

DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UN SISTEMA DE TRANSPORTE DE CARGA
POR MEDIO DE CABLES PARA TOPOGRAFIA DE GRAN PENDIENTE

ANDRES FELIPE MEJIA VARGAS

UNIVERSIDAD EAFIT
ESCUELA DE INGENIERIA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA
MEDELLÍN
2011

DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UN SISTEMA DE TRANSPORTE DE CARGA
POR MEDIO DE CABLES PARA TOPOGRAFIA DE GRAN PENDIENTE

Trabajo de grado para optar por el título de
Ingeniero Mecánico

Asesor
Jaime Leonardo Barbosa Pérez
Ingeniero Mecánico

UNIVERSIDAD EAFIT
ESCUELA DE INGENIERIA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA
MEDELLÍN
2011

A Dios por darme salud y capacidades para hacer lo que me propongo y sobre todo por darme la familia que tengo.

A mis padres y hermanas, por su apoyo incondicional, paciencia y total confianza en mí.

A Jeniffer Hernández mi novia, mujer y amiga por su amor incondicional, paciencia, entrega y acompañamiento en todo momento.

A mi abuelo Gilberto, por el gran amor que siempre me ha dado y por mantenerse pendiente de mí.

A mi hijo Matías Mejía Hernández, por ser mi mayor inspiración y por ser el que me aviva a ser una mejor persona y de éxito, para que se sienta orgulloso de su padre y así darle un buen ejemplo.

AGRADECIMIENTOS

A Gilberto Mejía, quien ha sido el principal precursor de esta investigación, por la confianza, el apoyo, la sabiduría y experiencia que me ha transmitido no solo para este proyecto sino personalmente.

Al Ingeniero Arturo Correa de la Federación de Cafeteros, por apoyar incondicionalmente este proyecto y hacer que se convierta en una realidad y en un proyecto de vida.

Al Ingeniero Jaime Leonardo Barbosa, asesor académico de este trabajo, por su direccionamiento y acompañamiento durante esta etapa de mi carrera.

A todas las personas que de una u otra forma ayudaron a hacer posible este proyecto.

CONTENIDO

	Pág.
0. INTRODUCCION	15
1. OBJETIVOS	17
1.1 OBJETIVO GENERAL	17
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	17
2. MARCO CONCEPTUAL	18
2.1 EL TRANSPORTE POR CABLE	18
2.1.1 Transporte por cable de pasajeros y carga.	18
2.2 CLASIFICACIÓN DE LOS TRANSPORTADORES CON CABLES	19
2.2.1 Según el soporte de su movimiento.	19
2.2.2 Según el sistema de movimiento.	19
2.2.3 Según el número y disposición de sus cables.	20
2.2.4 Según el sistema de sujeción de los vehículos al cable móvil.	20
2.2.5 De acuerdo con el tipo de vehículo.	21
2.2.6 Según la situación del puesto de mando.	22
2.2.7 Según el sistema de mando del movimiento.	22
2.3 TIPOS DE TRANSPORTADORES CON CABLES	22
2.3.1 Funicular.	22
2.3.2 Teleférico de vaivén.	24
2.3.3 Telecabina.	26
2.3.4 Teleférico de grupo o telecabina pulsado.	27
2.3.5 Teleféricos monocables de doble anillo.	27
2.3.6 Teleférico tricable de movimiento continuo.	28
2.3.7 Ascensor inclinado.	29
2.4 GENERALIDADES SOBRE LAS INSTALACIONES	30
2.4.1 Trazado.	30
2.4.2 Dimensionamiento.	31
2.4.3 Alturas de funcionamiento.	31

2.4.4	Velocidades de marcha en los vehículos.	31
2.4.5	Solicitaciones y condiciones de apoyo.	32
2.4.6	Seguridad.	33
2.5	CABLES	33
2.5.1	El cable y sus componentes.	34
2.5.2	Clasificación de los cables de acero.	34
2.5.3	Clases de arrollamiento.	36
2.5.4	Almas de cables.	37
2.5.5	Cables en teleféricos.	38
2.5.5.1	Tipos de cables y su uso.	38
2.5.5.2	Dimensionamiento de los cables.	38
2.5.6	Análisis estático del cable.	40
2.6	VEHICULOS	44
2.6.1	Solicitaciones.	44
2.6.2	Características constructivas.	44
2.6.3	Elementos de enganche.	45
2.7	APOYOS DE LÍNEA	45
2.7.1	Solicitaciones.	45
2.7.2	Apoyos.	46
2.8	ESTACIONES	46
2.8.1	Edificación.	47
2.8.2	Grupo motor y frenos.	47
2.8.3	Tensionado y anclaje de los cables.	48
2.8.4	Dimensionamiento de los espacios.	48
2.9	EXPLOTACIÓN DE LA ESTACIÓN	49
2.9.1	Personal de la instalación.	49
2.9.2	Reglamento de explotación.	49
2.9.3	Controles puesta a punto y conservación.	49
3.	DISEÑO DE LOS COMPONENTES Y SUB-COMPONENTES DEL SISTEMA DE TRANSPORTE POR CABLE AEREO	51

3.1	DESCRIPCION DE LA SOLUCION ELEGIDA	51
3.1.1	Cable carril.	51
3.1.2	Cable motriz.	52
3.1.3	Sistema motriz.	52
3.1.4	Elementos de apoyo o torres.	52
3.1.5	Vehículo.	52
3.1.6	Anclajes.	52
3.2	CONDICIONES INICIALES DEL TERRENO	52
3.3	DESARROLLO DE LOS COMPONENTES Y SUBCOMPONENTES DEL SISTEMA DE TRANSPORTE POR CABLE	54
3.3.1	Cable carril.	54
3.3.1.1	Selección del tipo de cable carril.	54
3.3.1.2	Calculo del diámetro, flecha máxima, tensiones máximas y ángulos en los apoyos del cable carril.	56
3.3.2	Cable motriz.	61
3.3.2.1	Selección del tipo de cable motriz.	61
3.3.2.2	Calculo del diámetro del cable motriz.	63
3.3.3	Diseño del sistema motriz.	65
3.3.3.1	Calculo del carretel de enrollamiento del cable motriz.	65
3.3.3.2	Cálculo y diseño del eje del carretel.	70
3.3.3.3	Selección de chumaceras.	78
3.3.3.4	Selección del motorreductor.	79
3.3.3.5	Selección del variador de velocidad.	82
3.3.4	Cálculo de las torres.	84
3.3.4.1	Eje del brazo de la torre.	86
3.3.4.2	Brazo de soporte.	91
3.3.4.3	Estática para la estructura como un todo.	97
3.3.4.4	Como columna.	105
3.3.4.5	Como viga.	107
3.3.4.6	Deflexión de la viga.	109

3.3.5	Vehículo.	109
3.3.5.1	Garruchas.	109
3.3.5.2	Tolva.	110
3.3.6	Anclaje.	111
3.3.6.1	Cimentación.	112
3.3.6.2	Sistema de tensión.	112
3.3.6.3	Dimensiones y calculo de anclaje.	112
4.	JUSTIFICACIÓN ECONÓMICA EN LA IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE TRANSPORTE POR CABLE	114
4.1	EN TÉRMINOS DE COSTOS	114
4.1.1	Transporte tradicional.	114
4.1.2	Transporte por cable aéreo.	115
4.2	EN TÉRMINOS DE TIEMPO	117
4.2.1	Transporte tradicional.	117
4.2.2	Transporte por cable aéreo.	117
5.	PLANOS GENERALES	120
6.	BIBLIOGRAFIA	123

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Clasificación de los cables de acero.	36
Tabla 2. Factores de seguridad.	39
Tabla 3. Detalles del Cable Carril seleccionado.	56
Tabla 4. Resultados obtenidos para diferentes diámetros de cables carriles.	58
Tabla 5. Modulo de elasticidad dependiendo de la construcción de cables negros.	62
Tabla 6. Detalles del cable motriz seleccionado.	63
Tabla 7. Relación del tipo de cables y diámetro de la polea o tambor.	66
Tabla 8. Costos por implementación del sistema de transporte por cable.	116
Tabla 9. Propiedades físicas y mecánicas del cable 6x7 alma de acero.	134
Tabla 10. Propiedades físicas y mecánicas del cable 6x19 alma de fibra.	135
Tabla 11. Propiedades de diseño para los aceros al carbón y aleados.	136
Tabla 12. Propiedades típicas de materiales usados en ingeniería.	137
Tabla 13. Factores de tamaño.	139
Tabla 14. Factores de confiabilidad aproximados CR.	139
Tabla 15. Selección de motores.	140
Tabla 16. Selección del motorreductor.	142
Tabla 17. Selección del variador de velocidad.	144
Tabla 18. Chumacera elegida.	145

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Movimiento de vaivén.	19
Figura 2. Movimiento continuo.	20
Figura 3. Pinza fija.	21
Figura 4. Pinza desembragable.	21
Figura 5. Funicular.	23
Figura 6. Teleférico de vaivén.	25
Figura 7. Telecabina.	26
Figura 8. Teleférico de grupo.	27
Figura 9. Teleférico monocable doble anillo.	28
Figura 10. Teleférico tricable movimiento continuo.	29
Figura 11. Ascensor inclinado.	30
Figura 12. Componentes de un cable de acero.	34
Figura 13. Esquema de catenaria.	40
Figura 14. Diagrama de flecha máxima.	41
Figura 15. Esquema de análisis estático.	42
Figura 16. Apoyo de la línea.	46
Figura 17. Estación.	47
Figura 18. Esquema del terreno.	53
Figura 19. Resistencia a la abrasión x flexibilidad.	55
Figura 20. Esquema de fuerzas del tramo AB.	57
Figura 21. Diagrama de fuerzas del cable motriz.	63
Figura 22. Angulo de desvío del tambor.	67
Figura 23. Comienzo de devanado en el tambor según el trenzado del cable.	68
Figura 24. Variables del carretel.	68
Figura 25. Fuerzas sobre el carretel.	73
Figura 26. Diagrama de carga cortante y flexión para el eje del carretel.	75
Figura 27. Dimensiones del eje.	77

Figura 28. Tablero de control.	83
Figura 29. Plano eléctrico - etapa de control.	83
Figura 30. Plano eléctrico - etapa de potencia.	84
Figura 31. Diagrama de fuerzas del apoyo del cable carril.	85
Figura 32. Reacciones en el apoyo del eje.	86
Figura 33. Fuerzas y momentos en el punto P.	86
Figura 34. Fuerzas y momentos en el punto K.	92
Figura 35. Dimensiones de la sección transversal de la tubería.	93
Figura 36. Esquema de reacciones en los empotramientos de la estructura.	98
Figura 37. Fuerzas y momentos en B.	102
Figura 38. Diagrama de fuerzas en la viga.	108
Figura 39. Diagrama de deflexión en la viga.	109
Figura 40. Trayecto BA.	127
Figura 41. Trayecto AC.	127
Figura 42. Construcción de torre.	128
Figura 43. Sistema motriz.	128
Figura 44. Tablero de control.	129
Figura 45. Variador de velocidad y demás componentes del tablero de control.	129
Figura 46. Torre o apoyo del cable.	130
Figura 47. Vehículo llegando al lugar de descargue.	130
Figura 48. Vehículo tipo tolva en lona.	131
Figura 49. Garrucha del vehículo.	131
Figura 50. Varilla de anclaje.	132
Figura 51. Cimentación.	132
Figura 52. Sistema de tensión del cable carril.	133
Figura 53. Anclaje.	133
Figura 54. Resistencia a la fatiga S_n en función de la resistencia a la tensión, para acero forjado con varias condiciones de superficie.	138
Figura 55. Dimensiones del motor.	141
Figura 56. Dimensiones del reductor elegido.	143

Figura 57. Acople flexible. 146

Figura 58. Técnica adecuada para el uso de grilletes en cable. 147

ANEXOS

	Pág.
Anexo A. FOTOS DEL PROYECTO	127
Anexo B. PROPIEDADES FISICAS Y MECANICAS PARA CABLES DE ACERO	134
Anexo C. PROPIEDADES DE MATERIALES	136
Anexo D. FACTORES QUE MODIFICA LA RESISTENCIA A LA FATIGA EN EL DISEÑO DE EJES	138
Anexo E. COMPONENTES DEL SISTEMA MOTRIZ	140
Anexo F. GENERALIDADES	147

RESUMEN

El presente trabajo ilustra el proceso de diseño y construcción de un sistema de transporte de carga por medio de cables aéreos en pendiente, el cual tendrá una capacidad máxima de 400 kg y una velocidad entre 1 y 1.5 m/s.

Para llegar a la solución final se hace una investigación observando sistemas de este tipo funcionando (los cuales han sido construidos de manera empírica) y a partir de esto, se consulta bibliografías sobre los diferentes tipos de estructuras existentes. Luego de analizar las diferentes formas y geometrías, se presentara una idea de la estructura que se desarrollara realizando los respectivos cálculos y dimensionamientos.

Luego del diseño se procede con la construcción y el montaje en la finca cafetera “La Camelia” en Santa Bárbara (Antioquia), y finalmente se justifica dicha obra en términos de costo – beneficio; entendiéndose por costo, a la inversión de implementar el sistema de transporte y por beneficio, a la eficiencia en términos de tiempo y cantidad de carga transportada.

0. INTRODUCCION

Uno de los campos de aplicación de la Ingeniería Mecánica es el Diseño de elementos, máquinas, equipos e instalaciones para el beneficio de la sociedad, mediante el análisis de necesidades, formulación y solución de problemas técnicos y apoyo en desarrollos científicos para prestar un servicio adecuado mediante el uso racional y eficiente de los recursos disponibles (@Universidad EAFIT, 2010).

El teleférico es un medio de transporte que consiste en vehículos con capacidad para llevar personas o para transportar carga. Estos vehículos viajan suspendidos en el aire ya que poseen en su parte superior una estructura con una o varias poleas móviles las cuales son apoyadas en un cable fijo o cable carril y sirven para deslizarse en dicho cable, con la ayuda del cable motriz o tensor.

La seguridad de su funcionamiento y la rapidez de comunicación entre lugares de difícil acceso son características que posibilitan el desarrollo de importantes y famosos centros turísticos y la realización de importantes obras en montaña. Es por esto, que estos sistemas de transporte, son instalaciones que se están construyendo cada vez más en todo el mundo.

El teleférico en varios países del mundo ha aportado de gran manera al desarrollo del turismo. Sin embargo, el acceso a la información es escaso y restringido.

Por ser una estructura poco convencional para nuestra región latinoamericana, no se cuenta con un código que norme su diseño y construcción. En consecuencia, es fundamental la aplicación de criterios basados en analogías con otro tipo de estructuras tales como edificios y puentes las cuales han sido estudiadas extensamente.

Colombia es un país esencialmente agrícola y montañoso, debido al relieve y a los diferentes climas que posee el territorio nacional, es rico en una infinidad de productos y en una gran variedad de los mismos, por lo tanto esta actividad constituye la industria más generalizada del pueblo colombiano (@GARCÍA, 2010).

A pesar de las ventajas competitivas que poseen los sistemas de transporte de carga por cable sobre otros medios de transporte en áreas de difícil acceso, estos no son tan comunes en Colombia como deberían, teniendo en cuenta las condiciones topográficas del país.

El transporte tradicional de los diferentes productos agrícolas, desde la zona de cultivo hacia la planta de procesamiento y lugar de despacho – utilizando mulas – hace que el proceso sea difícil, lento y costoso, puesto que la manutención de estos animales y la mano de obra son elevadas. Además, en épocas lluviosas el terreno se vuelve más peligroso y dificulta aún más el transporte, teniendo muchas veces que parar hasta que sea seguro.

Debido a lo mencionado este proyecto tiene como alcance, desarrollar el diseño seguro y eficaz de un sistema de transporte de carga a través de cables. El proyecto abarca todos los aspectos relacionados con la viabilidad para el montaje y puesta en funcionamiento del sistema de transporte de carga en una finca o terreno en donde se cultivan productos agrícolas en montaña.

El proyecto comprende los aspectos correspondientes y la información básica para el desarrollo de un sistema de transporte de carga por cable. Además se evalúa dicho sistema en términos de: costo - beneficio.

La finalidad de este proyecto es estudiar el comportamiento de los diferentes componentes de un sistema de transporte por cable para viabilizar proyectos en montaña y así mejorar en gran medida las prácticas habituales en el transporte de carga y buscar el desarrollo del campo.

1. OBJETIVOS

1.1 OBJETIVO GENERAL

Diseñar y construir un sistema tipo teleférico para el transporte de carga por medio de cable aéreo, seguro y confiable a partir de conocimientos ingenieriles, en lugares en donde el acceso y el terreno son complicados o de gran pendiente.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Objetivo 1. Investigar en libros, catálogos, cartillas, Internet, etc. todo lo referente a teleféricos, sistemas de transporte de carga o analogías de construcción de puentes o estructuras que sirvan para el diseño y construcción eficaz de dicho sistema de transporte.
- Objetivo 2. Observar el funcionamiento de un sistema de transporte de carga ya existente, con el fin de tener una base para el diseño.
- Objetivo 3. Clasificar los elementos principales del nuevo sistema de transporte de carga.
- Objetivo 4. Diseñar y calcular cada uno de los elementos del nuevo sistema de transporte de carga para un caso real.
- Objetivo 5. Registrar todas las dimensiones que lleva el nuevo sistema de transporte.
- Objetivo 6. Justificar la construcción de este tipo de sistemas de transporte de carga financieramente hablando.
- Objetivo 7. Demostrar la eficiencia y utilidad del sistema de transporte en términos de tiempo y cantidad de carga transportada.

2. MARCO CONCEPTUAL

2.1 EL TRANSPORTE POR CABLE

El transporte por cable es considerado como un modo de transporte independiente, diferente de los modos clásicos como carretera, ferrocarril, aéreo, marítimo y tubería. Es evidente que su importancia dentro del campo global del transporte es muy limitada, tanto en lo relativo a su importancia económica como en lo que se refiere al total de toneladas-kilómetro y viajeros-kilómetro transportados (VICENTE, 2009, Cap. 2, Pág. 2).

Se trata, a pesar de lo mencionado, de un modo que se encuentra en un proceso de renovación y evolución tecnológica rápido y constante, por lo que parece oportuno abordar las últimas innovaciones dentro de este proyecto.

Como es habitual, se va a incluir dentro del transporte por cable a todo sistema de transporte en el que se empleen cables, bien sea para constituir la vía de circulación de los vehículos o bien para transmitir a los mismos la tracción o el frenado.

Dentro de estos sistemas aparecen 2 categorías claramente diferenciadas: los ferrocarriles funiculares y los teleféricos. Convencionalmente se excluye a los ascensores.

2.1.1 Transporte por cable de pasajeros y carga.

Transporte de pasajeros. Es aquel que se presta bajo la responsabilidad de una empresa pública o privada de transporte legalmente constituida y debidamente habilitada en esta modalidad, a través de un contrato celebrado entre la empresa y cada una de las personas que han de utilizar los vehículos apropiados, para recorrer parcial o totalmente la línea legalmente autorizada, a cambio de un precio o tarifa.

Transporte de carga. Es aquel destinado a satisfacer las necesidades generales de movilización de cosas de un lugar a otro, en cabinas o vehículos soportados por cables, a cambio de un precio o tarifa, bajo la responsabilidad de la empresa o

entidad operadora legalmente constituida y debidamente habilitada en esta modalidad.

2.2 CLASIFICACIÓN DE LOS TRANSPORTADORES CON CABLES

En la actualidad existen una gran variedad de transportadores con cables los cuales pueden ser clasificados de acuerdo a sus características (@CARRETEROS, 2010):

2.2.1 Según el soporte de su movimiento.

Pueden ser terrestres o aéreos:

- Terrestres. Funiculares y otras instalaciones con vías o pistas situadas en el suelo y en los que la tracción se efectúa mediante cable.
- Aéreos. Teleféricos, es decir instalaciones de transporte o sistemas con vehículos suspendidos de uno o más cables.

2.2.2 Según el sistema de movimiento.

Pueden ser de vaivén o unidireccionales:

- De vaivén. Cuando los vehículos están animados por un movimiento de ida y vuelta entre las estaciones.

Figura 1. Movimiento de vaivén.



- Unidireccionales. Cuando los vehículos se mueven siempre en el mismo sentido. Entre estos los hay de “movimiento continuo”, que se mueven a una velocidad constante y “pulsantes” cuyos cables se mueven de manera intermitente o a una velocidad que varía periódicamente según la posición de los vehículos.

Figura 2. Movimiento continuo.



2.2.3 Según el número y disposición de sus cables.

Pueden ser monocables o bicables:

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

2.2.4 Según el sistema de sujeción de los vehículos al cable móvil.

Pueden ser instalaciones de pinza fija o instalaciones de pinza desembragable:

- Instalaciones de pinza fija. En las cuales el elemento de acoplamiento queda unido al cable de forma permanente.

Figura 3. Pinza fija.



(@DOPPELMAYR, 2010)

- Instalaciones de pinza desembragable. Son elementos que permiten desacoplar los vehículos del cable.

Figura 4. Pinza desembragable.



(@DOPPELMAYR, 2010)

2.2.5 De acuerdo con el tipo de vehículo.

Pueden ser vehículos cerrados o abiertos:

- Vehículos cerrados. Son instalaciones totalmente cubiertas que protegen la carga o pasajeros de las condiciones climáticas.
- Vehículos abiertos. Son instalaciones descubiertas como sillas y otros vehículos que no pertenezcan a la categoría anterior.

2.2.6 Según la situación del puesto de mando.

Pueden ser:

- Con puesto de mando en la estación.
- Con puesto de mando en el vehículo.

2.2.7 Según el sistema de mando del movimiento.

Pueden ser manuales o automáticos:

- Manual. En el que la marcha está regulada por un agente situado en la sala de máquinas o bien en los andenes o en los vehículos (telemando).
- Automático. En el que la acción de un agente o de los mismos viajeros, se limita a la puesta en marcha de la instalación, sin ninguna intervención posterior.

