulta del roce del cable contra algún objeto externo; siempre que sea posible, ese objeto debe ser eliminado de la trayectoria del cable, o ésta debe ser modificada.

El desgaste por impacto (Peening), se produce cuando el cable golpea regularmente contra objetos externos o contra sí mismo. En general es fácil colocar protectores entre el cable y un objeto externo, pero cuando el cable se golpea contra sí mismo es poco lo que puede hacerse, salvo seleccionar un cable más apropiado y asegurarse de que enrolle en forma correcta sobre el tambor.

El desgaste por frotamiento ocurre a causa del desplazamiento de los torones y alambres forzados por el roce contra un objeto externo o contra el mismo cable. El frotamiento contra objetos externos puede ser evitado, pero igual que en el caso anterior la única medida que se puede adoptar contra el frotamiento del cable contra sí mismo, es enrollarlo correctamente.

Fallas por Fatiga

Las fallas del alambre, cuando se observan extremos planos y poco desgaste superficial, son llamadas "fallas por fatiga". Generalmente

ocurren en la cresta de los torones o en los puntos de contacto de un torón y otro.

Cuando no es posible aumentar el diámetro de las poleas o tambores debe utilizarse un cable más flexible. Si se ha llegado ya al límite de la flexibilidad, la única medida que puede prolongar la vida del cable es desplazarlo a lo largo del sistema, de forma que la sección de cable sometida a los esfuerzos de flexión cambie de posición antes de que la pérdida de resistencia alcance un nivel crítico.

Corrosión

La corrosión es casi siempre un signo de falta de lubricante. No solamente ataca a los alambres produciendo pérdida de la ductilidad, sino que impide el libre desplazamiento de las partes del cable durante el trabajo. Todo esto genera fatiga prematura a los alambres y reduce notablemente la vida del cable. Un cable que muestre fallas por corrosión debe ser retirado inmediatamente, ya que no es posible medir con precisión la magnitud del daño. Para impedir que la corrosión destruya los cables, éstos deben ser lubricados cuidadosamente, y en casos de corrosión extrema, se debe recurrir a cables galvanizados.

CAPÍTULO VIII

ESTUDIO ECONÓMICO

8.1.- Análisis de Precios Unitarios

Anexo D

8.2.- Presupuesto Referencial

Anexo E

CAPÍTULO IX

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- En un teleférico confluyen diversos tipos de elementos estructurales, con comportamiento diferenciado, para viabilizar los proyectos.

- No existe código de diseño de teleféricos en nuestro país por lo que es necesario recurrir a códigos para estructuras con comportamiento análogo, como ACI, CEC, AASHTO, PCI y AISC.
- Si bien los esfuerzos en el cable se obtienen a partir de un análisis estructural, los factores de seguridad se establecen en función del comportamiento mecánico de los mismos.
- La manera más eficiente de modelar el comportamiento del cable (que es el componente más importante de la estructura) consiste en utilizar programas estándar de Análisis Matricial de Estructuras Espaciales como SAP2000.
- El diseño y la construcción de teleféricos es una alternativa válida para comunicar puntos de difícil acceso. La implementación en el país de este tipo de estructuras debe incluir un cambio en la manera tradicional de mirar el diseño y la construcción como actividades separadas e independientes dentro de la ingeniería, convirtiéndolas en actividades íntimamente ligadas.
- El diseño de los cables debe ser realizado bajo un esquema de comportamiento elástico del material y grandes deformaciones.
- La flexibilidad de un cable de acero está en proporción inversa al diámetro de los alambres externos del mismo, mientras que la resistencia a la abrasión es directamente proporcional a este diámetro.

- Se debe elegir una composición con alambres finos cuando prevalezca el esfuerzo a la fatiga de doblamiento (cable motriz), y una composición de alambres externos más gruesos cuando las condiciones de trabajo exijan mayor resistencia a la abrasión (cable carril).
- Es recomendable realizar la selección de los cables, basados en catálogos actualizados, esto permitirá concebir un diseño concordante con la disponibilidad de los productos en el mercado.
- En la fase de operación, un cable debe ser inspeccionado a intervalos regulares para corregir fallas que aceleren el desgaste.

BIBLIOGRAFÍA

- Roger Brockenbrough, Frederick Merit, (1997). Manual de Diseño de Estructuras de Acero. (Tomos I, II y III). Segunda Edición. Colombia. McGraw-Hill
- American Institute of Steel Construction.(1986). Manual of Steel Construction. Octava Edición. USA.
- Caiza Sánchez Pablo. Manual para el uso de SAP2000 10.0.1 en el análisis sísmico de estructuras. Ecuador CEINCI-ESPE.
- American Concrete Institute ACI (2002).USA
- Instituto Ecuatoriano de Normalización, Código Ecuatoriano de la Construcción CEC2000. Requisitos Generales de Diseño. Ecuador.
- Joseph E. Shigley, Charles R. Mischke (2002) Diseño en Ingeniería Mecánica México Sexta Edición Mc Graw Hill.
- Camacho Cristian, Tapia Javier, (1999), Diseño de una tarabita con luz variable (Mínimo 70m, Máximo 300 m)
- Emcocables (1992), Catalogo de Cables de Acero. Colombia.
- Prodinsa (2001), Manual de Cables de Acero. Colombia.
- Romo M, Checa D, Zambrano S, (2007), Criterios y alternativas para el diseño de teleféricos.
- www.wikipedia.org

- <http://concurso.cnice.mec.es>
- <http://almez.pntic.mec.es>
- <http://www.scielo.org.pe>
- <http://publiespe.espe.edu.ec/>
- www.arktec.com
- www.construir.com
- www.aceso.com/detalles
- www.api.uniovi.es/aeipro