2.3 TIPOS DE TRANSPORTADORES CON CABLES

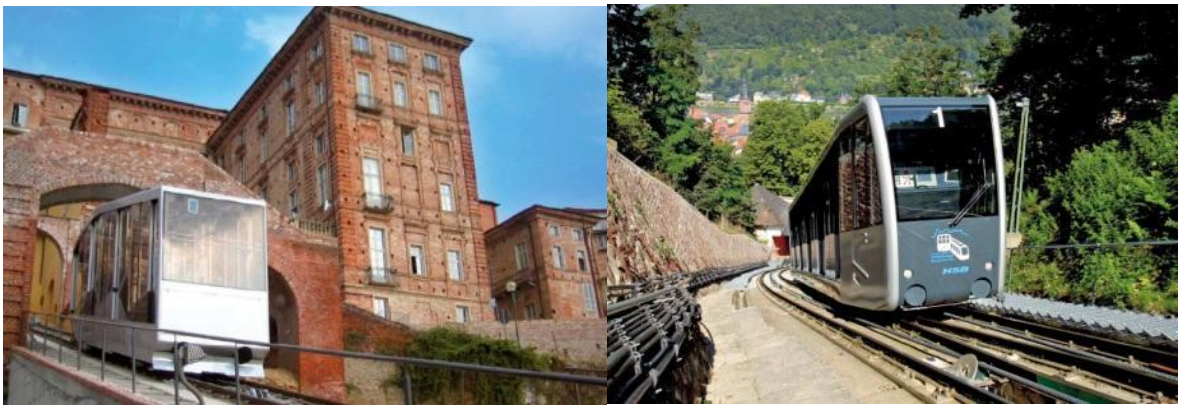
Existen diversos tipos de transportadores aéreos los cuales se describen a continuación (VICENTE, 2009, Cap. 2, Pág. 8):

2.3.1 Funicular.

Se entenderá por funicular toda instalación en la que uno o más cables tiran de los vehículos que se desplazan sobre una vía colocada por el suelo o soportada por obras fijas. Comparte muchas de las tecnologías de los transportes ferroviarios, en especial de los ligeros.

Una de las limitaciones que tradicionalmente presentaba este sistema de transporte es la longitud de la línea. Esta no puede ser ilimitada ya que el cable resultaría excesivamente pesado y presentaría problemas de dilatación térmica. Por otro lado, la capacidad de la instalación depende de la longitud. La solución habitual al problema técnico fue el establecimiento de estaciones de transbordo intermedias, con las consiguientes demoras e incomodidades para los viajeros.

Figura 5. Funicular.



(@DOPPELMAYR, 2010)

Una innovación tecnológica que permite paliar en parte este problema ha sido aplicada en 1997 por la empresa Garaventa a la renovación del funicular Sierre - Montana, que se ha convertido en el más largo de Suiza, con 4200 m. En la configuración original existían dos secciones, que se han unificado. Para ello se ha dispuesto un segundo cable lastre o contra cable que permite un comportamiento mecánico más estable y un mejor guiado de los vehículos. Esto se complementa con un complejo sistema de tensado de los cables, ubicado en la estación inferior.

Esta instalación también puede servir de ejemplo para contemplar las últimas novedades en cuanto a vehículos de funicular. Se incorporan las comodidades que presentan los vehículos recientes de otros modos de transporte, como acceso a discapacitados, aire acondicionado, materiales no deslizantes y anti vandálicos, etc.

En estos vehículos se ha llevado al extremo el concepto del viaje como atractivo paisajístico en sí mismo, a pesar de que esa dimensión es menor que en los sistemas aéreos.

De este modo el vehículo está casi completamente acristalado, incluyendo el techo, contando con un amplísimo ventanal frontal y ubicando la cabina del conductor en la parte superior del vehículo. En los compartimentos se han dispuesto pulsadores para que los viajeros indiquen en cuál de las estaciones desean quedarse.

Otra de las limitaciones que presenta el funicular es la necesidad de que la pendiente de la línea sea aproximadamente constante, dado que los vehículos y las estaciones se adaptan a esa inclinación. Se admite un margen de variación y en parte se puede corregir mediante movimientos de tierra y estructuras, que siempre encarecen la instalación y aumentan el impacto paisajístico. Para disminuir estos problemas y mejorar la comodidad de los pasajeros se están desarrollando vehículos con sistemas hidráulicos que permiten el movimiento de los compartimentos y su adaptación a la pendiente de la línea en cada punto; de este modo el viajero permanece siempre horizontal.

En estos momentos ya es posible la explotación completamente automática, reduciendo los costes de personal, manteniendo un elevado nivel de seguridad. Se trata de una instalación muy controlada en la que no son previsibles incidencias. En ocasiones puede llegar a funcionar de forma similar al ascensor de un edificio.

2.3.2 Teleférico de vaivén.

Los teleféricos de vaivén son generalmente bicables y se conocen también como teleféricos pesados o simplemente teleféricos cuando se comparan a telecabinas y telesillas. Son las instalaciones aéreas que permiten mayores vanos superiores a 1 Km.

Figura 6. Teleférico de vaivén.



(@DOPPELMAYR, 2010)

Pueden discurrir a gran altura sobre el suelo, permite altura ilimitada si disponen de cabina de evacuación.

La capacidad de transporte de estos teleféricos vaivén ronda según la magnitud de la cabina, la velocidad de marcha y la longitud del recorrido entre 500 y 2000 personas/hora (@DOPPELMAYR, 2010).

Las cabinas para este tipo de instalaciones están en constante progresión, tanto en tamaño como en comodidad, seguridad, estética y aerodinámica.

Otra interesante innovación, orientada específicamente a aumentar la espectacularidad del recorrido en viajes turísticos, es la cabina de suelo rotatorio. En estos momentos existen al menos dos instalaciones en el mundo, Table Mountain en Sudáfrica, construida por *Garaventa* en 1997, con cabinas de 65 plazas y la primera instalada en Titlis (Suiza-1992) con una cabina de 80 asientos, que a pesar de encontrarse en una estación de esquí está abierta todo el año para uso turístico.

2.3.3 Telecabina.

Las telecabinas para uso turístico son instalaciones generalmente monocables, con movimiento circulatorio continuo y pinzas desembragables. Las telecabinas bicables no son habituales.

Las telecabinas necesitan apoyos más próximos que los teleféricos de vaivén y deben mantener menores distancias al suelo, 60 m. La capacidad es mayor e independiente de la longitud de la línea.

Figura 7. Telecabina.



(@DOPPELMAYR, 2010)

Usualmente se circula a velocidad reducida en las estaciones, desacoplando las pinzas del cable transportador. Las cabinas tienen habitualmente capacidades comprendidas entre 4 y 12 viajeros.

Debido al tipo de vehículo cerrado se garantiza también una excelente protección de los pasajeros contra el viento y el tiempo. Las góndolas (cabinas) están unidas al cable transportador por medio de pinzas desembragables. La técnica de embrague y desembrague permite un acceso y descenso confortable a una velocidad lenta en las estaciones y una velocidad de hasta 6 m/s sobre la línea. Según la magnitud de la cabina se alcanzan capacidades de transporte de hasta 3.600 personas/hora (@DOPPELMAYR, 2010).

Las cabinas para esta instalación están mejorando su aerodinámica, mediante cabinas circulares y aumentando su tamaño (hasta 30 pasajeros). En la actualidad

disponen de apertura, cierre y bloqueo automático de puertas, ventilación especial y cristales ahumados.

2.3.4 Teleférico de grupo o telecabina pulsado.

Esta instalación monocable, con pinzas fijas y movimiento circulatorio pulsado puede resultar de gran interés para muchas aplicaciones turísticas. Consta de dos o cuatro grupos de cabinas y se detiene en las estaciones para que los viajeros suban o se queden.

Figura 8. Teleférico de grupo.



(@DOPPELMAYR, 2010)

Entre sus ventajas cabe destacar la sencillez de los sistemas de pinzas fijas y su atractivo aspecto. Su mayor desventaja es que la capacidad depende de la longitud de la línea, lo que se podría disminuir con más grupos de cabinas, pero esta solución obligaría a un número excesivo de detenciones de los viajeros durante el trayecto.

2.3.5 Teleféricos monocables de doble anillo.

Son una variante de las telecabinas (teleféricos monocables) en las que se disponen dos cables transportadores paralelos, formando una vía. Debe recordarse que el término monocable en el transpone por cable se refiere a que las funciones de sustentación de la carga y tracción se realizan a través de un único cable o grupo de cables, independientemente del número de cables

utilizados, mientras que en las instalaciones bicables existen cables destinados a soportar la carga y cables que transmiten la tracción.

Figura 9. Teleférico monocable doble anillo.



(@DOPPELMAYR, 2010)

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

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

2.3.6 Teleférico tricable de movimiento continuo.

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

Figura 10. Teleférico tricable movimiento continuo.



(@DOPPELMAYR, 2010)

Su objetivo es combinar las ventajas de un teleférico con las de una telecabina. Como el teleférico puede superar grandes obstáculos al permitir vanos grandes y circula a velocidades elevadas, de hasta 8 m/s. Sin embargo, permite que el sistema de embarque y desembarque sea similar al de una telecabina y tiene una capacidad elevada, independiente de la longitud de la línea al ser movimiento continuo unidireccional.

2.3.7 Ascensor inclinado.

Regresando a los sistemas terrestres, parece adecuado mencionar el ascensor inclinado, que es una evolución del plano inclinado hacia el concepto de ascensor.

Sus tecnologías se alejan de la vía clásica de ferrocarril que, con pocas variaciones adopta el funicular, para aproximarse más a las de un ascensor convencional de edificación.

Figura 11. Ascensor inclinado.



(@TRENSCAT, 2010)

En esencia supone una infraestructura de guiado del vehículo en una pendiente generalmente corta y pronunciada. Un único vehículo realiza el trayecto, en general de forma automática.

2.4 GENERALIDADES SOBRE LAS INSTALACIONES

A continuación se procede a describir características y normativas tecnológicas para la construcción de sistemas de transporte por cable aéreo o teleféricos (MIRAVETE, et al, 1998, Pág. 537):

2.4.1 Trazado.

La ubicación de un teleférico se realiza teniendo en cuenta que tanto las instalaciones como la seguridad del servicio estén libres de cualquier tipo de avalanchas o desprendimientos. Para su trazado se seleccionan siempre formas rectilíneas, permitiéndose una desviación máxima por apoyo de 30°. En las instalaciones de movimiento continuo la inclinación del cable entre dos apoyos consecutivos no podrá superar el 100 por 100, salvo en tramos cortos, justificando debidamente la pendiente adoptada, y siempre que la evacuación de los viajeros lo permita.

2.4.2 Dimensionamiento.

A continuación se describen las dimensiones o espaciamientos que debe de haber entre elementos externos al sistema y los componentes del sistema y así mismo entre los mismos componentes de dicho sistema, con el fin de evitar posibles inconvenientes:

- Gálibo transversal. Se establece un espacio libre lateral mínimo de 0,5 metros entre cualquier objeto ajeno a la instalación o elemento fijo de la misma y un vehículo o cable situado en la posición más desfavorable, en cualquier condición de carga y teniendo en cuenta los efectos del viento y los efectos dinámicos. Para el cálculo de los efectos transversales del viento en el vehículo o cable se admite una inclinación máxima de $11,5^{\circ}$. La distancia mínima entre dos vehículos o entre un vehículo y un cable, inclinados al máximo y simultáneamente hacia el interior será de 0,5 metros.
- Gálibo longitudinal. Se toma el gálibo correspondiente a una variación de 35° en relación con la vertical. Este mismo valor se toma para los vehículos abiertos pero teniendo en cuenta el espacio ocupado por los viajeros.

2.4.3 Alturas de funcionamiento.

En el transporte de personas, la distancia máxima al suelo en vertical está condicionada por las posibilidades de salvamento y por la naturaleza de los vehículos (abiertos o cerrados). En instalaciones para transportar carga, se admite una altura ilimitada.

La distancia mínima al suelo natural se mide desde el punto más bajo de un vehículo.

2.4.4 Velocidades de marcha en los vehículos.

Para sistema bicable con movimiento de vaivén. Para cabina acompañadas 10 m/s y para cabinas sin acompañar del 6 m/s. Estas velocidades se reducen en el caso de existir pilonas. Mientras que para sistema monocable: 6 m/s, esta velocidad se reducirá si la línea posee pilonas y especialmente en el caso de cabinas sin acompañar.

Para bicables de movimiento intermitente en circuito cerrado con cabinas acompañadas 7 m / s, mientras que para cabinas sin acompañar: 5 m/s.

Para bicables con movimiento continuo con enganche automático 3,5 m/s y para monocables con enganche automático 3,5 m/s, en casos especiales se puede admitir un 15 % más. En monocables con enganche fijo de 2 a 2,5 m/s.

2.4.5 Solicitaciones y condiciones de apoyo.

Los valores de capacidad máxima dependen del tipo de vehículo, siendo entre 2 y 4 viajeros para vehículos con movimiento unidireccional con enganche fijo y 6 pasajeros con enganche automático. Para vehículos de vaivén no acompañados es 15 viajeros y sin limitación para los acompañados.

Haciendo la analogía con un transporte de carga, se puede concluir de igual manera, que los sistemas con movimiento unidireccional o continuo, pueden transportar menor carga por vehículo, que los sistemas de movimiento de vaivén.

Las condiciones de apoyo de los cables sobre las pilonas se fijan en función del tipo de sistema de cables utilizado. Para sistemas bicables la altura de las pilonas y las condiciones de apoyo de la línea deben asegurar el apoyo de los cables-carril sobre los órganos sustentadores por la propia presión ejercida. El valor mínimo de la carga del cable-carril sobre los elementos de apoyo se calcula de tal manera que asegure permanentemente el contacto entre ambos aun cuando la tensión máxima prevista en las peores condiciones se incremente en un 40% y además por la acción del viento ascendente se ejerza sobre el cable una presión de 50 kg/m².

En los sistemas monocables con movimiento uniforme y en las condiciones más desfavorables en servicio normal, se tendrá en cuenta que la carga total sobre cada pylon no debe ser inferior al resultado expresado en metros, obtenido al sumar la longitud de los vanos adyacentes a la pylon considerada, siendo el valor mínimo 200 Kg. Se debe tener en cuenta que la carga unitaria de las poleas de las pilonas de apoyo será como mínimo de 50 kg, en ocasiones se puede llegar a aceptar hasta 40 kg de carga. Se debe asegurar la estabilidad del cable sobre las pilonas cuando la tensión en el mismo con movimiento uniforme aumente un 40%.

La carga unitaria máxima admisible en las poleas de las pilonas en kg se calcula según las circunstancias, entre 2,5 (d x D) y 5 (d x D), donde d es el diámetro del

cable y D el diámetro de la polea en cm. El ángulo máximo de desviación (ángulo de deflexión) del cable en cada polea no puede ser superior a 4,5°.

2.4.6 Seguridad.

Se debe anticipar cualquier tipo de eventualidad para que el sistema sea lo más seguro en la medida de lo posible:

- Cruces. No debe producirse ninguna perturbación mutua, ni posibilidad de peligro tanto en servicio normal como en trabajos de construcción, reparación o salvamento en los cruces y paralelismos con ferrocarriles, carreteras, caminos, teleféricos y líneas eléctricas.
- Zonas de peligro. Las instalaciones evitan todas las zonas expuestas a los peligros de las fuerzas naturales como derrumbes, corrimientos de tierras, desprendimientos de piedra, tormentas, inundaciones, terremotos, etc. así como la proximidad de aeródromos, zonas normales de vuelo a poca altura y otra serie de peligros. En caso contrario se toman medidas de seguridad como muros de contención, protecciones adecuadas, señalizaciones, iluminaciones de las instalaciones, etc.
- Iluminación de las instalaciones. Para el servicio diurno, se precisa una iluminación adecuada en caso de emergencia. Mientras que para el servicio nocturno se dispone de una instalación permanente de iluminación en la que no existan puntos de deslumbramiento o de falta de luz que originen zonas peligrosas.

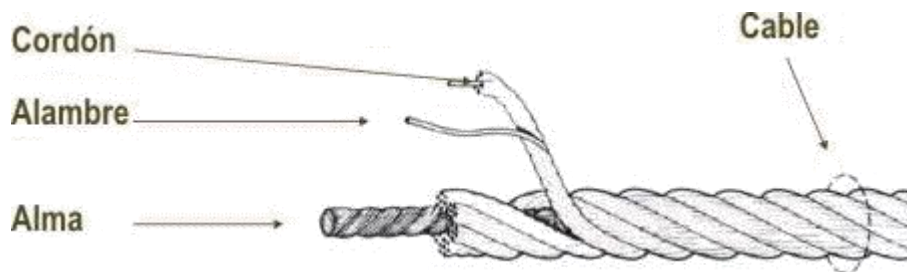
2.5 CABLES

Es el producto final que está formado por varios torones, que son enrollados helicoidalmente alrededor de un alma:

2.5.1 El cable y sus componentes.

Los cables de acero están constituidos por alambres de acero, generalmente trenzados en hélice (espiral) formando las unidades que se denominan torones (cordones) los cuales posteriormente son cableados alrededor de un centro que puede ser de acero o de fibra. El número de torones (cordones) en el cable puede variar según las propiedades que se desean obtener (@EMCOCABLES, 2010).

Figura 12. Componentes de un cable de acero.



(ESPINOZA y ARISTIZÁBAL; 2005, Pág. 31)

- Alambres. El alambre es obtenido por estiramiento al reducir el diámetro del alambrón, haciéndolo pasar por dados o matrices mediante la aplicación de una fuerza axial.

Las propiedades del alambre dependen básicamente de su composición química, microestructura, nivel de inclusiones, tamaño de grano, segregaciones y condiciones del proceso.

Todos los alambres deben cumplir con los requisitos establecidos en las normas ASTM A 1007, JIS G 3525, API 9 A, RRW 410 F, ISO 2232.

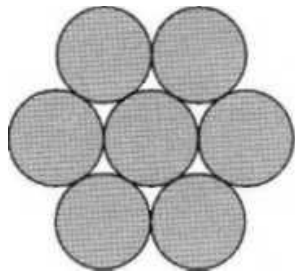
- Torones. Están formados por alambres que pueden ser todos del mismo o de diferentes diámetros, trenzados helicoidalmente sobre un alma central.
- Alma. El alma o núcleo es el eje central de un cable, alrededor del cual van enrollados los torones. Se utiliza alma de acero, fibra natural o sintética.

2.5.2 Clasificación de los cables de acero.

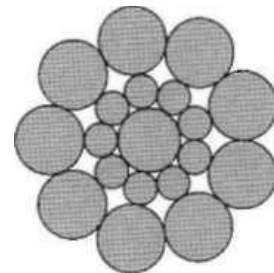
Los cables se clasifican según su diámetro, número de torones, número de alambres, tipo de alma o núcleo y construcción (@EMCOCABLES, 2010):

- Torón común de capa simple. El ejemplo más común de construcción de capa simple es el torón de siete alambres. Tiene un alambre central y seis alambres del mismo diámetro que lo rodean. La composición más común es $1+6= 7$ (ver Tabla 1(a)).
- Torón seale. Construcción que en la última capa tiene los alambres de mayor diámetro que la capa interior, dándole al Torón mayor resistencia a la abrasión. La composición más común es $1+9+9= 19$ (ver Tabla 1(b)).
- Torón filler. Se distingue por tener entre dos capas de alambres, otros hilos más finos que rellenan los espacios existentes entre las mismas. Este tipo de torón se utiliza cuando se requieren cables de mayor sección metálica y con buena resistencia al aplastamiento. La composición más común es $1+6/6+12= 25$ (ver Tabla 1(c)).
- Torón warrington. Se caracteriza por tener una capa exterior formada por alambres de dos diámetros diferentes, alternando su posición dentro de la corona. El tipo de torón más usado es $1+6+6/6= 19$ (ver Tabla 1(d)).
- Torón warrington seale. Es una combinación de las mencionadas anteriormente y conjuga las mejores características de ambas: la conjunción de alambres finos interiores aporta flexibilidad, mientras que la última capa de alambres relativamente gruesos, aportan resistencia a la abrasión. La construcción más usual es $1+7+7/7+14 = 36$ (ver Tabla 1(e)).
- Cable de acero 6x26. Es un cable que combina la resistencia a la flexión y a la abrasión, dando un buen comportamiento en uso: $1+5+(5+5)+10 = 26$ (ver Tabla 1(f)).

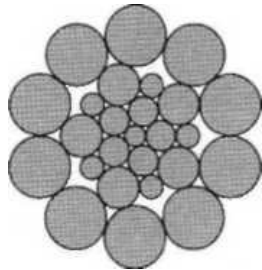
Tabla 1. Clasificación de los cables de acero.



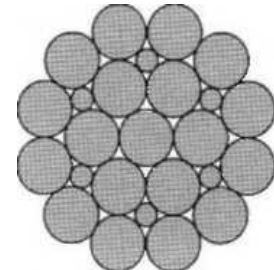
(a) Torón común de capa simple.



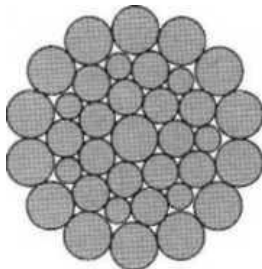
(b) Torón seale.



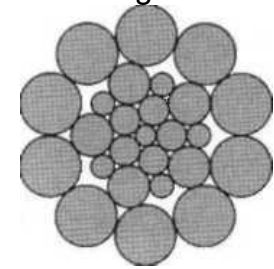
(c) Torón filler.



(d) Torón warrington.



(e) Torón warrington seale.



(f) Cable de acero 6x26.

(@EMCOCABLES, 2010)

2.5.3 Clases de arrollamiento.

Los cables pueden tener arrollamiento cruzado o lang (ESPINOZA y ARISTIZÁBAL; 2005, Pág. 32):

- Arrollamiento cruzado. Es aquel en el que los cordones están arrollados en sentido contrario al de los alambres que lo forman.

Ventajas:

- Es de manipulación más fácil que el cable lang.
- Tiene menos tendencia a girar y a descablearse.

- Por su estructura es más resistente al aplastamiento y a las deformaciones.

Inconvenientes:

- Menor resistencia al rozamiento, debido a que posee una menor superficie de contacto con las poleas.
- Arrollamiento lang. Los alambres en el cordón y los cordones en el cable están arrollados en el mismo sentido.

Ventajas:

- Tienen una gran resistencia al desgaste por rozamiento.
- Es más flexible que el cable cruzado.

Inconvenientes:

- Se debe manipular con precaución para evitar la formación de "cocas".
- Tiene gran tendencia a descablearse (para evitar el descableado se deben preformar los alambres).

2.5.4 Almas de cables.

El alma del cable es un soporte interior destinado a que los cordones, bajo la carga y presiones de trabajo, no pierdan su apoyo y posición, y los alambres de dos cordones adyacentes no se entallen entre sí. Pueden ser de fibra o acero (ESPINOZA y ARISTIZÁBAL; 2005, Pág. 32):

- Alma de fibra. Son cuerdas de fibras vegetales resistentes, fuertemente impregnadas de una grasa especial.

Características:

- Proporciona a los cordones un asiento elástico para evitar el desgaste por rozamiento y entalladuras entre los diferentes cordones.
- Constituye un depósito de lubricante que asegura el engrase interior durante largo tiempo.
- Aumenta la elasticidad y flexibilidad del cable.
- No resiste el trabajo a temperaturas elevadas.
- Alma de acero. El alma de acero consiste de otro cable formado por cordones o por alambres, dependiendo de los requerimientos de trabajo.

Características:

- Resistente al aplastamiento.
- Ideal para trabajar en instalaciones a la intemperie.
- No permite gran flexibilidad.

2.5.5 Cables en teleféricos.

A continuación se describen los tipos de cables y sus dimensionamientos para sistemas de transporte tipo teleféricos (MIRAVETE, et al, 1998, Pág. 541):

2.5.5.1 Tipos de cables y su uso.

Los cables carril son de alma de acero, cerrados y no tienen empalmes. En algunas ocasiones se utilizan cables antigiratorios. Mientras que los cables tractores, los cables de transporte y los contracables son de acero de tipo flexible de cordones y galvanizados y con arrollamiento de igual paso. Los cables de tensión son especialmente flexibles, no siendo de capas múltiples de cordones salvo en el caso del uso de poleas de gran diámetro o trenes de rodillos.

2.5.5.2 Dimensionamiento de los cables.

De acuerdo a la funcionalidad del cable, se debe tener en cuenta las siguientes especificaciones para su correcta selección y diseño:

- Coeficiente de seguridad. La solicitación máxima del cable debe ser inferior a cierto límite, más allá del cual la duración del cable se pone en peligro. Para prevenir este riesgo se adopta una carga de trabajo que viene determinada por el resultado de dividir la carga de ruptura real del cable por el coeficiente de seguridad, que la experiencia ha sancionado como el más adecuado para cada aplicación. En la siguiente tabla se dan algunos de ellos.

Tabla 2. Factores de seguridad.

Sector	Construcción
Cables fijos. Cables de puentes colgantes	3-4
Cables carriles para teleféricos	3.5-5
Cables tractores para teleféricos	5-7
Cables de labor, elevación y grúas	5-9
Cables para instalaciones importantes	8-12
Cables para transporte de personal	8-12
Cables para planos inclinados	5-8
Cables para pozos de extracción	8-12
Cables para ascensor	8-17
Cables para cabrestantes y trenajes	4-8

(@EMCOCABLES, 2010)

- Esfuerzo de tracción. Las cargas que se consideran para calcular el esfuerzo máximo de tracción son las siguientes:

a) Cable carril:

- Contrapesos (tensión de base).
- Esfuerzo debido al peso propio del cable.
- Rozamiento en los apoyos sobre las zapatas ($\mu = 0,1$ a $0,15$).
- Rozamiento de los trenes de rodillos.
- Esfuerzos adicionales en caso de anclaje fijo.
- Esfuerzos de frenada ejercidos por el freno del carretón.

b) Cable tractor o motriz:

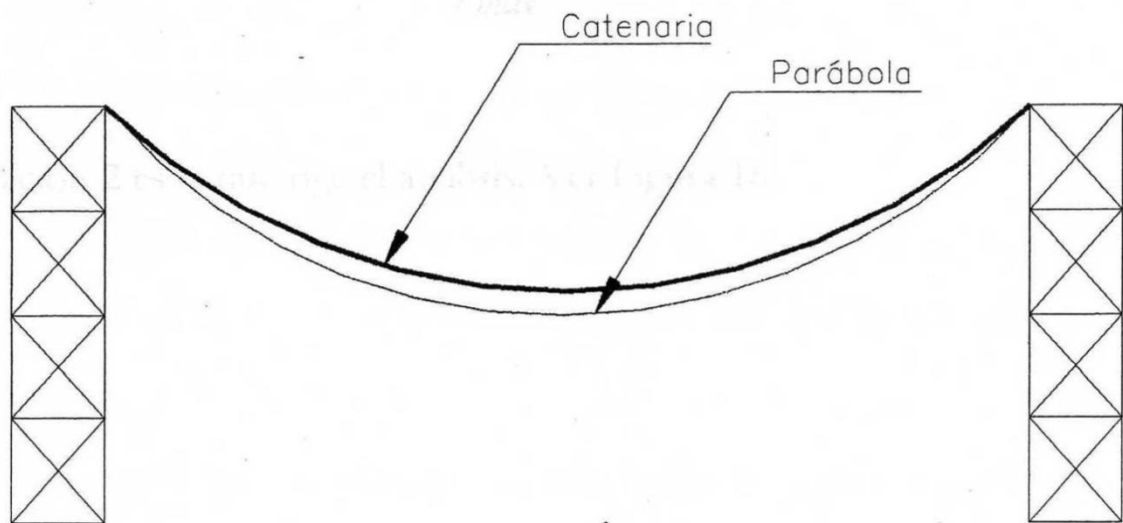
- Contrapesos (tensión de base).
- Esfuerzo debido al peso propio del cable.
- Influencia debida a los vehículos cargados.
- Rozamiento mínimo entre cable y vehículos: $\mu = 0,02$ ($\mu = 0,028$ para monocables).
- Fuerzas de frenada y aceleración.

2.5.6 Análisis estático del cable.

El análisis se hace asumiendo las siguientes características de la instalación (CEBALLOS y HENAO; 1999, Pág. 48):

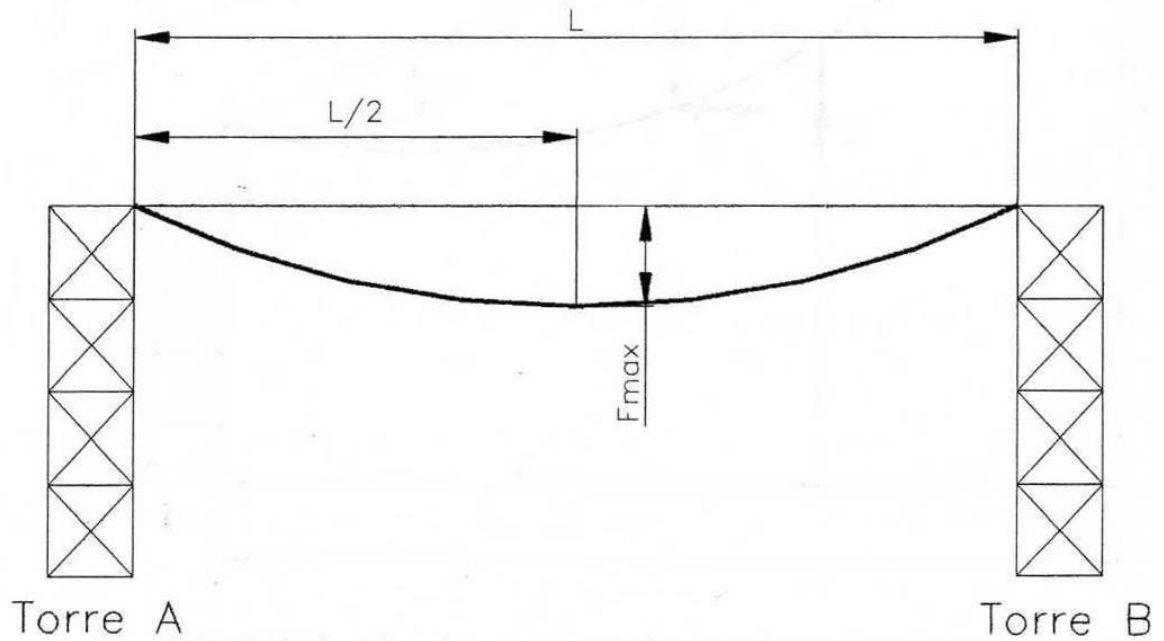
- Flecha e inclinación del cable tensado por un contrapeso en el extremo inferior.
- La carga se supone aplicada en el centro del primer tramo para calcular la flecha máxima en este.
- El peso del cable se toma como una carga distribuida uniformemente repartida en toda su longitud.
- Un cable por ser una estructura flexible, al suspenderlo, forma una curva llamada catenaria que precisa un cálculo complejo, es debido a esta dificultad que este análisis se realiza asumiendo la curva como una parábola, el error en esta solución es despreciable (ver Figura 13).

Figura 13. Esquema de catenaria.



La característica principal de la curva es que en el punto medio se encuentra su mayor deflexión a la cual se le denomina flecha máxima (F_{max}) dada en metros (ver Figura 14).

Figura 14. Diagrama de flecha máxima.



Recomendación:

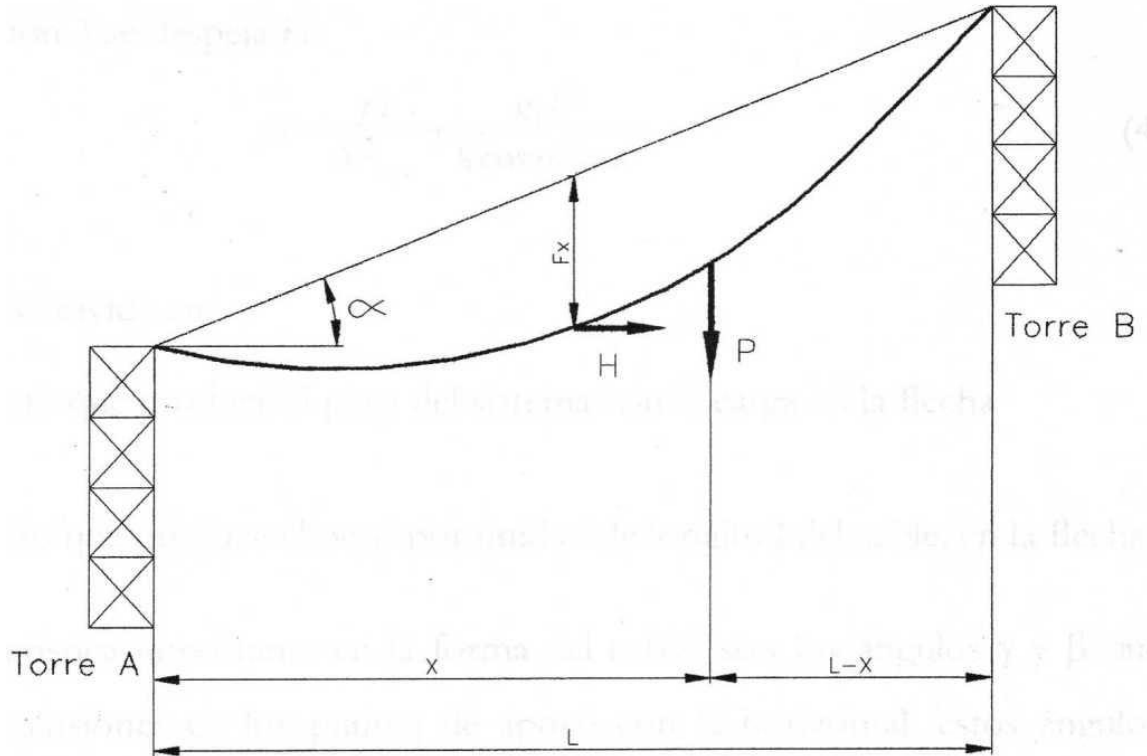
$$\frac{L}{20} \leq F_{max} \leq \frac{L}{30}$$

Donde L es la longitud horizontal. Se asume el valor promedio de estos valores:

$$F_{max} = \frac{L}{25} \tag{1}$$

La ecuación 2 es la que rige el análisis (ver Figura 15).

Figura 15. Esquema de análisis estático.



$$F = \left(\frac{p}{L} + \frac{g_t}{2 \cos \alpha} \right) \cdot \frac{(L-x)x}{H} \quad (2)$$

Donde:

F_{max} : Flecha en la función de la posición x [m].

p : Peso total (carga y peso del vehículo) [Kg].

L : Longitud horizontal entre puntos de apoyo [m].

H : Tensión horizontal en cualquier punto del cable [Kg].

g_t : Peso por unidad de longitud del cable [Kg/m].

α : Pendiente de la cuerda que une los puntos de apoyo [Grados].

Para tener una mejor comprensión de la fórmula se analiza el punto medio $x = \frac{L}{2}$ en donde la flecha es máxima; la fórmula se transformará en:

$$F_{max} = \frac{pL}{4H} + \frac{g_t L^2}{8 \cos \alpha H} \quad (3)$$

De la ecuación 3 se despeja H:

$$H = \frac{pL}{4F_{max}} + \frac{g_t L^2}{8 \cos \alpha F_{max}} \quad (4)$$

La formula se divide en:

$$\frac{pL}{4F_{max}} = \text{Flecha que se produce por el efecto del peso del vehículo y la carga.}$$

$$\frac{g_t L^2}{8 \cos \alpha F_{max}} = \text{Flecha que se produce por el efecto del propio peso del cable.}$$

Otra característica importante en la forma del cable, son los ángulos γ y β que forman las tensiones en los puntos de apoyo con la horizontal, estos ángulos permiten hallar la tensión máxima y mínima en el cable.

Si el punto A es el nivel inferior, la formula que rige el ángulo γ es:

$$\tan \gamma = \tan \alpha - \frac{g_t \frac{l}{2} + p}{H} \quad (5)$$

Siendo l = Longitud de la cuerda que une los puntos de apoyo del cable.

Si el punto B es el nivel superior, la formula que rige el ángulo β es:

$$\tan \beta = \tan \alpha + \frac{g_t \frac{l}{2} + p}{H} \quad (6)$$

Con las ecuaciones 4 y 5 se hallan las tensiones en el nivel inferior y superior con la ayuda de las siguientes formulas:

$$\text{Tensión en el nivel superior. } T_a = H / \cos \gamma \quad (7)$$

$$\text{Tensión en el nivel inferior. } T_b = H / \cos \beta \quad (8)$$

2.6 VEHICULOS

Existe una gran variedad de vehículos dependiendo fundamentalmente del tipo de instalación, y una gran variedad de los materiales que se emplean para su construcción, pero las características comunes a todos ellos son las referidas a la seguridad del viajero y su comodidad. Es por ello que la mayoría de estos vehículos maximizan su visibilidad compatibilizándola siempre con las condiciones de seguridad y las características propias de cada tipo de instalación (MIRAVETE, et al, 1998, Pág. 543).

En el caso de transporte de carga los vehículos son diseñados dependiendo del producto a transportar y de la forma que se desea el montaje y desmontaje de la carga en dicho vehículo.

2.6.1 Solicitaciones.

Al realizar un dimensionado de los vehículos se tienen que tener en cuenta dos tipos de solicitaciones: las principales y las complementarias. Las solicitaciones principales son el peso propio, la carga útil y el apoyo de los cables. Mientras que las solicitaciones complementarias son la presión del viento, los esfuerzos de frenada, los esfuerzos producidos por los elementos de guiado y por los amortiguadores de balanceo, las oscilaciones longitudinales y transversales, los esfuerzos de torsión y los esfuerzos dinámicos producidos por el paso sobre los apoyos de la línea.

Teniendo en cuenta las cargas principales, todos los elementos relacionados con los vehículos, con su suspensión, con su unión con el cable transportador y con el equipo de frenado, se calculan con un coeficiente de seguridad no inferior a 5. Dicho cálculo se verifica para ver si ofrece garantías suficientes de seguridad, teniendo en cuenta los esfuerzos de torsión, flexión y los complementarios que sean previsibles, especialmente la fatiga.

2.6.2 Características constructivas.

Tres de las principales características constructivas de este tipo de vehículos son la seguridad, la accesibilidad y la comodidad. Estos vehículos se diseñan de forma que en condiciones y posiciones normales los pasajeros no puedan caerse, se

asegure un fácil acceso y descenso de los mismos sin posibilidad de quedar enganchados por los equipos de transporte y la suspensión posea elementos elásticos que aumenten la comodidad de los viajeros.

2.6.3 Elementos de enganche.

Son los elementos que enlazan los vehículos con los cables, se pueden realizar por medio de terminales, mordazas fijas, mordazas automáticas o dispositivos que actúen por rozamiento entre superficies curvas y el cable deformado bajo presión.

2.7 APOYOS DE LÍNEA

Son los apoyos enclavados sobre el terreno sobre los que se realiza el trazado del cable de la instalación que soportan las cargas transmitidas por la propia instalación. Las obras de hormigón o metálicas que afecten a los apoyos de los cables de las instalaciones de teleféricos se ajustan a las normas vigentes para la construcción de obras de este tipo (MIRAVETE, et al, 1998, Pág. 545):

2.7.1 Solicitaciones.

En el cálculo de las resistencias de estos apoyos o pilonas y de sus correspondientes cimentaciones se tienen en cuenta las siguientes solicitaciones:

- El peso propio.
- El conjunto de las cargas de apoyo de todos los cables.
- El rozamiento entre el cable carril y las zapatas de apoyo:
 - coeficiente 0,15 para cable tipo cerrado.
 - coeficiente 0,20 para cable de cordones.
- La presión del viento sobre los cables y sobre las obras de la línea.
- El peso propio de los vehículos.
- El efecto dinámico debido al movimiento.
- El efecto dinámico debido a las aceleraciones y las frenadas.

Los apoyos son lo suficientemente rígidos para que las deformaciones elásticas, principalmente las debidas a los efectos de torsión, en condiciones normales de servicio y especialmente bajo la acción de los vientos transversales, no

perjudiquen la seguridad del guiado ni la del apoyo de los cables, tampoco deben ocasionar desgastes anormales tanto en ellos como en las zapatas de apoyo.

Figura 16. Apoyo de la línea.



(@DOPPELMAYR, 2010)

2.7.2 Apoyos.

Para el cálculo de las estructuras metálicas que constituyen los apoyos se admite un coeficiente de seguridad de 3. Los perfiles abiertos suelen tener un espesor mínimo de 5 mm y los tubos y perfiles cerrados un espesor de 2,5 mm. En el cálculo de las cimentaciones no se tiene en cuenta los posibles efectos o influencias favorables del terreno, salvo que este efecto beneficioso tenga una permanencia que quede perfectamente garantizada. Estas cimentaciones de hormigón forman un resalte sobre el terreno.

2.8 ESTACIONES

Por estaciones se entiende las instalaciones que albergan tanto los accesos de entrada y salida como el equipamiento necesario para el uso de estas, así como todo el mecanismo de funcionamiento (MIRAVETE, et al, 1998, Pág. 547):

2.8.1 Edificación.

Las instalaciones disponen de una iluminación adecuada. El puesto de mando está dispuesto de tal manera que el maquinista pueda vigilar la mayor longitud posible de la línea, los puntos de parada, los emplazamientos de los dispositivos de acoplamiento, el equipo motor y los aparatos de control, a la vez que pueda atender simultáneamente a los mandos. A los locales de instalaciones mecánicas y eléctricas está prohibida la entrada de personal que no sea de servicio.

Figura 17. Estación.



(@DOPPELMAYR, 2010)

2.8.2 Grupo motor y frenos.

Por cuestiones de seguridad en la instalación motriz, además del motor principal, existe otro motor de reserva, preferiblemente Diesel, o se dispone un suministro de energía independiente del principal, capaz de asegurar el servicio en régimen de marcha reducida, para suplir al motor principal en caso de avería o al aliar la alimentación. En instalaciones pequeñas se puede prescindir de dicho motor de reserva.

Para cualquiera que sea la carga de la instalación, la velocidad del motor principal a tensión constante no puede variar más de un 5% de la nominal. En caso de que

por efecto de la distribución de la carga resultase que la instalación actuase como automotora, se puede implementar un mecanismo para que el motor haga efecto de autofreno. Tanto el arranque del motor como el de la instalación queda asegurado aún en las condiciones más desfavorables de carga. Las posibles causas de parada de motor pueden ser:

- Que la tensión de alimentación se reduzca o se produzca un corte de la corriente.
- Que la intensidad de la corriente crezca fuertemente.
- Que la velocidad aumente un 10%.
- Que actúe alguno de los mecanismos de seguridad montados en la instalación.

2.8.3 Tensionado y anclaje de los cables.

La tensión de los cables carriles tractores y de transporte está regulada por contrapesos o dispositivos equivalentes, en circunstancias especiales los cables carriles pueden estar anclados por ambos extremos siempre que su tensión pueda ser medida y regulada. Si el anclaje del cable carril se consigue por medio de vueltas muertas sobre un tambor fijo, se dispone de un dispositivo que permita desplazar fácilmente este cable en sentido longitudinal. Las extremidades libres están provistas de mordazas de seguridad.

Los contrapesos y sus desplazamientos se calculan teniendo en cuenta las máximas variaciones que se puedan producir en los valores de las flechas en los diferentes vanos, tanto por las cargas como por el alargamiento elástico del cable y por las variaciones de la temperatura ambiente, tomándose como valor mínimo para éste cálculo, una diferencia de 60°C.

2.8.4 Dimensionamiento de los espacios.

En las estaciones terminales es donde se gestiona la carga y descarga de material o de pasajeros. En los sistemas con movimiento continuo, el paso de los vehículos alrededor de los volantes de las estaciones se hace de tal forma que evite posibles accidentes, como el del fallo en la descarga. Se disponen de talleres y elementos necesarios para la debida conservación de las instalaciones.

Los accesos a las cabinas y vehículos son amplios, cómodos y suficientemente distanciados y protegidos de desniveles y precipicios. En estaciones terminales de

teleféricos de movimiento continuo y con enganche fijo, se adopta que las pistas de ascenso o bajada de los vehículos no tengan una pendiente longitudinal transversal mayor del 10% y que su longitud sea la adecuada a la velocidad de la instalación, en función de diversos criterios.

2.9 EXPLOTACIÓN DE LA ESTACIÓN

En la explotación de la instalación influye de forma decisiva el servicio de mantenimiento o personal de la instalación así como el reglamento al que se ajustan este tipo de instalaciones y por supuesto los controles, puestas a punto y conservaciones periódicas (MIRAVETE, et al, 1998, Pág. 550):

2.9.1 Personal de la instalación.

El personal de la instalación está constituido por el Responsable Técnico, el Encargado de Explotación, jefe directo del conjunto de las instalaciones, permaneciendo en el área de las instalaciones mientras prestan servicio y asegurando la marcha normal de la explotación, la conservación del material y la seguridad de las instalaciones. A su vez existe para cada una de las instalaciones un Conductor Encargado del funcionamiento de la misma así como de la seguridad del servicio y un Auxiliar que podrá reemplazar a este en su caso.

2.9.2 Reglamento de explotación.

El reglamento de explotación fija todos los detalles de la instalación, tiene en cuenta las prescripciones reglamentarias y las de servicio de mantenimiento relativas a la seguridad. El reglamento describe los controles técnicos periódicos, las señales, las instrucciones para el salvamento de pasajeros y otras cuestiones relacionadas con su funcionamiento.

2.9.3 Controles puesta a punto y conservación.

Para facilitar la vigilancia y garantizar la seguridad del sistema, se conservan en perfecto estado de limpieza todos los componentes de la instalación. Antes de iniciar el servicio diario se realiza un recorrido previo en la instalación para asegurar el normal funcionamiento.

Las directrices para el control y sustitución del cable, elemento esencial para la seguridad pues está sometido al trabajo más intenso de la instalación, siguen las siguientes normas y recomendaciones:

- Examen periódico del aspecto exterior del cable, en particular el estado de los mismos a la salida de las terminales sobre los apoyos y en zonas localizadas de desgaste.
- Control periódico del estado interno del cable.
- Desplazamiento longitudinal del cable carril en intervalos de tiempo previamente fijados.
- Los terminales de los cables se rehacen periódicamente, utilizando nuevas secciones del cable.
- Al reducirse la sección del cable, medida en una longitud de referencia, con relación a la sección del cable nuevo, y lo haga sobrepasando unos valores determinados, se procederá a la sustitución del cable.
- Si la velocidad de degradación del cable se manifiesta especialmente rápida, conviene aumentar la cadencia de los exámenes señalados.

3. DISEÑO DE LOS COMPONENTES Y SUB-COMPONENTES DEL SISTEMA DE TRANSPORTE POR CABLE AEREO

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

Anteriormente se analizaron varias alternativas de transportadores aéreos y la mejor opción de diseño es el **teleférico o sistema de transporte aéreo bicable de vaivén**.

Es el más adecuado a ser implementado por su reducido costo de construcción, en comparación con los otros sistemas y por su sencilla construcción ya que este tipo de sistemas permiten mayores distancias entre los apoyos y por ende requiere de menor cantidad de torres, también porque no requieren de un complicado sistema de pinzas desembragables o poleas especiales para el retorno de vehiculó.

3.1 DESCRIPCION DE LA SOLUCION ELEGIDA

Los componentes principales que conformaran el sistema de transporte por cable aéreo son:

3.1.1 Cable carril.

Es el cable que se encarga de soportar el peso tanto del vehículo como el de su carga y también sirve de guía al recorrido de este. Se encuentra fijo y anclado en sus dos extremos, puede ir apoyado a lo largo del recorrido dependiendo de la topografía para así evitar grandes deflexiones que impida el desplazamiento correcto del vehículo. Es un cable de suspensión que debido a la sollicitación de la carga este se obliga a cambiar su forma, produciendo únicamente esfuerzos de tensión, que se distribuyen uniformemente sobre su sección transversal.

3.1.2 Cable motriz.

Es un cable, con una trayectoria paralela al cable carril, el cual transmite el movimiento desde el sistema motriz hasta el vehículo. Este cable es sometido principalmente a esfuerzos de tracción y fatiga al ser envuelto en un tambor para halar y subir el vehículo o desenrollar para bajar el vehículo por gravedad y retenida por el motor.

3.1.3 Sistema motriz.

El objetivo de este sistema es dar energía mecánica necesaria para mover el cable motriz y el vehículo. Consta de motor, mecanismos de transmisión de potencia, eje, freno y tambor (ver Figura 43).

3.1.4 Elementos de apoyo o torres.

Son elementos verticales, que sirven como sustento del cable carril y el cable motriz, que a la vez permiten la circulación del vehículo. Deben ser capaces de absorber las deformaciones en los cables (ver Figura 46).

3.1.5 Vehículo.

Es el elemento que viaja apoyado sobre el cable carril por medio de poleas, y su finalidad es transportar la carga de un lugar a otro. El diseño debe brindar facilidad de acceso, comodidad y seguridad (ver Figura 48).

3.1.6 Anclajes.

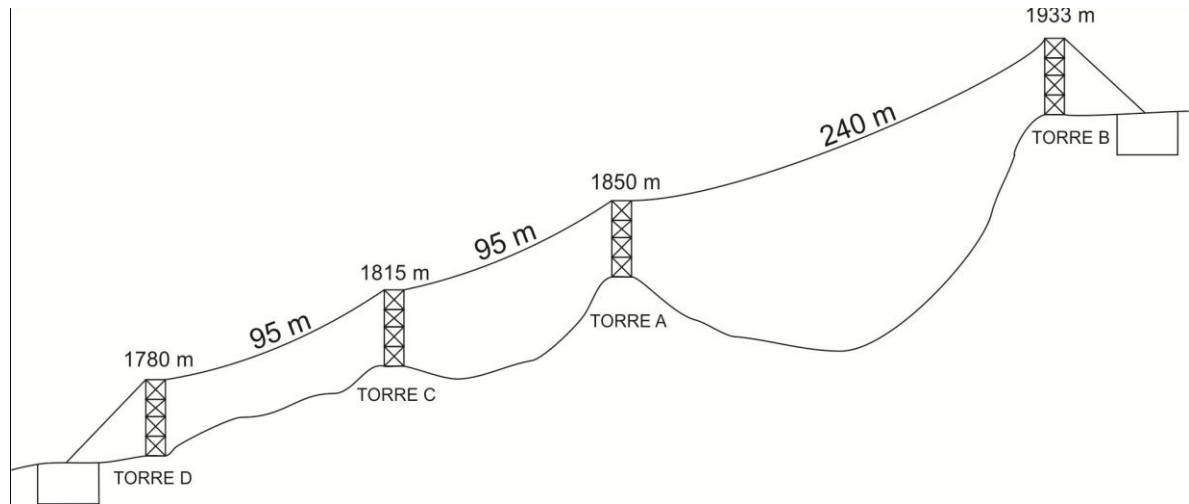
Son tipos especiales de cimentación, diseñadas para resistir una fuerza de tensión lateral o hacia arriba transmitida al suelo (ver Figura 53).

3.2 CONDICIONES INICIALES DEL TERRENO

Para empezar con el diseño del sistema de transporte por cable, se deben conocer las condiciones topográficas del terreno, como son los puntos en donde

se van a poner los apoyos del cable y así mismo conocer alturas, pendientes, longitudes, etc. A continuación se presenta un esquema de la situación topográfica del lugar en donde se va a realizar el sistema:

Figura 18. Esquema del terreno.



En el esquema, se visualiza tanto las alturas a nivel del mar de cada torre como la longitud lineal entre los puntos de apoyo del cable entre las torres.

La diferencia de altura entre la torre B y la torre A es= $1933\text{ m} - 1850\text{ m} = 83\text{ m}$

Altura tramo CA= $1815\text{ m} - 1780\text{ m} = 35\text{ m}$

Altura tramo AC= $1850\text{ m} - 1815\text{ m} = 35\text{ m}$

- Tramo BA

- Pendiente BA:

$$\theta = \sin^{-1} \frac{83\text{ m}}{240\text{ m}}$$

$$\theta = 20,23^\circ$$

- Longitud horizontal BA:

$$L_h = \cos 20,23^\circ \cdot 240\text{ m}$$

$$L_h = 225,2\text{ m}$$

- Tramo AC y CD

- Pendiente AC y CD:

$$\theta = \sin^{-1} \frac{35 \text{ m}}{95 \text{ m}}$$

$$\theta = 21,62^\circ$$

Longitud horizontal AB:

$$L_h = \cos 21,62^\circ \cdot 95 \text{ m}$$

$$L_h = 88,32 \text{ m}$$

3.3 DESARROLLO DE LOS COMPONENTES Y SUBCOMPONENTES DEL SISTEMA DE TRANSPORTE POR CABLE

Se procede a diseñar y a calcular cada uno de los diferentes componentes y subcomponentes del sistema de transporte por cable:

3.3.1 Cable carril.

La selección del cable carril se hace aplicando los respectivos criterios y cálculos:

3.3.1.1 Selección del tipo de cable carril.

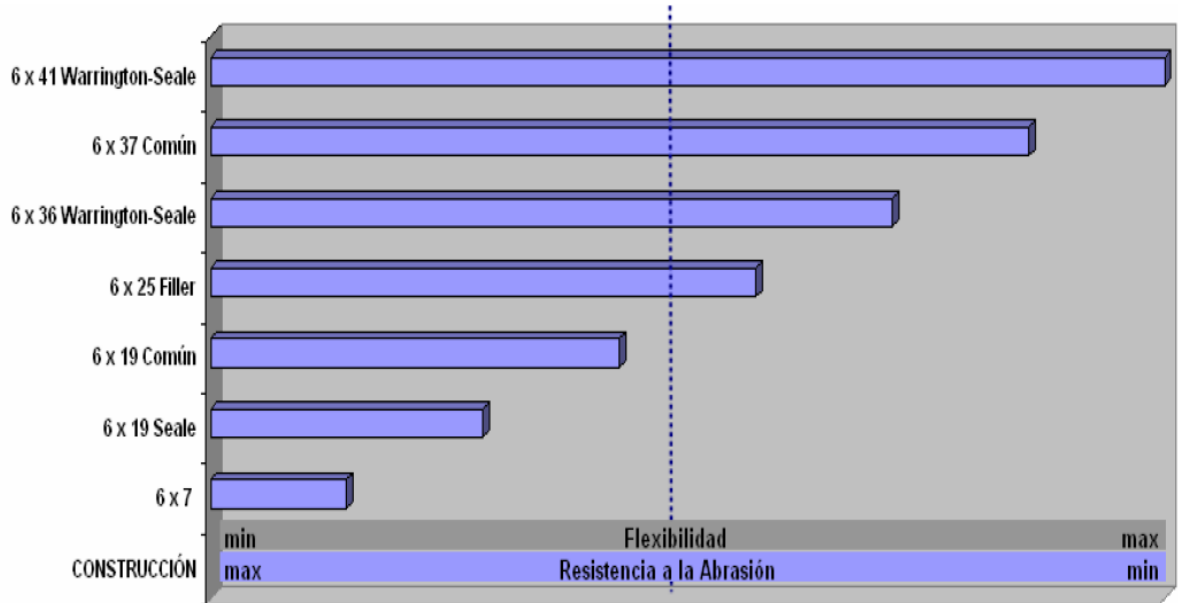
Los criterios para seleccionar el tipo de cable carril más adecuado, se deben privilegiar las características más relevantes (ROMO, CHECA y ZAMBRANO; s.f., Pág. 9):

- Resistencia. Es el factor mandatorio y define el diámetro del cable (ver 3.3.1.2).
- Fatiga y abrasión. Considerando estos dos factores se selecciona el tipo de construcción más apropiada.
 - 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.

- Abrasión. Es un factor mucho más representativo en este caso particular, ya que la fricción entre el cable y poleas produce un desgaste en los alambres exteriores.

Figura 19. Resistencia a la abrasión x flexibilidad.



(ROMO, CHECA y ZAMBRANO; s.f., Pág. 10)

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, mientras 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 un 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 alambre (7), que forman el torón (6) es reducido. Esto indica una construcción de cables por alambres gruesos lo que le da la característica de ser

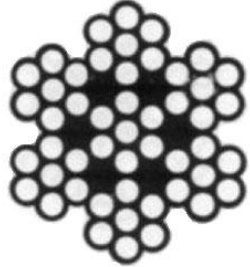
muy resistente a la abrasión, y tiene una flexibilidad reducida, lo que permitirá seguir una trayectoria más homogénea de los vehículos.

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

El alma de acero se ha selecciona 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 recomendable utilizar cables con acabado galvanizado. Es recomendable el terminado negro, conocido también como brillante.

Tabla 3. Detalles del Cable Carril seleccionado.

	Diámetro	5/8 in
	Construcción	6 x 7
	Alma	ACERO
	Torcido	LANG
	Acabado	NEGRO
	Peso aproximado	1,01 Kg/m
	Carga de rotura	17,1 Ton

3.3.1.2 Calculo del diámetro, flecha máxima, tensiones máximas y ángulos en los apoyos del cable carril.

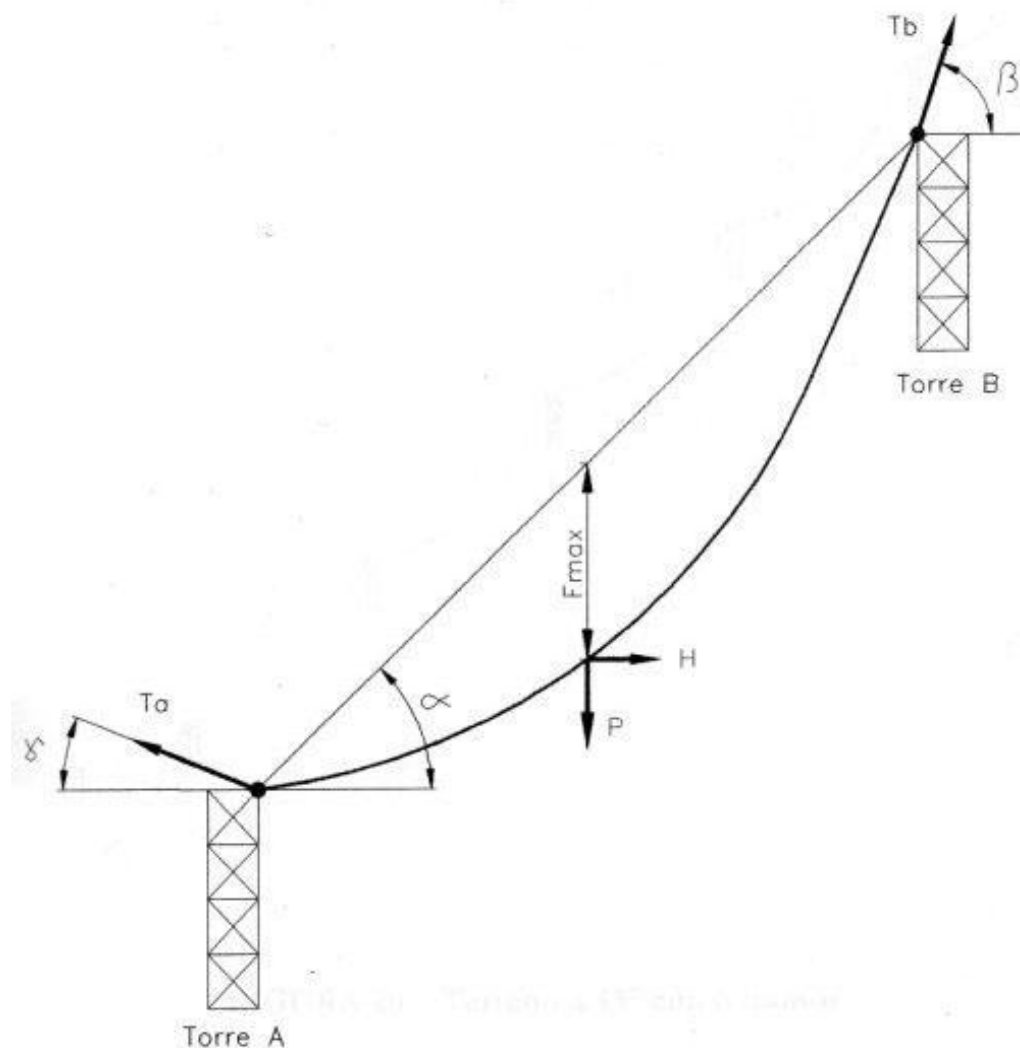
Para el cálculo del diámetro del cable motriz, se utilizará el método de ensayo y error, probando varios diámetros hasta hallar el que cumpla con el factor de seguridad para cables carriles. Para llegar a esto es necesario conocer la flecha máxima, las tensiones máximas y los ángulos en los apoyos del cable.

La flecha máxima se calcula con el fin de conocer el punto más bajo que puede tomar el cable debido a la carga y al propio peso del cable y así poder saber si el vehículo toca o no el terreno (ver Figura 20).

Las tensiones y los ángulos que se forman en los apoyos se calculan para conocer la máxima tensión en el cable con lo cual se calcula el factor de seguridad y así saber si la resistencia del cable cumple o no. En caso que no cumpla, se debe repetir todo el procedimiento hasta encontrar el cable con el diámetro adecuado.

Las tensiones y los ángulos en los apoyos también se necesitan para conocer las fuerzas que allí se generan y así poder realizar el diseño eficaz de las torres (ver 3.3.4).

Figura 20. Esquema de fuerzas del tramo AB.



- Análisis del tramo BA

Se analiza solo el tramo BA ya que por su mayor longitud es el más crítico.

Antes de ver el procedimiento del cálculo del diámetro del cable carril, se calcularon varios cables utilizando algoritmos en Excel, los resultados se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 4. Resultados obtenidos para diferentes diámetros de cables carriles.

$D_{cable}[in]$	3/8	7/16	1/2	9/16	5/8	3/4	7/8
$g_t[Kg/m]$	0,363	0,494	0,645	0,817	1,008	1,452	1,976
$C_{rot}[Kg]$	5715,2	7729,2	10069,7	12700,5	15512,9	22135,2	29936,9
$p[Kg]$	500	500	500	500	500	500	500
$l[m]$	240	240	240	240	240	240	240
α	20,23°	20,23°	20,23°	20,23°	20,23°	20,23°	20,23°
$L[m]$	225,2	225,2	225,2	225,2	225,2	225,2	225,2
$F_{max}[m]$	9,01	9,01	9,01	9,01	9,01	9,01	9,01
$H[Kg]$	3397,3	3495,5	3608,8	3737,8	3881,0	4214,0	4607,0
γ	11,78°	11,78°	11,78°	11,78°	11,78°	11,78°	11,78°
β	27,86°	27,86°	27,86°	27,86°	27,86°	27,86°	27,86°
$Ta[Kg]$	3470,3	3570,7	3686,4	3818,2	3964,5	4304,7	4706,1
$Tb[Kg]$	3842,6	3953,7	4081,8	4227,7	4389,7	4766,4	5210,9
F_s	1,49	1,95	2,47	3	3,53	4,64	5,75

El factor de seguridad para cables carriles debe estar entre 3,5 y 5.

Se encontró que el cable de 5/ " y 3/4", cumplen con dicho factor, pero por razones de economía y sabiendo que no se está transportando personas, se puede elegir el menor de ellos.

Para el cálculo del cable carril se procede a ubicar el diámetro que se desea analizar y según el tipo de cable escogido, en el catálogo de Emcocables, se extraen las propiedades (ver Anexo B Tabla 9):

- Cable de acero
- Diámetro de 5/8 in
- Construcción 6 x 7

- Alma de acero
- Torcido lang
- Acabado negro
- Peso aproximado 1,01 Kg/m
- Carga de rotura 17,1 Ton x 907,18= 15512,78 Kgf

Datos:

$D_{cable} = 5/8''$ (Diámetro del cable)

$g_t = 1,01 \text{ Kg/m}$ (Peso por unidad de longitud del cable)

$C_{rot} = 15512,78 \text{ Kg}$ (Carga de rotura del cable)

$p = 500 \text{ Kg}$ (Peso de la carga y vehículo)

$l = 240 \text{ m}$ (Longitud entre apoyos del cable)

$\alpha = 20,23^\circ$ (Pendiente)

$L = 225,2 \text{ m}$ (Longitud horizontal entre puntos de apoyo)

$F_{max} = ?$ (Flecha máxima)

$H = ?$ (Tensión horizontal en cualquier punto del cable)

$\gamma = ?$ (Angulo de la tensión en el nivel inferior)

$\beta = ?$ (Angulo de la tensión en el nivel superior)

$T_a = ?$ (Tensión en el nivel inferior)

$T_b = ?$ (Tensión en el nivel superior)

$F_s = ?$ (Factor de seguridad)

De la ecuación 1

$$F_{max} = \frac{L}{25}$$

$$F_{max} = \frac{225,2 \text{ m}}{25} = 9,01 \text{ m}$$

$$F_{max} = 9,01 \text{ m}$$

De la ecuación 4

$$H = \frac{pL}{4F_{max}} + \frac{g_t L^2}{8 \cos \alpha F_{max}}$$
$$H = \frac{500 \text{ Kg} * 225,2 \text{ m}}{4 * 9,01 \text{ m}} + \frac{1,01 \frac{\text{Kg}}{\text{m}} * 225,2^2 \text{ m}^2}{8 * \cos 20,23^\circ * 9,01 \text{ m}}$$
$$H = 3125 \text{ Kg} + 757,52 \text{ Kg}$$
$$H = 3882,52 \text{ Kg}$$

De la ecuación 5

$$\tan \gamma = \tan \alpha - \frac{g_t \frac{l}{2} + p}{H}$$
$$\gamma = \tan^{-1} \left[\tan 20,23^\circ - \left(\frac{1,01 \frac{\text{Kg}}{\text{m}} * \frac{240 \text{ m}}{2} + 500 \text{ Kg}}{3882,52 \text{ Kg}} \right) \right]$$
$$\gamma = 11,78^\circ$$

De la ecuación 6

$$\tan \beta = \tan \alpha + \frac{g_t \frac{l}{2} + p}{H}$$
$$\beta = \tan^{-1} \left[\tan 20,23^\circ + \left(\frac{1,01 \frac{\text{Kg}}{\text{m}} * \frac{240 \text{ m}}{2} + 500 \text{ Kg}}{3882,52 \text{ Kg}} \right) \right]$$
$$\beta = 27,86^\circ$$

De la ecuación 7

$$T_a = H / \cos \gamma$$
$$T_a = 3882,52 \text{ Kg} / \cos 11,78^\circ$$
$$T_a = 3966,03 \text{ Kg}$$

De la ecuación 8

$$Tb = H / \cos \beta$$

$$Tb = 3882,52 \text{ Kg} / \cos 27,86^\circ$$

$$Tb = 4391,43 \text{ Kg}$$

El factor de seguridad se halla dividiendo la resistencia última por la tensión en el extremo donde sea mayor, así:

$$Fs = \frac{15512,78 \text{ Kg}}{4391,43 \text{ Kg}}$$

$$Fs = 3,53$$

El cable de 5/ " cumple con el factor de seguridad recomendado para cables carriles para teleféricos, el cual debe estar entre 3,5 – 5.

3.3.2 Cable motriz.

La selección del cable motriz se hace aplicando los respectivos criterios y cálculos:

3.3.2.1 Selección del tipo de cable motriz.

Los criterios para seleccionar el tipo de cable motriz más adecuado, se deben privilegiar las características más relevantes (ROMO, CHECA y ZAMBRANO; s.f., Pág. 13):

- Resistencia. 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 más desfavorable.
- Fatiga y abrasión. El cable motriz dobla alrededor del carretel del sistema motriz, es decir que se debe seleccionar un cable que tenga buen comportamiento tanto a la fatiga como a la abrasión.

Para el 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 el cable carril debido a que está formado por alambres delgados, lo cual le vuelve resistente a la abrasión, y proporciona una flexibilidad adecuada para el uso en poleas y tambores.

La selección se la hace en función de la resistencia a la abrasión y flexibilidad (ver Figura 19).

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

Tabla 5. Modulo de elasticidad dependiendo de la construcción de cables negros.

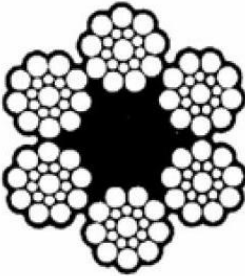
Módulos de Elasticidad	
Construcción Cables Negros	Módulo de elasticidad Kgs/mm²
Serie 6x7 Alma de Fibra	6.300
Serie 6x7 Alma de Acero	7.000
Serie 6x19 Alma de Fibra	5.000
Serie 6x19 Alma de Acero	6.000
Serie 6x37 Alma de Fibra	4.700
Serie 6x37 Alma de Acero	5.600
Serie 18x7 Alma de Fibra	4.300
Serie 18x7 Alma de Acero	4.500

(ROMO, CHECA y ZAMBRANO; s.f., Pág. 11)

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

- Exposición a la corrosión. 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.

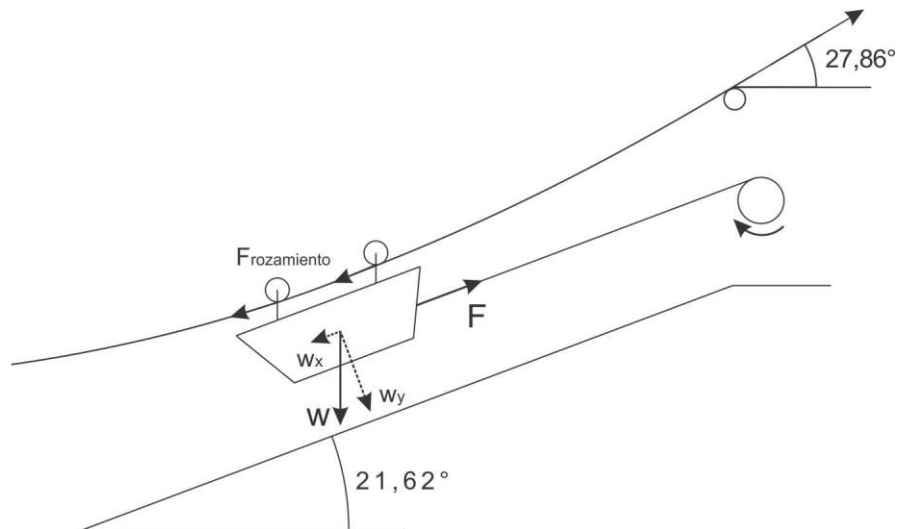
Tabla 6. Detalles del cable motriz seleccionado.

	Diámetro	1/4 in
	Construcción	6 x 19S (1/9/9)
	Alma	FIBRA
	Torcido	LANG
	Acabado	NEGRO
	Peso aproximado	0,149 Kg/m
	Carga de rotura	2485 Kgf

3.3.2.2 Calculo del diámetro del cable motriz.

Para calcular el diámetro del cable motriz se debe conocer la tensión resultante del cable en la situación más crítica y aplicarle el factor de seguridad correspondiente.

Figura 21. Diagrama de fuerzas del cable motriz.



- Peso a transportar.

$$W = \text{Peso del vehiculo} + \text{Carga}$$

$$W = 100 \text{ Kg} + 400 \text{ Kg}$$

$$W = 500 \text{ Kg}$$

- Tensión debida al peso.

$$W_x = 500 \text{ Kg} \sin 27,86^\circ = 233,66 \text{ Kg}$$

- Tensión debida al rozamiento.

$$F_{\text{Rozamiento}} = \rho N$$

Donde:

ρ = Coeficiente de Rozamiento por Rodadura ($\rho = 0,02$).

N= Fuerza Normal.

$$W_y = N = 500 \text{ Kg} \cos 27,86^\circ = 442,05 \text{ Kg}$$

$$F_{\text{Rozamiento}} = (0,02) (442,05 \text{ Kg})$$

$$F_{\text{Rozamiento}} = 8,84 \text{ Kg}$$

- Tensión debida al peso propio del cable.

$$\text{Peso del Cable} = \text{Peso del Cable en } \frac{\text{Kg}}{\text{m}} \times \text{Longitud del cable}$$

$$\text{Peso del Cable} = 0,149 \frac{\text{Kg}}{\text{m}} \times 450 \text{ m} = 67,05 \text{ Kg}$$

- Fuerza de tensión total del cable motriz.

$$F = W_x + F_{\text{Rozamiento}} + \text{Peso del Cable}$$

$$F = 233,66 \text{ Kg} + 8,84 \text{ Kg} + 67,05 \text{ Kg}$$

$$F = 309,55 \text{ Kg} = 3036,69 \text{ N}$$

Se calcula la carga de rotura que debe tener el cable motriz para que trabaje óptimamente.

El factor de seguridad recomendado para cables tractores o motrices debe estar en un rango entre 5 – 7 (ver Tabla 2).

$$Fs = \frac{\text{Carga de Rotura}}{\text{Carga Requerida}}$$

$$\text{Carga de Rotura} = Fs * \text{Carga Requerida}$$

$$\text{Carga de Rotura} = 7 * 309,55 \text{ Kg}$$

$$\text{Carga de Rotura} = 2166,85 \text{ Kg}$$

A continuación se procede a seleccionar el cable motriz del catalogo de Emcocables, en base a la carga de rotura de 2166,85 Kg (ver Anexo B Tabla 10).

El cable seleccionado es:

- Cable de Acero
- Diámetro de 1/4 in
- Construcción 6 x 19S (1/9/9)
- Alma de Fibra
- Torcido Lang
- Acabado Negro
- Peso aproximado 0,149 Kg/m
- Carga de rotura 2485 Kgf

3.3.3 Diseño del sistema motriz.

El sistema motriz es el que se encarga de desplazar la carga por el cable carril a través del cable motriz. Este sistema se descompone a su vez en varios componentes tales como: motor, reductor, acople carretel, chumaceras, etc. Los cuales se calcularan a continuación:

3.3.3.1 Calculo del carretel de enrollamiento del cable motriz.

El carretel es un componente del sistema motriz, que tiene como función enrollar y desenrollar el cable motriz de una manera adecuada con el fin de no maltratarlo (ESPINOZA y ARISTIZÁBAL; 2005, Pág. 38).

3.3.3.1.1 Diámetro del tambor del carretel.

En la siguiente tabla se presentan los valores mínimos y recomendados para los diámetros de tambores y poleas en función del tipo de cable y su diámetro, para asegurar la vida útil del cable.

Tabla 7. Relación del tipo de cables y diámetro de la polea o tambor.

Tipo de cable	Diámetros Recomendados	Diámetros Mínimos
6 x 7	72 x Ø del cable	42 x Ø del cable
6 x 19 Seale	51 x Ø del cable	34 x Ø del cable
6 x 19 Común	39 x Ø del cable	26 x Ø del cable
6 x 25 Filler	39 x Ø del cable	26 x Ø del cable
6 x 26 Warrington-seale	34 x Ø del cable	23 x Ø del cable
6 x 37 Común	27 x Ø del cable	18 x Ø del cable
6 x 41 Warrington-seale	31 x Ø del cable	20 x Ø del cable

(ESPINOZA y ARISTIZÁBAL; 2005, Pág. 38)

De acuerdo a la tabla anterior el diámetro del tambor para un cable tipo 6 x 19 seale debe estar entre 34 y 51 veces el diámetro del cable. Debido a que el cable tiene alma de fibra y esto aumenta la elasticidad y flexibilidad del cable, se utilizara el diámetro mínimo:

$$D = 34 \times \text{Ø cable}$$

$$\text{Ø} = 1/4 \text{ in}$$

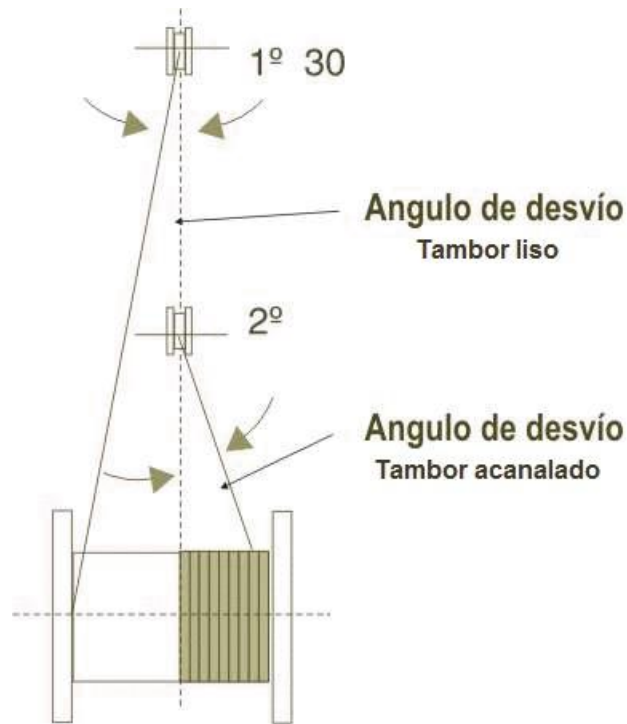
$$D = 34 \times (1/4) = 8,5 \text{ in}$$

3.3.3.1.2 Devanado del cable motriz en el carretel.

El tipo de tambor que se va a utilizar es de superficie lisa, ya que este es más económico que el tambor acanalado, y su desempeño es equivalente si se cumple la siguiente condición:

El ángulo de desvío lateral debe ser inferior a 1.5°, como se muestra en la Figura 22, a fin de garantizar un devanado o arrollado impecable en el tambor y evitar un prematuro desgaste del cable y de la polea.

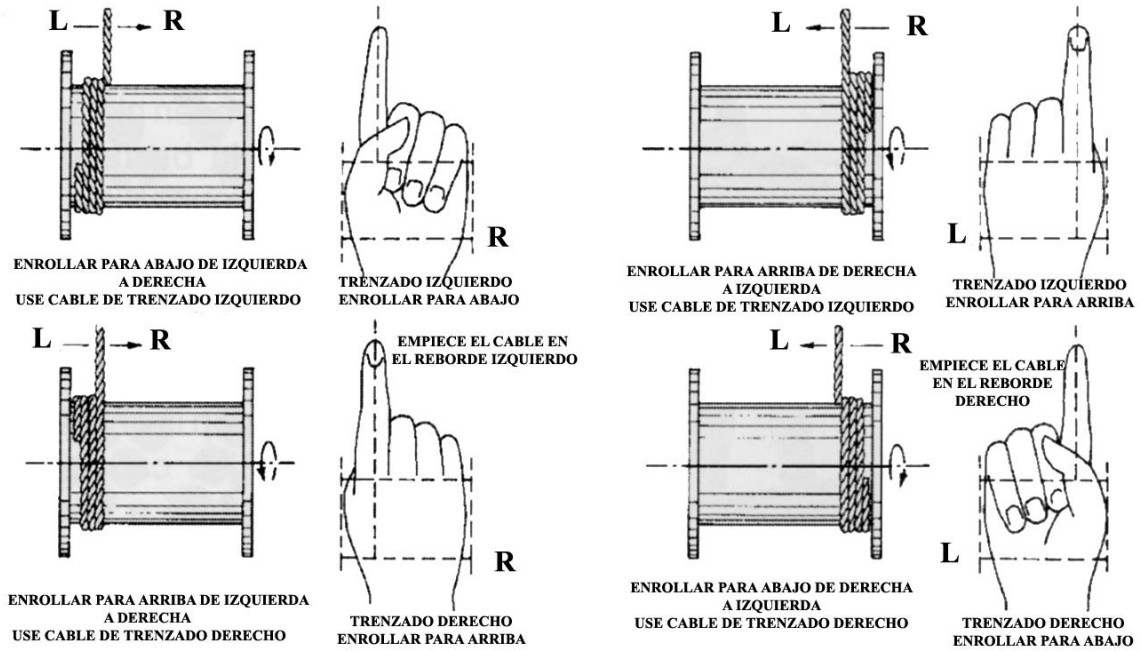
Figura 22. Angulo de desvío del tambor.



(ESPINOZA y ARISTIZÁBAL; 2005, Pág. 39)

El método para determinar cómo un cable debe comenzar el devanado para que este permanezca uniforme en un tambor, se muestra en la Figura 23. El observador se para detrás del tambor, con el cable en dirección a él. Usando la mano derecha para cables con trenzado derecho, y la mano izquierda para cables con trenzado izquierdo, el puño apretado indica el tambor, y el dedo índice extendido el cable entrante (@ALPIND, 2010).

Figura 23. Comienzo de devanado en el tambor según el trenzado del cable.

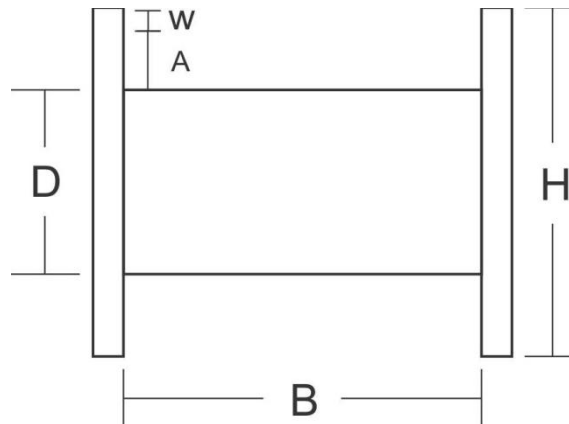


(@ALPIND, 2010)

3.3.3.1.3 Capacidad del carretel.

Se refiere a la capacidad que tiene el tambor para enrollar o alojar cierta cantidad de cable (@SHAH, 2010).

Figura 24. Variables del carretel.



$$L = (A + D) * A * B * K$$

Donde:

L: Longitud del Cable en pies.

A: Espacio que ocupa el cable motriz enrollado en pulgadas.

D: Diámetro del tambor en pulgadas.

B: Longitud del tambor en pulgadas.

K: Constante obtenida por dividir 0.2618 entre el cuadrado del diámetro del cable a enrollar.

$$A = \frac{H - D}{2} - W$$

Donde:

H: Diámetro de las tapas del tambor en pulgadas.

W: Espacio sobrante en pulgadas.

$$K = \frac{0,2618}{(\text{Diametro del cable})^2}$$

$$K = \frac{0,2618}{1/4^2}$$

$$K = 4,19$$

La longitud total del trayecto del cable es de 430 m pero se realizara el cálculo para 450 m (1476,38 ft) teniendo en cuenta la catenaria que se forma.

$$L = (A + D) * A * B * K$$

$$1476,38 \text{ ft} = (A + 8,5 \text{ in}) * A * 20 \text{ in} * 4,19$$

$$A = 1,72 \text{ in}$$

$$A = \frac{H - D}{2} - W$$

$$1,72 \text{ in} = \frac{H - 8,5 \text{ in}}{2} - 2 \text{ in}$$

$$H = 15,95 \text{ in (405,13 mm)}$$

3.3.3.1.4 Peso del tambor.

Calculamos la masa del material con que se construirá el tambor, para lo cual primero determinamos el volumen:

$$V = V_{cilindro} + V_{tapas}$$

$$V = \pi(d_{ext}^2 - d_{int}^2)L + \pi d_{tapas}^2 * espesor$$

$$V = \pi (0,2159^2 \text{ m}^2 - 0,1839^2 \text{ m}^2) 0,508 \text{ m} + \pi 0,40513^2 \text{ m}^2 * 0,016 \text{ m}$$

$$V = 0,029 \text{ m}^3$$

La masa es:

$$m = \text{densidad acero} * \text{volumen}$$

$$m = 7860 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} * 0,029 \text{ m}^3$$

$$m = 225,33 \text{ Kg}$$

Finalmente el peso del tambor es:

$$W_{tambor} = 225,33 \text{ Kg} * 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$$W_{tambor} = 2,21 \text{ KN}$$

3.3.3.2 Cálculo y diseño del eje del carretel.

En el diseño del eje deben considerarse los esfuerzos como las deflexiones, las deflexiones suelen ser el factor crítico, ya que una deflexión excesiva puede causar un desgaste rápido en los cojinetes del eje (MOTT, 2006, Pág. 530).

Las consideraciones de diseño de ejes son:

- El eje debe ser lo más corto posible para minimizar deflexiones y esfuerzos.
- Evitar ejes en voladizo y en lo posible utilizar apoyos en los extremos del eje.

Al diseñar el eje del carretel de enrollamiento del cable motriz es necesario determinar su par de torsión y las cargas.

- Par de torsión T_m . Determinamos el par de torsión transmitido a partir de la potencia y la velocidad angular dada:

$$T_m = \frac{P}{W}$$

Donde:

P : Potencia del motorreductor.

W : Velocidad angular del tambor.

$$T_m = \frac{5,6 \text{ KW} \left(\frac{1000 \frac{\text{Nm}}{\text{s}}}{1 \text{ KW}} \right)}{88,46 \text{ RPM} \left(\frac{2\pi \text{ rad/s}}{60 \text{ RPM}} \right)}$$

$$T_m = 604,52 \text{ Nm}$$

- Cargas en el eje. El análisis de las cargas se lo realiza para determinar momento máximo en el eje del tambor. El tambor al enrollar el cable motriz produce una fuerza tangencial calculada a continuación:

$$F_{tang} = \frac{T}{r}$$

$$F_{tang} = \frac{604,52 \text{ Nm}}{0,10795 \text{ m}}$$

$$F_{tang} = 5600 \text{ N}$$

Esta fuerza tangencial es la fuerza necesaria para que el motor venza la fuerza de tensión del cable motriz, y así poder subir la carga. Para el diseño del eje solo se tendrán en cuenta la fuerza tangencial del motorreductor y la fuerza debido al peso del tambor y se obviara la tensión del cable con el fin de evitar contrarrestar dicha fuerza, disminuyendo así fuerzas en el eje.

Con esto se quiere diseñar un eje que resista las máximas condiciones de operación del sistema motriz.

El material con el cual se va a construir el eje del tambor es de Acero 1040 estirado en frío, debido a que presenta una buena resistencia al desgaste, con las siguientes propiedades mecánicas (ver Anexo C Tabla 11):

$$S_y = \text{Limite de fluencia} = 490 \text{ MPa}$$

$$S_{ut} = \text{Limite ultimo de traccion} = 552 \text{ MPa}$$

Mediante la Figura 54 del Anexo D se puede estimar que $S_n = 213 \text{ MPa}$.

Este valor de resistencia a la fatiga se tiene que reducir, aplicando varios factores, con el fin de tomar en cuenta las diferencias entre la pieza real y los cálculos. Se determina la resistencia a la fatiga corregida.

$$S_n' = C_{\text{tamaño}} * C_{\text{confiabilidad}} * S_n$$

Donde:

S_n' : Limite de resistencia a la fatiga corregida.

$C_{\text{tamaño}}$: Factor de tamaño.

$C_{\text{confiabilidad}}$: Factor de confiabilidad.

S_n : Limite de resistencia a la fatiga.

Se determina el valor de cada factor que modifica la resistencia a la fatiga, de acuerdo a los criterios de la teoría de fallas por fatiga:

$C_{\text{tamaño}}$: Factor de tamaño de reducción de esfuerzos, al no conocer el tamaño de la pieza consideramos un eje de diámetro aproximadamente de 2 in (50,8 mm) (ver Anexo D Tabla 13).

$$50 \text{ mm} < D < 250 \text{ mm}$$

$$C_s = 0,859 - 0,000837D$$

$$C_s = 0,859 - 0,000837 (50,8 \text{ mm})$$

$$C_s = 0,82$$

$C_{confiabilidad}$: Factor de confiabilidad, en esta etapa de diseño preliminar suponemos una confiabilidad de 99% tenemos $C_{confiabilidad} = 0,81$ (ver Anexo D Tabla 14).

Reemplazando valores en la ecuación de resistencia a la fatiga, obtenemos el valor de resistencia a la fatiga corregida.

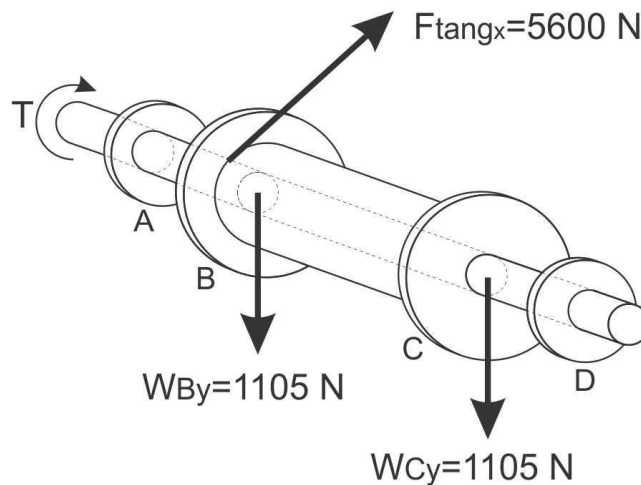
$$S_n' = C_{tamaño} * C_{confiabilidad} * S_n$$

$$S_n' = 0,82 * 0,81 * 213 \text{ MPa}$$

$$S_n' = 141,47 \text{ MPa}$$

Se supondrá que el factor de diseño es $N=2$ (se utiliza en diseños típicos de ejes, donde hay una confianza promedio en los datos de resistencia del material y de las cargas). No se espera que el sistema presente choque o impacto inusual.

Figura 25. Fuerzas sobre el carretel.



A y D representan chumaceras.

$$F_{tang} = 5600 \text{ N} \rightarrow$$

$$W_{tambor} = 2210 \text{ N} \downarrow$$

Fuerzas sobre el eje: El siguiente paso es indicar esas fuerzas sobre el eje, en sus planos de acción correctos y en la dirección correcta. Se calculan las reacciones

en los rodamientos, y se preparan los diagramas de fuerza cortante y momento flexionante.

- Plano vertical, dirección y

$$W_{tambor} = 2210 \text{ N}$$

Por simetría:

$$R_{Ay} = 1105 \text{ N}$$

$$R_{Dy} = 1105 \text{ N}$$

- Plano horizontal, dirección x

$$\sum M_A = -F_{tangx}(0,05 \text{ m}) + R_{Dx}(0,608 \text{ m}) = 0$$

$$-5,600 \text{ N} (0,05 \text{ m}) + R_{Dx}(0,608 \text{ m}) = 0$$

$$R_{Dx} = 460,51 \text{ N}$$

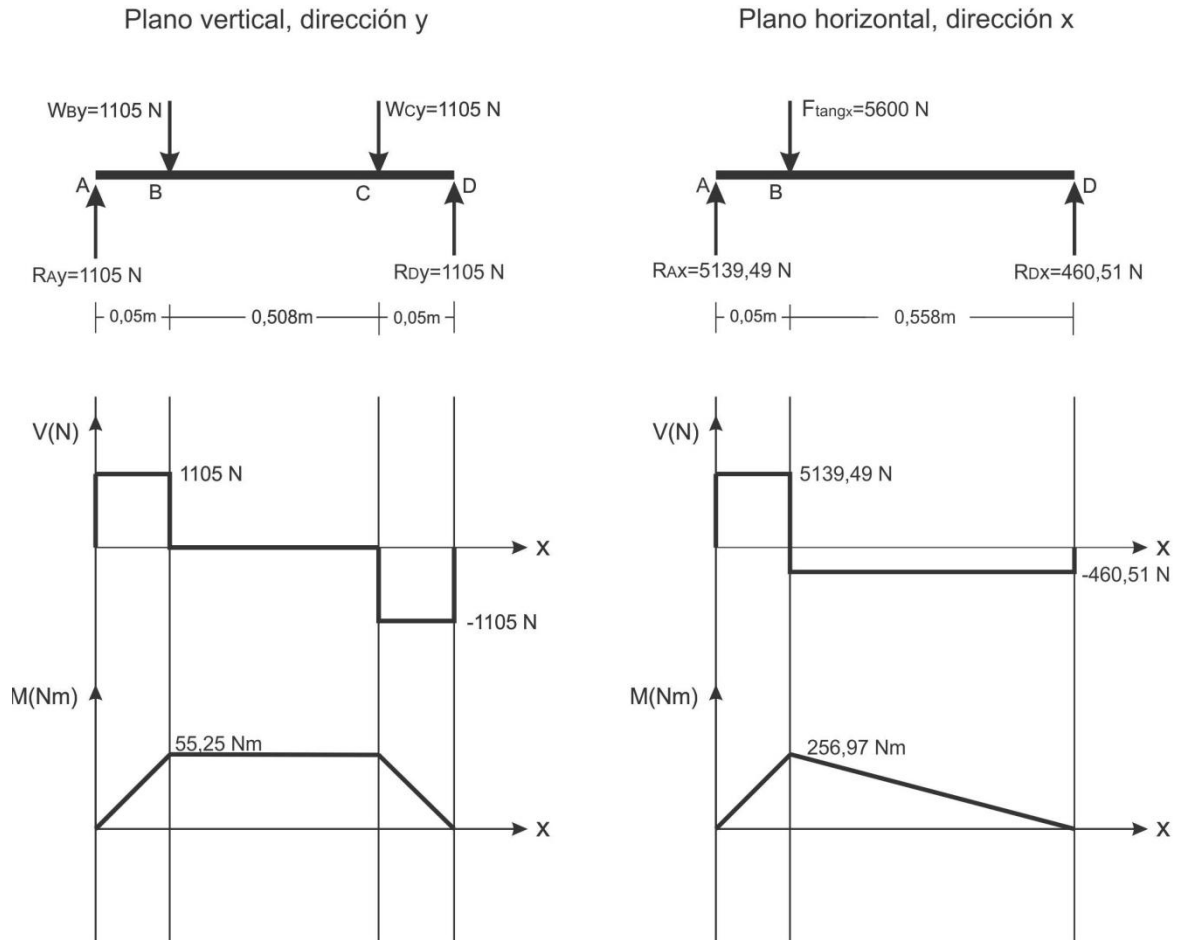
$$\sum F_x = R_{Ax} - F_{tangx} + R_{Dx} = 0$$

$$R_{Ax} = F_{tangx} - R_{Dx}$$

$$R_{Ax} = 5600 \text{ N} - 460,51 \text{ N}$$

$$R_{Ax} = 5139,49 \text{ N}$$

Figura 26. Diagrama de carga cortante y flexión para el eje del carretel.



Se continúa con el diseño mediante el cálculo del diámetro mínimo aceptable del eje, en varios puntos del mismo. En cada punto se observara la magnitud del par torsional y del momento flexionante que exista allí, y se estimara el valor de los factores de concentración de esfuerzos. Si en la cercanía del punto de interés existe más de una concentración de esfuerzos, para el diseño se emplea el valor mayor. Con esto se supone que las discontinuidades geométricas mismas no interactúan, lo cual es una buena práctica.

Todo el eje está sometido a torsión constante, y los desalineamientos no causan cargas axiales o de flexión, gracias al acople flexible (ver Figura 57).

- Punto A.

Es el punto en donde se encuentra un rodamiento, y tiene un chaflán agudo a la derecha de A. Presenta momento torsionante por el motorreductor y no presenta momento flexionante debido al acople flexible.

$$T_m = 604,52 \text{ Nm}$$

$$M_A = 0$$

$$D_1 = \left[\frac{32N}{\pi} \sqrt{\frac{3}{4} \left(\frac{T_m}{S_y} \right)^2} \right]^{\frac{1}{3}}$$

$$D_1 = \left[\frac{32(2)}{\pi} \sqrt{\frac{3}{4} \left(\frac{604,52 \text{ Nm}}{490 \text{ MPa}} \right)^2} \right]^{\frac{1}{3}}$$

$$D_1 = 0,027921 \text{ m} = 27,92 \text{ mm}$$

- Punto B.

En el punto B es en donde se encuentra un extremo del carretel y es allí en donde se supondrá que la fuerza tangencial estará concentrada en algún instante, con el fin de analizar el caso más crítico, este punto cuenta con un cuñero de perfil (Kt=2) en la manzana de la tapa y una ranura para un anillo de retención (Kt=3). Presenta momento torsionante por el motorreductor y presenta momento flexionante debido a la fuerza tangencial.

$$T_m = 604,52 \text{ Nm}$$

$$M_B = \sqrt{55,25^2 + 256,97^2} = 262,84 \text{ Nm}$$

$$D_2 = \left[\frac{32N}{\pi} \sqrt{\left(K_t \frac{M}{S_n'} \right)^2 + \frac{3}{4} \left(\frac{T_m}{S_y} \right)^2} \right]^{\frac{1}{3}}$$

$$D_2 = \left[\frac{32(2)}{\pi} \sqrt{\left((3) \frac{262,84 \text{ Nm}}{141,47 \text{ MPa}} \right)^2 + \frac{3}{4} \left(\frac{604,52 \text{ Nm}}{490 \text{ MPa}} \right)^2} \right]^{\frac{1}{3}}$$

$$D_2 = 0,048716 \text{ m} = 48,72 \text{ mm}$$

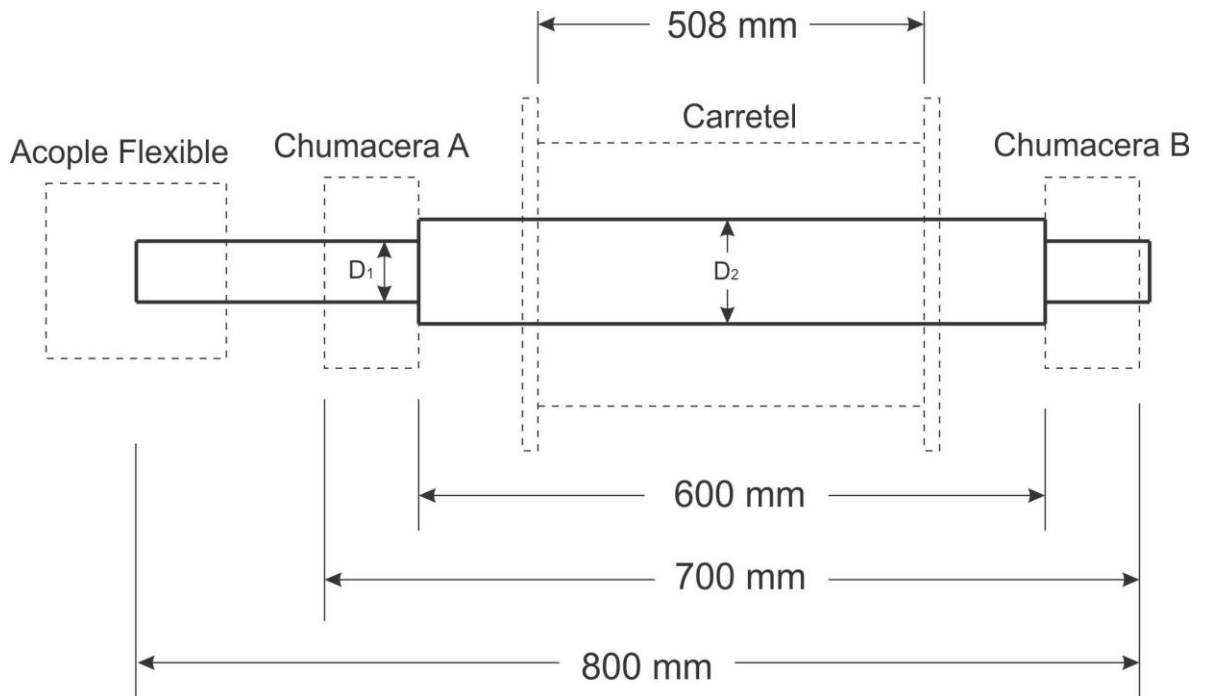
Para las dimensiones finales del eje, se toma diámetro mayor y se aproxima por encima a valores comerciales:

$$D_2 = 50 \text{ mm}$$

Los escalones que sirven de asiento a los rodamientos de las chumaceras, deben ser de 10 mm, por lo tanto:

$$D_1 = 40 \text{ mm}$$

Figura 27. Dimensiones del eje.



3.3.3.3 Selección de chumaceras.

Las cargas transversales máximas sobre el eje del tambor para enrollamiento del cable carril son:

$$Ay = By = \sqrt{1105^2 + 5139,49^2} = 5256,94 \text{ N}$$

El diámetro del eje en donde se encuentra las chumaceras es de 40 mm, su velocidad es de 88,46 RPM.

Del catalogo SKF, se escoge una chumacera= SY 40 TF, (ver Anexo E Tabla 18) con un diámetro interior de 40 mm, se extrae sus datos: carga dinámica C=30,7 KN, carga estática Cr= 19 KN.

Se calcula la vida proyectada (L) de la chumacera, tomando el valor más alto de las reacciones en los extremos.

3.3.3.3.1 La vida nominal expresada en millones de revoluciones:

$$L = \left(\frac{C}{P}\right)^E$$

Donde:

L= Vida nominal [millones de revoluciones].

C= Capacidad de carga dinámica [kN].

P= Carga dinámica equivalente del rodamiento [kN].

E= Exponente de la ecuación de la vida (= 3 para los rodamientos de bolas).

$$L = \left(\frac{30,7 \text{ KN}}{5,25694 \text{ KN}}\right)^3$$

L = 119,17 millones de revoluciones

3.3.3.3.2 La vida nominal expresada en horas de funcionamiento:

$$L_h = \frac{1}{60 n} \left(\frac{C}{P} \right)^E$$

Donde:

Lh= Vida nominal [horas de funcionamiento].

n= Velocidad de giro [RPM].

$$L_h = \frac{1}{60 (88,46 \text{ RPM})} \left(\frac{30,7 \text{ KN}}{5,25694 \text{ KN}} \right)^3$$

$$L_h = 37524,76 \text{ horas}$$

3.3.3.4 Selección del motorreductor.

$$T = F * d$$

Donde:

T: Torque [Nm].

F: Fuerza [N].

d: Distancia perpendicular a la fuerza o radio del tambor [m].

$$T = F * d$$

$$F = 500 \text{ Kg} * 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 4905 \text{ N}$$

$$T = 4905 \text{ N} * 0,10795 \text{ m}$$

$$T = 529,49 \text{ Nm}$$

$$V = \frac{n * \pi * R}{30}$$

Donde:

V : Velocidad del vehículo [m/s].

n : Numero de revoluciones por minuto [RPM].

R : Radio del tambor [m].

La velocidad de $1 \frac{m}{s}$, por experiencia y pruebas, es una velocidad nominal apropiada, la cual podemos aumentar hasta un 50% por medio del variador de velocidad sin que su torque se vea afectado.

$$1 \frac{m}{s} = \frac{n * \pi * 0,10795 m}{30}$$

$$n = 88,46 \text{ RPM}$$

$$P = F * V$$

Donde:

P : Potencia [W].

$$P = 4905 N * 1 \frac{m}{s}$$

$$P = 4,91 \text{ KW}$$

$$1 \text{ KW} = 1.341 \text{ HP}$$

$$P = 6,58 \text{ HP}$$

Con los datos de T_{max} , RPM y P , se procede a seleccionar el motoreductor apropiado para el sistema motriz.

3.3.3.4.1 Selección del Motor.

Primero que todo se debe conocer el tipo de energía del lugar en donde se va a realizar la instalación del motor, la cual es energía 220V monofásica.

Como se quiere poner un variador de velocidad con el fin de poder automatizar el sistema de transporte, se debe escoger un motor trifásico; que ya el variador se encarga de generar la tercera fase.

Se debe escoger el motor comercial que más se aproxime por encima a su potencia teórica.

Según el catalogo de motores de la empresa SITI (ver Anexo E Tabla 15), el motor trifásico que más se aproxima por encima es el motor MS 112L-2 de 5,5 KW el cual consume 19.14 A.

Donde:

MS: Motor trifásico.

112: Es el tamaño constructivo del armazón o PAM, el cual nos sirve para escoger el reductor correcto.

Se escoge el tipo de brida B5 (ver Anexo E Figura 55), la cual es la más comercial y fácil de acoplar.

3.3.3.4.2 Selección Reductor.

Para este tipo de aplicaciones, el reductor más apropiado es el reductor coaxial de engranajes helicoidales, ya que estos son los más eficientes (aprox. 98% por tren de engranajes) y son los que mejor se comportan con la inversión de giro.

Se calcula la Relación de Reducción:

$$Relacion = \frac{1800 \text{ RPM}}{88,46 \text{ RPM}} = 20,35$$

Relacion 20,35: 1

Con esta relación de reducción (20,35) y las RPM de entrada del motor (1800 RPM) se busca en el catalogo de SITI de motorreductores los datos más cercanos

y que cuente con un tamaño constructivo del armazón o PAM de 112 que pueda ser ensamblado al motor del mismo tamaño constructivo y finalmente que soporte el torque máximo teórico de 529,49 N m (ver Anexo E Tabla 16).

- Motorreductor seleccionado:

MNHL 40/2 rel. 21,3:1 PAM 112 B5 7,5 HP 1800 RPM motofreno.

3.3.3.5 Selección del variador de velocidad.

El motor consume 19,14 A, pero la norma dice, que cuando se pasa de energía monofásica a energía trifásica, el amperaje del variador se debe aumentar en un 50% más, del amperaje requerido.

$$\text{Amperaje del Variador} = (19,14 \text{ A}) (1,5) = 28,71 \text{ A}$$

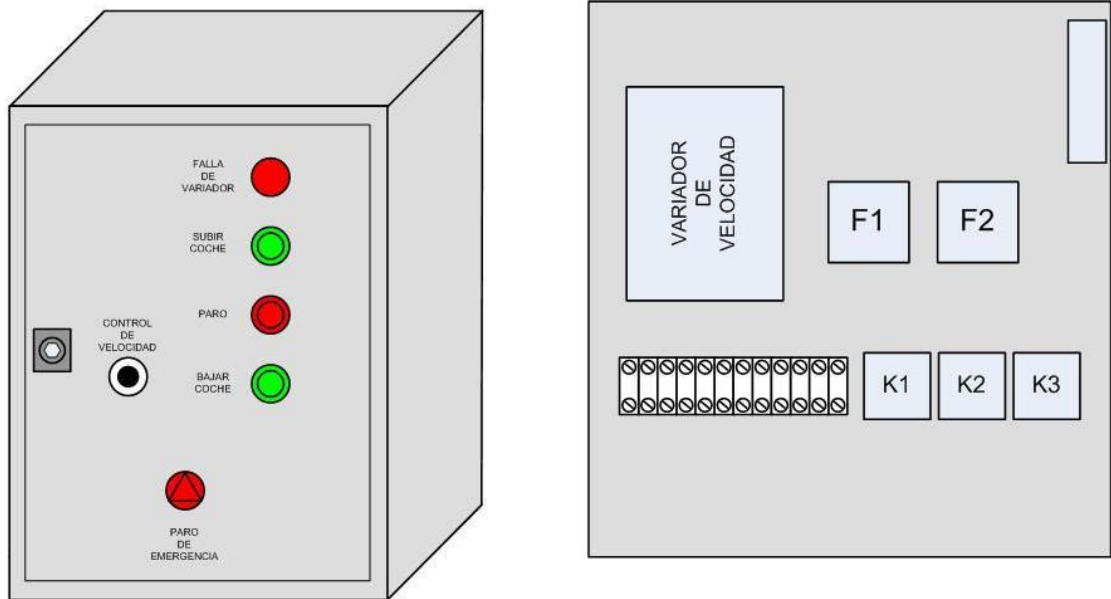
Según el catalogo TECO de Variadores (ver Anexo E Tabla 17) el modelo que se ajusta al Amperaje requerido es:

N3-210-C de 10 HP y 35 A

- Tablero de control.

Es en donde se encuentran todos los componentes como: variador, relevos, pulsadores, potenciómetro, breakers, entre otros, necesarios para el manejo y protección del motoreductor (ver Figura 28).

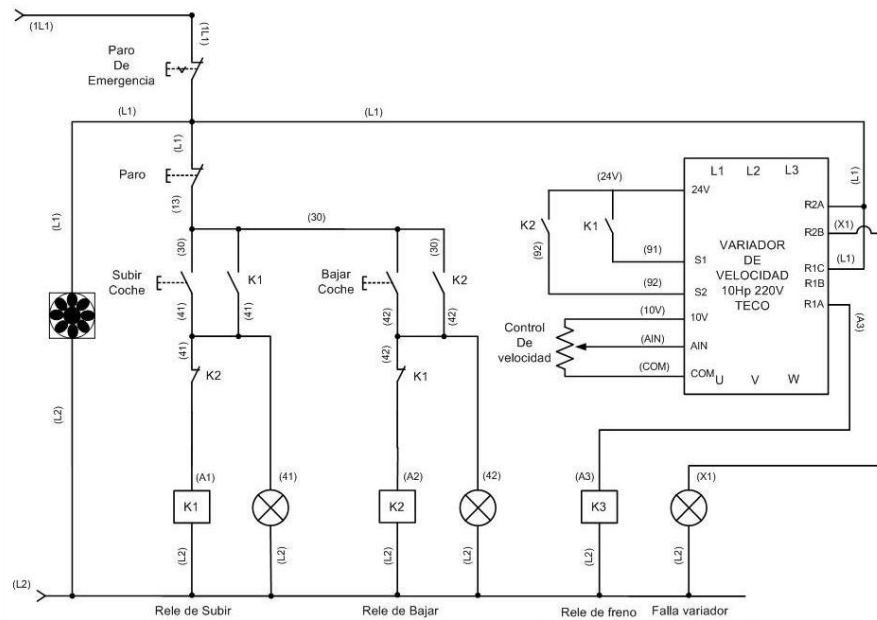
Figura 28. Tablero de control.



- Plano eléctrico - etapa de control.

Sirve para visualizar la conexión de los componentes del tablero de control (ver Figura 29).

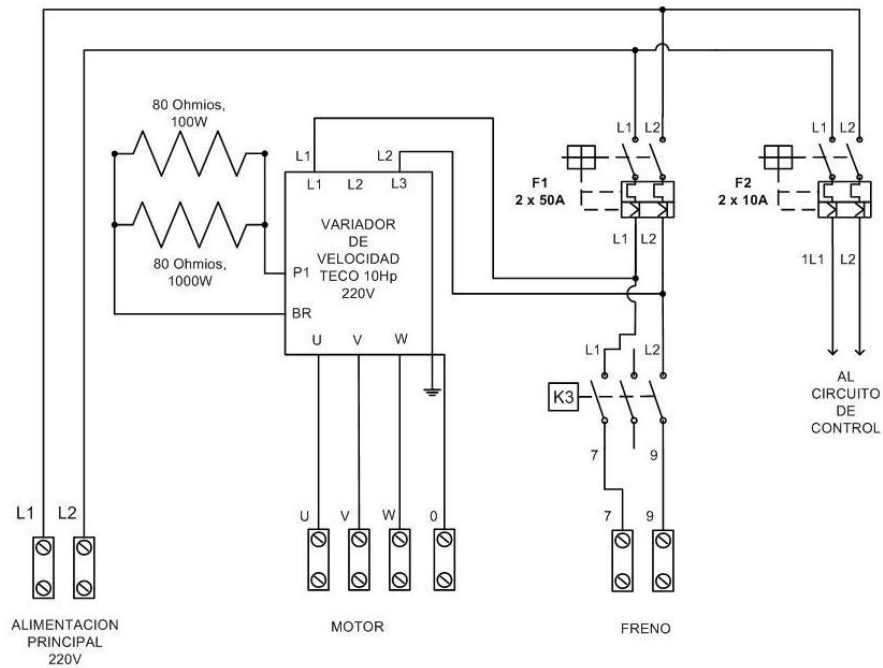
Figura 29. Plano eléctrico - etapa de control.



- Plano eléctrico - etapa de potencia.

Es el plano que muestra la conexión que alimenta el variador, el motorreductor y el freno (ver Figura 30).

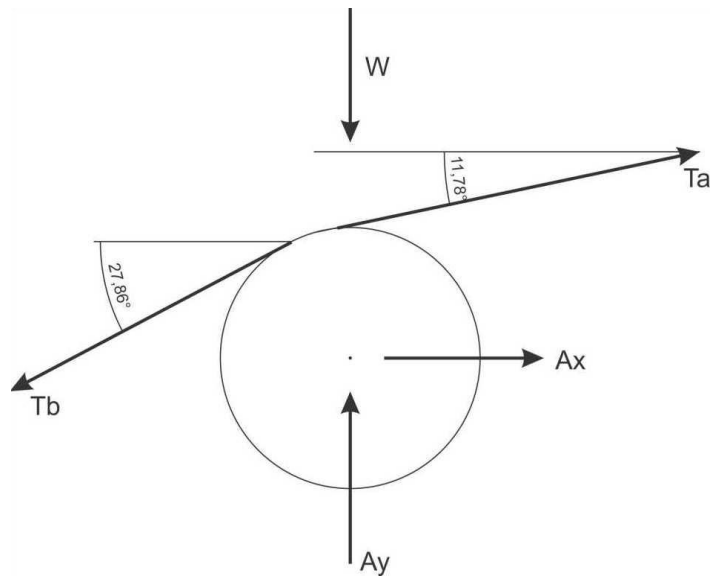
Figura 30. Plano eléctrico - etapa de potencia.



3.3.4 Cálculo de las torres.

Para el cálculo de las torres, se debe conocer las fuerzas más críticas que actúan en el punto en donde se apoya el cable carril (ver Figura 31) con el fin de analizar cómo influyen dichas fuerzas en los demás componentes de la torre.

Figura 31. Diagrama de fuerzas del apoyo del cable carril.



$$T_a = (3966,03 \text{ Kg}) (9,81 \text{ m/s}^2)$$

$$T_a = 38906,75 \text{ N}$$

$$T_b = (4391,43 \text{ Kg}) (9,81 \text{ m/s}^2)$$

$$T_b = 43079,93 \text{ N}$$

$$W = (500 \text{ Kg}) (9,81 \text{ m/s}^2)$$

$$W = 4905 \text{ N}$$

$$\rightarrow \sum F_x = A_x + T_a \cos 11,78 - T_b \cos 27,86 = 0$$

$$A_x = -T_a \cos 11,78 + T_b \cos 27,86$$

$$A_x = -38906,75 \text{ N} \cos 11,78 + 43079,93 \text{ N} \cos 27,86$$

$$A_x = -0,7 \text{ N}$$

$$+\uparrow \sum F_y = A_y - T_b \sin 27,86 + T_a \sin 11,78 - W = 0$$

$$A_y = T_b \sin 27,86 - T_a \sin 11,78 + W$$

$$A_y = 43079,93 \text{ N} \sin 27,86 - 38906,75 \text{ N} \sin 11,78 + W$$

$$A_y = 17093,82 \text{ N}$$

3.3.4.1 Eje del brazo de la torre.

Para continuar con el cálculo, después de haber hallado las reacciones en el apoyo (ver Figura 32), se debe analizar los efectos de dichas fuerzas en el punto P (ver Figura 33).

Figura 32. Reacciones en el apoyo del eje.

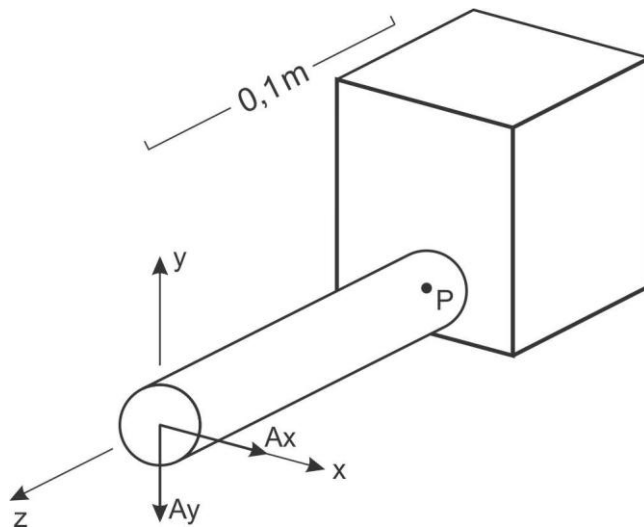
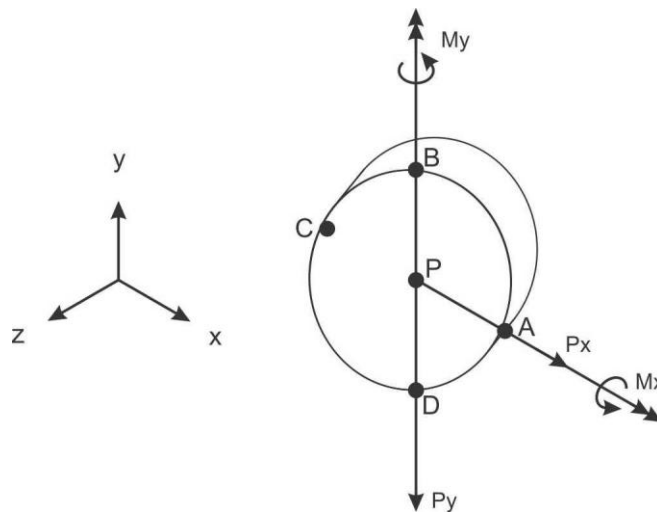


Figura 33. Fuerzas y momentos en el punto P.



$$P_x = A_x = 0,7 \text{ N}$$

$$P_y = A_y = -17093,82 \text{ N}$$

$$M_x = P_y \cdot d = 17093,82 \text{ N} (0,1 \text{ m}) = 1709,382 \text{ N m}$$

$$M_y = P_x \cdot d = 0,7 \text{ N} (0,1 \text{ m}) = 0,07 \text{ N m}$$

- Propiedades de la sección.

$$D = 1 \frac{1}{2}'' = 0,0381 \text{ m}$$

$$r = 0,01905 \text{ m}$$

$$I = \frac{\pi}{64} D^4 = \frac{\pi}{64} (0,0381 \text{ m})^4 = 1,03 \times 10^{-7} \text{ m}^4$$

$$A = \frac{\pi}{4} D^2 = \frac{\pi}{4} (0,0381 \text{ m})^2 = 1,14 \times 10^{-3} \text{ m}^2$$

- Punto A

$$\sigma_z = -\frac{M_y \cdot y}{I}$$

$$\sigma_z = -\frac{0,07 \text{ N m} (0,01905 \text{ m})}{1,03 \times 10^{-7} \text{ m}^4}$$

$$\sigma_z = -0,0129 \text{ MPa}$$

$$\sigma_y = 0$$

$$\tau_{zy} = -\frac{4V}{3A} \text{ (Para una sección circular)}$$

$$\tau_{zy} = -\frac{4(17093,82 \text{ N})}{3(1,14 \times 10^{-3} \text{ m}^2)}$$

$$\tau_{zy} = -19,99 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{med} = \frac{\sigma_y + \sigma_z}{2} = \frac{0 + (-0,0129 \text{ MPa})}{2} = -0,00645 \text{ MPa}$$

$$R = \sqrt{\left(\frac{\sigma_y - \sigma_z}{2}\right)^2 + (\tau_{zy})^2} = \sqrt{\left(\frac{0 - (-0,0129 \text{ MPa})}{2}\right)^2 + (-19,99 \text{ MPa})^2}$$

$$R = 19,99 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{max} = \sigma_{med} + R = -0,00645 \text{ MPa} + 19,99 \text{ MPa} = 19,98 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{min} = \sigma_{med} - R = -0,00645 \text{ MPa} - 19,99 \text{ MPa} = -20 \text{ MPa}$$

$$\tau_{max} = R = 19,99 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{Von Mises} = \sqrt{\sigma_{max}^2 + \sigma_{min}^2 - \sigma_{max}\sigma_{min}}$$

$$\sigma_{Von Mises} = \sqrt{(19,98 \text{ MPa})^2 + (-20 \text{ MPa})^2 - (19,98 \text{ MPa})(-20 \text{ MPa})}$$

$$\sigma_{Von Mises} = 34,62 \text{ MPa} < \sigma_y = 490 \text{ MPa} \text{ (Acero 1040 estirado en frío)}$$

- Punto B

$$\sigma_z = \frac{M_x \cdot y}{I}$$

$$\sigma_z = \frac{1709,38 \text{ N m} (0,01905 \text{ m})}{1,03 \times 10^{-7} \text{ m}^4}$$

$$\sigma_z = 316,15 \text{ MPa}$$

$$\sigma_x = 0$$

$$\tau_{zx} = \frac{4V}{3A} \text{ (para una sección circular)}$$

$$\tau_{zx} = \frac{4(0,7 \text{ N})}{3(1,14 \times 10^{-3} \text{ m}^2)}$$

$$\tau_{zx} = 0,00082 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{med} = \frac{\sigma_x + \sigma_z}{2} = \frac{0 + 316,15 \text{ MPa}}{2} = 158,07 \text{ MPa}$$

$$R = \sqrt{\left(\frac{\sigma_x - \sigma_z}{2}\right)^2 + (\tau_{zx})^2} = \sqrt{\left(\frac{0 - 316,15 \text{ MPa}}{2}\right)^2 + (0,00082 \text{ MPa})^2}$$

$$R = 158,07 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{max} = \sigma_{med} + R = 158,07 \text{ MPa} + 158,16 \text{ MPa} = 316,23 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{min} = \sigma_{med} - R = 158,07 \text{ MPa} - 158,16 \text{ MPa} = -0,09 \text{ MPa}$$

$$\tau_{max} = R = 158,16 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{Von Mises} = \sqrt{\sigma_{max}^2 + \sigma_{min}^2 - \sigma_{max}\sigma_{min}}$$

$$\sigma_{Von Mises} = \sqrt{(316,23 \text{ MPa})^2 + (0 \text{ MPa})^2 - (316,23 \text{ MPa})(0 \text{ MPa})}$$

$$\sigma_{Von Mises} = 316,23 \text{ MPa} < \sigma_y = 490 \text{ MPa} \text{ (Acero 1040 estirado en frío)}$$

- Punto C

$$\sigma_z = \frac{M_y \cdot y}{I}$$

$$\sigma_z = \frac{0,07 \text{ N m} (0,01905 \text{ m})}{1,03 \times 10^{-7} \text{ m}^4}$$

$$\sigma_z = 0,0129 \text{ MPa}$$

$$\sigma_y = 0$$

$$\tau_{zy} = -\frac{4V}{3A} \text{ (Para una sección circular)}$$

$$\tau_{zy} = -\frac{4(17093,82 \text{ N})}{3(1,14 \times 10^{-3} \text{ m}^2)}$$

$$\tau_{zy} = -19,99 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{med} = \frac{\sigma_y + \sigma_z}{2} = \frac{0 + 0,0129 \text{ MPa}}{2} = 0,00645 \text{ MPa}$$

$$R = \sqrt{\left(\frac{\sigma_y - \sigma_z}{2}\right)^2 + (\tau_{zy})^2} = \sqrt{\left(\frac{0 - 0,0129 \text{ MPa}}{2}\right)^2 + (-19,99 \text{ MPa})^2}$$

$$R = 19,99 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{max} = \sigma_{med} + R = 0,00645 \text{ MPa} + 19,99 \text{ MPa} = 20 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{min} = \sigma_{med} - R = 0,00645 \text{ MPa} - 19,99 \text{ MPa} = -19,98 \text{ MPa}$$

$$\tau_{max} = R = 19,99 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{Von Mises} = \sqrt{\sigma_{max}^2 + \sigma_{min}^2 - \sigma_{max}\sigma_{min}}$$

$$\sigma_{Von Mises} = \sqrt{(20 \text{ MPa})^2 + (-19,98 \text{ MPa})^2 - (20 \text{ MPa})(-19,98 \text{ MPa})}$$

$$\sigma_{Von Mises} = 34,63 \text{ MPa} < \sigma_y = 490 \text{ MPa} \text{ (Acero 1040 estirado en frío)}$$

- Punto D

$$\sigma_z = -\frac{M_x \cdot y}{I}$$

$$\sigma_z = -\frac{1709,38 \text{ N m} (0,01905 \text{ m})}{1,03 \times 10^{-7} \text{ m}^4}$$

$$\sigma_z = -316,15 \text{ MPa}$$

$$\sigma_x = 0$$

$$\tau_{zx} = \frac{4V}{3A} \text{ (Para una sección circular)}$$

$$\tau_{zx} = \frac{4(0,7 \text{ N})}{3(1,14 \times 10^{-3} \text{ m}^2)}$$

$$\tau_{zx} = 0,00082 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{med} = \frac{\sigma_x + \sigma_z}{2} = \frac{0 + (-316,15 \text{ MPa})}{2} = -158,07 \text{ MPa}$$

$$R = \sqrt{\left(\frac{\sigma_x - \sigma_z}{2}\right)^2 + (\tau_{zx})^2} = \sqrt{\left(\frac{0 - (-316,15 \text{ MPa})}{2}\right)^2 + (0,00082 \text{ MPa})^2}$$

$$R = 158,07 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{max} = \sigma_{med} + R = -158,07 \text{ MPa} + 158,07 \text{ MPa} = 0 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{min} = \sigma_{med} - R = -158,07 \text{ MPa} - 158,07 \text{ MPa} = -316,14 \text{ MPa}$$

$$\tau_{max} = R = 158,07 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{Von Mises} = \sqrt{\sigma_{max}^2 + \sigma_{min}^2 - \sigma_{max}\sigma_{min}}$$

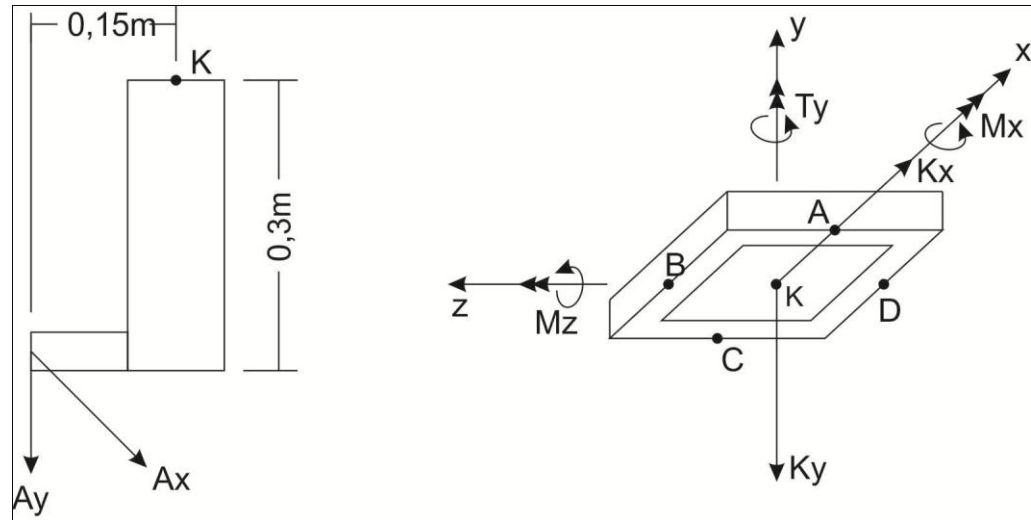
$$\sigma_{Von Mises} = \sqrt{(0 \text{ MPa})^2 + (-316,14 \text{ MPa})^2 - (0 \text{ MPa})(-316,14 \text{ MPa})}$$

$$\sigma_{Von Mises} = 316,14 \text{ MPa} < \sigma_y = 490 \text{ MPa} \text{ (Acero 1040 estirado en frío)}$$

3.3.4.2 Brazo de soporte.

Al igual que se analizo el punto P (ver Figura 33), se analizara los efectos de las fuerzas Ax y Ay en el punto K (ver Figura 34).

Figura 34. Fuerzas y momentos en el punto K.



$$K_x = A_x = 0,7 \text{ N}$$

$$K_y = A_y = -17093,82 \text{ N}$$

$$M_x = P_y \cdot d = 17093,82 \text{ N} (0,15 \text{ m}) = 2564,073 \text{ N m}$$

$$T_y = P_x \cdot d = 0,7 \text{ N} (0,15 \text{ m}) = 0,105 \text{ N m}$$

$$M_z = P_x \cdot d = 0,7 \text{ N} (0,3 \text{ m}) = 0,21 \text{ N m}$$

- Propiedades de la sección (ver Figura 35).

$$A = (0,1 \text{ m})^2 - (0,094 \text{ m})^2 = 1,164 \times 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$I = \frac{1}{12} (0,1 \text{ m})^4 - \frac{1}{12} (0,094 \text{ m})^4 = 1,827 \times 10^{-6} \text{ m}^4$$

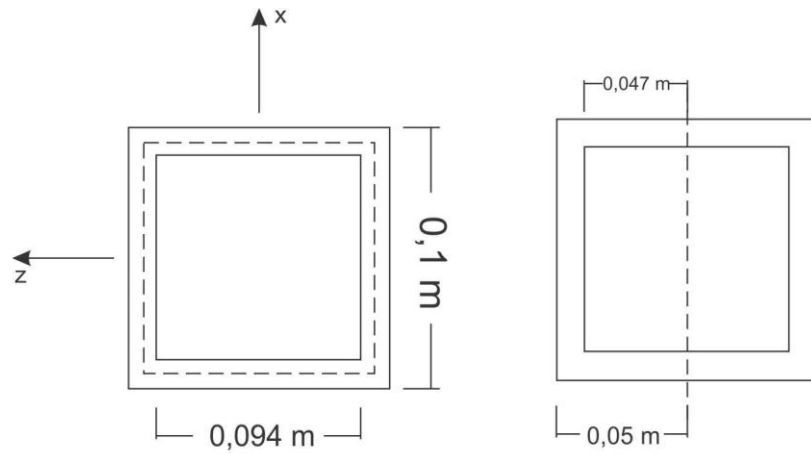
$$A_m = (0,097 \text{ m})^2 = 9,409 \times 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$Q = \bar{y}' A'$$

$$Q = \left(\frac{0,05 \text{ m}}{2} \right) (0,1 \text{ m}) (0,05 \text{ m}) - \left(\frac{0,047 \text{ m}}{2} \right) (0,094 \text{ m}) (0,047 \text{ m})$$

$$Q = 2,1177 \times 10^{-5} \text{ m}^3$$

Figura 35. Dimensiones de la sección transversal de la tubería.



• Punto A

$$\sigma_y = \frac{F_y}{A} - \frac{M_z \cdot y}{I}$$

$$\sigma_y = \frac{17093,82 \text{ N}}{1,164 \times 10^{-3} \text{ m}^2} - \frac{0,21 \text{ N m} (0,05 \text{ m})}{1,827 \times 10^{-6} \text{ m}^4}$$

$$\sigma_y = 14,68 \text{ MPa}$$

$$\sigma_z = 0$$

$$\tau_{yz} = -\frac{T}{2 \cdot t \cdot A_m}$$

$$\tau_{yz} = -\frac{0,105 \text{ N m}}{2(0,003 \text{ m})(9,409 \times 10^{-3} \text{ m}^2)}$$

$$\tau_{yz} = -0,00186 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{med} = \frac{\sigma_z + \sigma_y}{2} = \frac{0 + (14,68 \text{ MPa})}{2} = 7,34 \text{ MPa}$$

$$R = \sqrt{\left(\frac{\sigma_z - \sigma_y}{2}\right)^2 + (\tau_{yz})^2} = \sqrt{\left(\frac{0 - (14,68 \text{ MPa})}{2}\right)^2 + (-0,00186 \text{ MPa})^2}$$

$$R = 7,34 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{max} = \sigma_{med} + R = 7,34 \text{ MPa} + 7,34 \text{ MPa} = 14,68 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{min} = \sigma_{med} - R = 7,34 \text{ MPa} - 7,34 \text{ MPa} = 0$$

$$\tau_{max} = 7,34 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{Von Mises} = \sqrt{\sigma_{max}^2 + \sigma_{min}^2 - \sigma_{max}\sigma_{min}}$$

$$\sigma_{Von Mises} = \sqrt{(14,68 \text{ MPa})^2 + (0 \text{ MPa})^2 - (14,68 \text{ MPa})(0 \text{ MPa})}$$

$$\sigma_{Von Mises} = 14,68 \text{ MPa} < \sigma_y = 250 \text{ MPa} \text{ (Acero estructural ASTM-A36)}$$

- Punto B

$$\sigma_y = \frac{F_y}{A} + \frac{M_x \cdot y}{I}$$

$$\sigma_y = \frac{17093,82 \text{ N}}{1,164 \times 10^{-3} \text{ m}^2} + \frac{2564,073 \text{ N m} (0,05 \text{ m})}{1,827 \times 10^{-6} \text{ m}^4}$$

$$\sigma_y = 84,86 \text{ MPa}$$

$$\sigma_x = 0$$

$$\tau_{yx} = \frac{T}{2 \cdot t \cdot A_m} + \frac{V \cdot Q}{I \cdot t}$$

$$\tau_{yx} = \frac{0,105 \text{ N m}}{2(0,003 \text{ m})(9,409 \times 10^{-3} \text{ m}^2)} + \frac{(0,7 \text{ N})(2,1177 \times 10^{-5} \text{ m}^3)}{(1,827 \times 10^{-6} \text{ m}^4)(0,006 \text{ m})}$$

$$\tau_{yx} = 0,00321 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{med} = \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2} = \frac{0 + (84,86 \text{ MPa})}{2} = 42,43 \text{ MPa}$$

$$R = \sqrt{\left(\frac{\sigma_y - \sigma_z}{2}\right)^2 + (\tau_{yx})^2} = \sqrt{\left(\frac{0 - (84,86 \text{ MPa})}{2}\right)^2 + (84,86 \text{ MPa})^2}$$

$$R = 42,43 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{max} = \sigma_{med} + R = 42,43 \text{ MPa} + 42,43 \text{ MPa} = 84,86 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{min} = \sigma_{med} - R = 42,43 \text{ MPa} - 42,43 \text{ MPa} = 0$$

$$\tau_{max} = R = 42,43 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{Von Mises} = \sqrt{\sigma_{max}^2 + \sigma_{min}^2 - \sigma_{max}\sigma_{min}}$$

$$\sigma_{Von Mises} = \sqrt{(84,86 \text{ MPa})^2 + (0 \text{ MPa})^2 - (84,86 \text{ MPa})(0 \text{ MPa})}$$

$$\sigma_{Von Mises} = 84,86 \text{ MPa} < \sigma_y = 250 \text{ MPa (Acero estructural ASTM-A36)}$$

- Punto C

$$\sigma_y = \frac{F_y}{A} + \frac{M_z \cdot y}{I}$$

$$\sigma_y = \frac{17093,82 \text{ N}}{1,164 \times 10^{-3} \text{ m}^2} + \frac{0,21 \text{ N m} (0,05 \text{ m})}{1,827 \times 10^{-6} \text{ m}^4}$$

$$\sigma_y = 14,69 \text{ MPa}$$

$$\sigma_z = 0$$

$$\tau_{yz} = \frac{T}{2 \cdot t \cdot A_m}$$

$$\tau_{yz} = \frac{0,105 \text{ N m}}{2(0,003 \text{ m})(9,409 \times 10^{-3} \text{ m}^2)}$$

$$\tau_{yz} = 0,00186 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{med} = \frac{\sigma_z + \sigma_y}{2} = \frac{0 + (14,69 \text{ MPa})}{2} = 7,34 \text{ MPa}$$

$$R = \sqrt{\left(\frac{\sigma_z - \sigma_y}{2}\right)^2 + (\tau_{yz})^2} = \sqrt{\left(\frac{0 - (14,69 \text{ MPa})}{2}\right)^2 + (0,00186 \text{ MPa})^2}$$

$$R = 7,34 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{max} = \sigma_{med} + R = 7,34 \text{ MPa} + 7,34 \text{ MPa} = 14,69 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{min} = \sigma_{med} - R = 7,34 \text{ MPa} - 7,34 \text{ MPa} = 0$$

$$\tau_{max} = R = 7,34 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{Von Mises} = \sqrt{\sigma_{max}^2 + \sigma_{min}^2 - \sigma_{max}\sigma_{min}}$$

$$\sigma_{Von Mises} = \sqrt{(14,69 \text{ MPa})^2 + (0 \text{ MPa})^2 - (14,69 \text{ MPa})(0 \text{ MPa})}$$

$$\sigma_{Von Mises} = 14,69 \text{ MPa} < \sigma_y = 250 \text{ MPa} \text{ (Acero estructural ASTM-A36)}$$

- Punto D

$$\sigma_y = \frac{F_y}{A} - \frac{M_x \cdot y}{I}$$

$$\sigma_y = \frac{17093,82 \text{ N}}{1,164 \times 10^{-3} \text{ m}^2} - \frac{2564,073 \text{ N m} (0,05 \text{ m})}{1,827 \times 10^{-6} \text{ m}^4}$$

$$\sigma_y = -55,49 \text{ MPa}$$

$$\sigma_x = 0$$

$$\tau_{yx} = -\frac{T}{2 \cdot t \cdot A_m} + \frac{V \cdot Q}{I \cdot t}$$

$$\tau_{yx} = -\frac{0,105 \text{ N m}}{2(0,003 \text{ m})(9,409 \times 10^{-3} \text{ m}^2)} + \frac{(0,7 \text{ N})(2,1177 \times 10^{-5} \text{ m}^3)}{(1,827 \times 10^{-6} \text{ m}^4)(0,006 \text{ m})}$$

$$\tau_{yx} = -0,000508 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{med} = \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2} = \frac{0 + (-55,49 \text{ MPa})}{2} = -27,74 \text{ MPa}$$

$$R = \sqrt{\left(\frac{\sigma_x - \sigma_y}{2}\right)^2 + (\tau_{yx})^2} = \sqrt{\left(\frac{0 - (-55,49 \text{ MPa})}{2}\right)^2 + (-0,000508 \text{ MPa})^2}$$

$$R = 27,74 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{max} = \sigma_{med} + R = -27,74 \text{ MPa} + 27,74 \text{ MPa} = 0$$

$$\sigma_{min} = \sigma_{med} - R = -27,74 \text{ MPa} - 27,74 \text{ MPa} = -55,49 \text{ MPa}$$

$$\tau_{max} = R = 27,74 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{Von Mises} = \sqrt{\sigma_{max}^2 + \sigma_{min}^2 - \sigma_{max}\sigma_{min}}$$

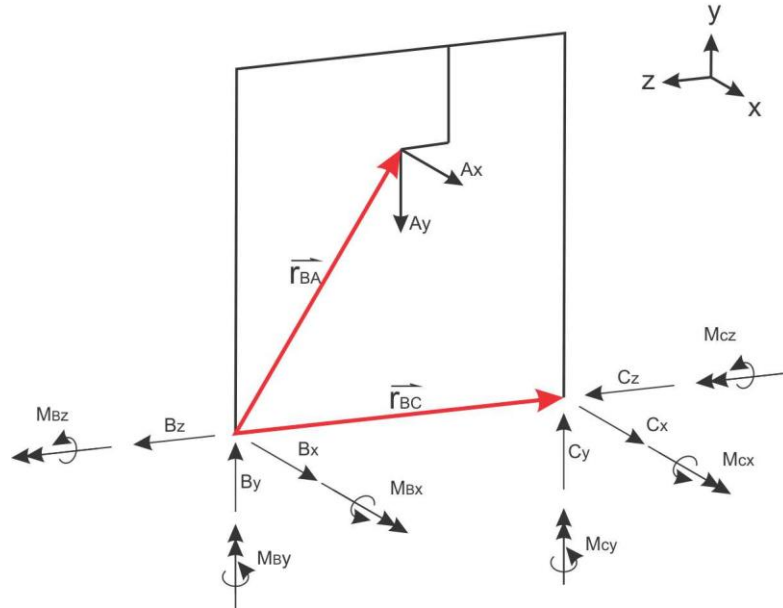
$$\sigma_{Von Mises} = \sqrt{(0 \text{ MPa})^2 + (-55,49 \text{ MPa})^2 - (0 \text{ MPa})(-55,49 \text{ MPa})}$$

$$\sigma_{Von Mises} = 55,49 \text{ MPa} < \sigma_y = 250 \text{ MPa} \text{ (Acero estructural ASTM-A36)}$$

3.3.4.3 Estática para la estructura como un todo.

También se analizarán los efectos de las fuerzas Ax y Ay en los empotramientos B y C (ver Figura 36).

Figura 36. Esquema de reacciones en los empotramientos de la estructura.



- Por simetría de cargas.

$$B_x = C_x$$

$$B_y = C_y$$

$$B_z = C_z$$

$$M_{Bx} = M_{Cx}$$

$$M_{By} = M_{Cy}$$

$$M_{Bz} = M_{Cz}$$

- Propiedades de la sección (ver Figura 35).

$$A = (0,1 \text{ m})^2 - (0,094 \text{ m})^2 = 1,164 \times 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$I = \frac{1}{12} (0,1 \text{ m})^4 - \frac{1}{12} (0,094 \text{ m})^4 = 1,827 \times 10^{-6} \text{ m}^4$$

$$A_m = (0,097 \text{ m})^2 = 9,409 \times 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$Q = \bar{y}' A'$$

$$Q = \left(\frac{0,05 \text{ m}}{2}\right)(0,1 \text{ m})(0,05 \text{ m}) - \left(\frac{0,047 \text{ m}}{2}\right)(0,094 \text{ m})(0,047 \text{ m})$$

$$Q = 2,1177 \times 10^{-5} \text{ m}^3$$

- Fuerzas.

$$\vec{A} = 0,7 \text{ N } \hat{i} - 17093,82 \text{ N } \hat{j} + 0 \hat{k}$$

$$\vec{B} = B_x \hat{i} + B_y \hat{j} + B_z \hat{k}$$

$$\vec{C} = C_x \hat{i} + C_y \hat{j} + C_z \hat{k}$$

- Momentos.

$$\vec{M}_B = M_{Bx} \hat{i} + M_{By} \hat{j} + M_{Bz} \hat{k}$$

$$\vec{M}_C = M_{Cx} \hat{i} + M_{Cy} \hat{j} + M_{Cz} \hat{k}$$

- Distancias.

$$\vec{r}_{BA} = 0 \hat{i} + 1,7 \hat{j} - 0,85 \hat{k}$$

$$\vec{r}_{BC} = 0 \hat{i} + 0 \hat{j} - 1,7 \hat{k}$$

$$\sum F_x = A_x + B_x + C_x = 0$$

$$B_x + C_x = -A_x$$

$$2B_x = -0,7 \text{ N}$$

$$B_x = \frac{-0,7 \text{ N}}{2}$$

$$B_x = -0,35 \text{ N}$$

$$C_x = -0,35 \text{ N}$$

$$\sum F_y = -A_y + B_y + C_y - W_e = 0$$

$$W_e = \left(8,96 \frac{Kg}{m}\right) (7,44 m) \left(9,81 \frac{m}{s^2}\right) = 653,96 N \text{ (Peso de la estructura)}$$

$$B_y + C_y = A_y + W_e$$

$$2B_y = 17093,82 N + 653,96 N$$

$$2B_y = 17747,78 N$$

$$B_y = \frac{17747,78 N}{2}$$

$$B_y = 8873,89 N$$

$$C_y = 8873,89 N$$

$$\sum F_z = B_z + C_z = 0$$

$$2B_z = 0$$

$$B_z = 0$$

$$C_z = 0$$

$$\sum \vec{M} = \vec{r}_{BA} \times \vec{A} + \vec{r}_{BC} \times \vec{C} + \vec{M}_B + \vec{M}_C = \vec{0}$$

$$\begin{vmatrix} \hat{i} & \hat{j} & \hat{k} \\ 0 & 1,7 & -0,85 \\ 0,7 & -17093,82 & 0 \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} \hat{i} & \hat{j} & \hat{k} \\ 0 & 0 & -1,7 \\ -0,35 & 8873,89 & 0 \end{vmatrix} + M_{Bx}\hat{i} + M_{By}\hat{j} + M_{Bz}\hat{k} + M_{Cx}\hat{i} \\ + M_{Cy}\hat{j} + M_{Cz}\hat{k} = \vec{0}$$

$$[(1,7)(0) - (-0,85)(-17093,82)] \hat{i} - [(0)(0) - (-0,85)(0,7)] \hat{j}$$

$$+ [(0)(-17093,82) - (1,7)(0,7)] \hat{k} + [(0)(0) - (-1,7)(8873,89)] \hat{i}$$

$$- [(0)(0) - (-1,7)(-0,35)] \hat{j} + [(0)(8873,89) - (0)(-0,35)] \hat{k} + M_{Bx}\hat{i}$$

$$+ M_{By}\hat{j} + M_{Bz}\hat{k} + M_{Cx}\hat{i} + M_{Cy}\hat{j} + M_{Cz}\hat{k} = \vec{0}$$

$$-14529,747 \hat{i} - 0,595 \hat{j} - 1,19 \hat{k} + 15085,613 \hat{i} + 0,595 \hat{j} + M_{Bx} \hat{i} + M_{By} \hat{j} + M_{Bz} \hat{k} \\ + M_{Cx} \hat{i} + M_{Cy} \hat{j} + M_{Cz} \hat{k} = \vec{0}$$

- En \hat{i} .

$$-14529,75 + 15085,61 + M_{Bx} + M_{Cx} = 0$$

$$M_{Bx} + M_{Cx} = 14529,75 - 15085,61$$

$$2M_{Bx} = -555,86$$

$$M_{Bx} = \frac{-555,86}{2}$$

$$M_{Bx} = -277,93 \text{ N m}$$

$$M_{Cx} = -277,93 \text{ N m}$$

- En \hat{j} .

$$-0,595 + 0,595 + M_{By} + M_{Cy} = 0$$

$$M_{By} + M_{Cy} = 0$$

$$2M_{By} = 0$$

$$M_{By} = 0$$

$$M_{Cy} = 0$$

- En \hat{k} .

$$-1,19 + M_{Bz} + M_{Cz} = 0$$

$$M_{Bz} + M_{Cz} = 1,19$$

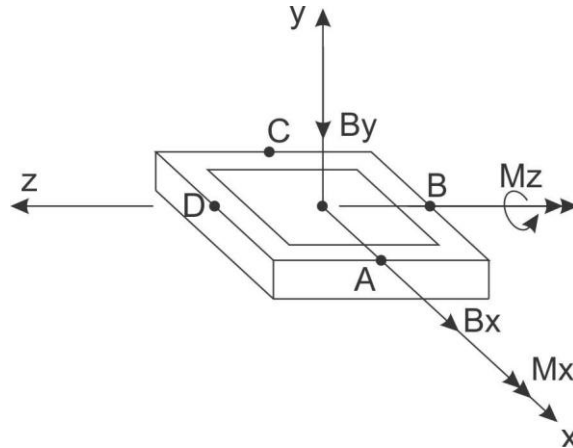
$$2M_{Bz} = 1,19$$

$$M_{Bz} = \frac{1,19}{2}$$

$$M_{Bz} = 0,595 \text{ N m}$$

$$M_{Cz} = 0,595 \text{ N m}$$

Figura 37. Fuerzas y momentos en B.



- Punto A

$$\sigma_y = -\frac{B_y}{A} - \frac{M_{Bz} \cdot y}{I}$$

$$\sigma_y = -\frac{8873,89 \text{ N}}{1,164 \times 10^{-3} \text{ m}^2} - \frac{(0,595 \text{ N m}) (0,05 \text{ m})}{1,827 \times 10^{-6} \text{ m}^4}$$

$$\sigma_y = -7,64 \text{ MPa}$$

$$\sigma_z = 0$$

$$\tau_{yz} = 0$$

$$\sigma_y = \sigma_{Von Mises} = 7,64 \text{ MPa} < \sigma_y = 250 \text{ MPa} \text{ (Acero estructural ASTM-A36)}$$

- Punto B

$$\sigma_y = -\frac{B_y}{A} + \frac{M_{Bx} \cdot y}{I}$$

$$\sigma_y = -\frac{8873,89 \text{ N}}{1,164 \times 10^{-3} \text{ m}^2} + \frac{(277,93 \text{ N m}) (0,05 \text{ m})}{1,827 \times 10^{-6} \text{ m}^4}$$

$$\sigma_y = -0,017 \text{ MPa}$$

$$\sigma_x = 0$$

$$\tau_{yx} = \frac{V \cdot Q}{I \cdot t}$$

$$\tau_{yx} = \frac{(0,35 \text{ N})(2,1177 \times 10^{-5} \text{ m}^3)}{(1,827 \times 10^{-6} \text{ m}^4)(0,006 \text{ m})}$$

$$\tau_{yx} = 0,00068 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{med} = \frac{\sigma_y + \sigma_x}{2} = \frac{-0,017 \text{ MPa} + 0}{2} = -0,0085 \text{ MPa}$$

$$R = \sqrt{\left(\frac{\sigma_y - \sigma_x}{2}\right)^2 + (\tau_{yx})^2} = \sqrt{\left(\frac{-0,017 \text{ MPa} - 0}{2}\right)^2 + (0,00068 \text{ MPa})^2}$$

$$R = 0,00853 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{max} = \sigma_{med} + R = -0,0085 \text{ MPa} + 0,00853 \text{ MPa} = 0,00003 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{min} = \sigma_{med} - R = -0,0085 \text{ MPa} - 0,00853 \text{ MPa} = -0,01703 \text{ MPa}$$

$$\tau_{max} = R = 0,008527 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{Von Mises} = \sqrt{\sigma_{max}^2 + \sigma_{min}^2 - \sigma_{max}\sigma_{min}}$$

$$\sigma_{Von Mises} = \sqrt{(0,00003 MPa)^2 + (-0,017 MPa)^2 - (0,00003 MPa)(-0,017 MPa)}$$

$$\sigma_{Von Mises} = 0,017 MPa < \sigma_y = 250 MPa \text{ (Acero estructural ASTM-A36)}$$

- Punto C

$$\sigma_y = -\frac{B_y}{A} + \frac{M_{Bz} \cdot y}{I}$$

$$\sigma_y = -\frac{8873,89 N}{1,164 \times 10^{-3} m^2} + \frac{0,595 N m (0,05 m)}{1,827 \times 10^{-6} m^4}$$

$$\sigma_y = -7,61 MPa$$

$$\sigma_z = 0$$

$$\tau_{yx} = 0$$

$$\sigma_y = \sigma_{Von Mises} = 7,61 MPa < \sigma_y = 250 MPa \text{ (Acero estructural ASTM-A36)}$$

- Punto D

$$\sigma_y = -\frac{B_y}{A} - \frac{M_{Bx} \cdot y}{I}$$

$$\sigma_y = -\frac{8873,89 N}{1,164 \times 10^{-3} m^2} - \frac{(277,93 N m) (0,05 m)}{1,827 \times 10^{-6} m^4}$$

$$\sigma_y = -7,61 MPa$$

$$\sigma_x = 0$$

$$\tau_{yx} = \frac{V \cdot Q}{I \cdot t}$$

$$\tau_{yx} = \frac{(0,35 \text{ N})(2,1177 \times 10^{-5} \text{ m}^3)}{(1,827 \times 10^{-6} \text{ m}^4)(0,006 \text{ m})}$$

$$\tau_{yx} = 0,00068 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{med} = \frac{\sigma_y + \sigma_x}{2} = \frac{-7,61 \text{ MPa} + 0}{2} = -3,81 \text{ MPa}$$

$$R = \sqrt{\left(\frac{\sigma_y - \sigma_x}{2}\right)^2 + (\tau_{yx})^2} = \sqrt{\left(\frac{-7,61 \text{ MPa} - 0}{2}\right)^2 + (0,00068 \text{ MPa})^2}$$

$$R = 3,81 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{max} = \sigma_{med} + R = -3,81 \text{ MPa} + 3,81 \text{ MPa} = 0$$

$$\sigma_{min} = \sigma_{med} - R = -3,81 \text{ MPa} - 3,81 \text{ MPa} = -7,62 \text{ MPa}$$

$$\tau_{max} = R = 3,81 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{Von Mises} = \sqrt{\sigma_{max}^2 + \sigma_{min}^2 - \sigma_{max}\sigma_{min}}$$

$$\sigma_{Von Mises} = \sqrt{0^2 + (-7,62 \text{ MPa})^2 - 0(-7,62 \text{ MPa})}$$

$$\sigma_{Von Mises} = 7,62 \text{ MPa} < \sigma_y = 250 \text{ MPa} \text{ (Acero estructural ASTM-A36)}$$

3.3.4.4 Como columna.

Se analiza los componentes verticales de la estructura como columna (Acero estructural ASTM-A36).

$$E = 200 \text{ GPa} = 200 \times 10^9 \text{ Pa}$$

$$\sigma_y = 250 \text{ MPa} = 250 \times 10^6 \text{ Pa}$$

$$C_c = \sqrt{\frac{2 \cdot \pi \cdot E}{\sigma_y}}$$

$$C_c = \sqrt{\frac{2 \cdot \pi (200 \times 10^9 \text{ Pa})}{250 \times 10^6 \text{ Pa}}}$$

$$C_c = 125,66 \text{ (Columna Corta)}$$

- Empotrada – Libre:

$$L_e = 0,7 L$$

$$L_e = 0,7 (2 \text{ m})$$

$$L_e = 1,4 \text{ m (Longitud equivalente)}$$

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

$$r = \sqrt{\frac{1,827 \times 10^{-6} \text{ m}^4}{1,164 \times 10^{-3} \text{ m}^2}}$$

$$r = 0,0396 \text{ m (Radio de Giro)}$$

$$R_e = \frac{L_e}{r} \text{ (Relacion de Esbeltez)}$$

$$R_e = \frac{1,4 \text{ m}}{0,0396 \text{ m}}$$

$$R_e = 35,35 < C_c$$

Si R_e es menor que C_c , se considera columna corta y se calcula:

$$F.S = \frac{5}{3} + \frac{3}{8} \frac{R_e}{C_c} - \frac{1}{8} \left(\frac{R_e}{C_c} \right)^3$$

$$F.S = \frac{5}{3} + \frac{3}{8} \frac{R_e}{C_c} - \frac{1}{8} \left(\frac{35,35}{125,66} \right)^3$$

$$F.S = 1,77$$

$$\sigma_{adm} = \frac{\sigma_y}{F.S} \left[1 - \frac{1}{2} \left(\frac{R_e}{C_c} \right)^2 \right]$$

$$\sigma_{adm} = \frac{250 \text{ MPa}}{1,77} \left[1 - \frac{1}{2} \left(\frac{35,35}{125,66} \right)^2 \right]$$

$$\sigma_{adm} = 135,65 \text{ MPa}$$

$$F_{adm} = \sigma_{adm} \cdot A$$

$$F_{adm} = (135,65 \text{ MPa}) (1,164 \times 10^{-3} \text{ m}^2)$$

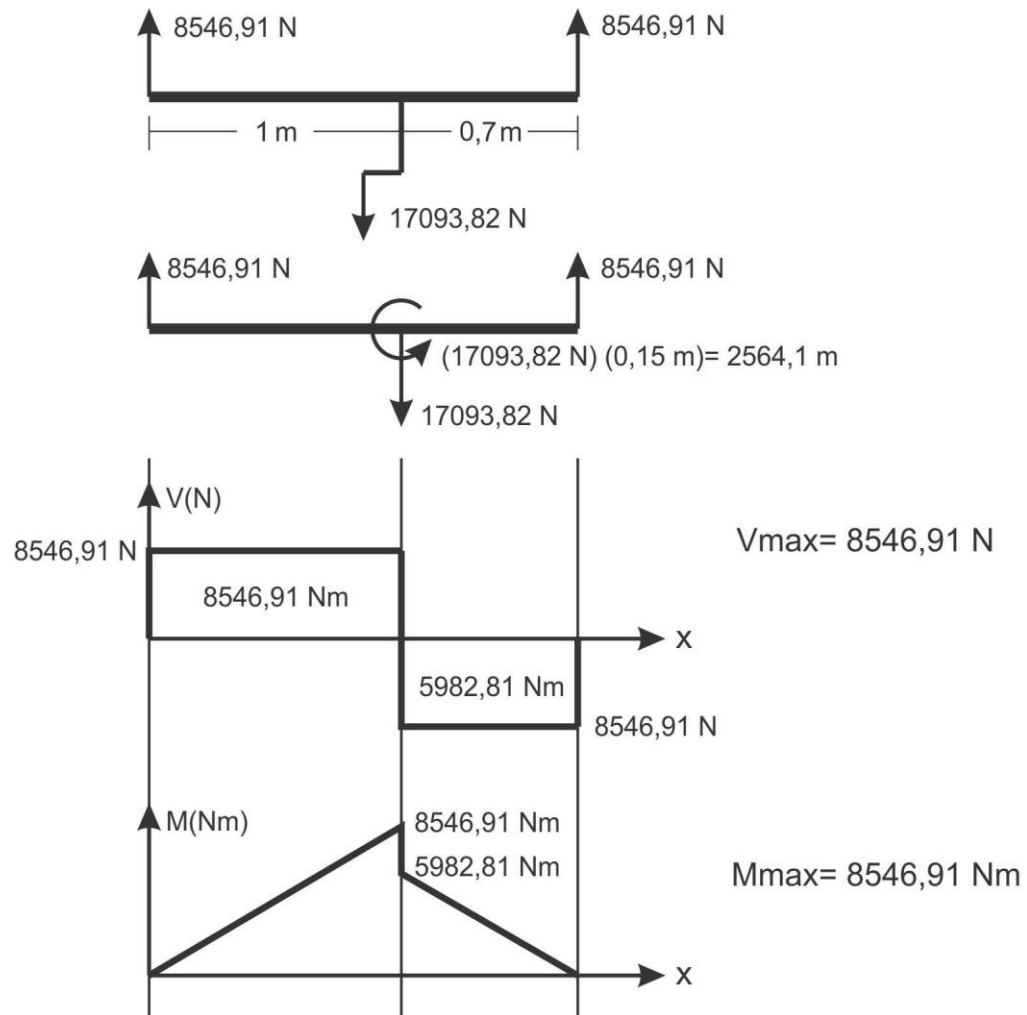
$$F_{adm} = 157838,4 \text{ N} > B_y \text{ y } C_y = 8873,89 \text{ N}$$

Luego la columna resiste con seguridad esta carga.

3.3.4.5 Como viga.

Se analiza el componente horizontal de la estructura como viga, para esto se realiza el diagrama de fuerza cortante y momento flector (ver Figura 38).

Figura 38. Diagrama de fuerzas en la viga.



$$\sigma_{max} = \frac{M_{max} \cdot y}{I}$$

$$\sigma_{max} = \frac{(8546,91 \text{ N m}) (0,05 \text{ m})}{1,827 \times 10^{-6} \text{ m}^4}$$

$$\sigma_{max} = 233,91 \text{ MPa} < \sigma_y = 250 \text{ MPa} \text{ (Acero estructural ASTM-A36)}$$

Aunque la viga resiste el esfuerzo de fluencia a la tensión, por seguridad se le adicionara un par de piangos a la estructura para darle más resistencia (ver Anexo A Figura 46).

$$\tau_{max} = \frac{V \cdot Q}{I \cdot t}$$

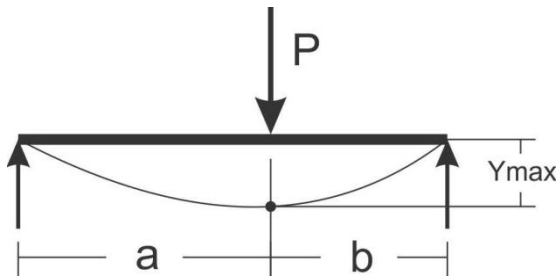
$$\tau_{max} = \frac{(8546,91 \text{ N}) (2,1177 \times 10^{-5} \text{ m}^3)}{(1,827 \times 10^{-6} \text{ m}^4) (0,006 \text{ m})}$$

$$\tau_{max} = 16,51 \text{ MPa} < \tau_y = 145 \text{ MPa} \text{ (Acero estructural ASTM-A36)}$$

3.3.4.6 Deflexión de la viga.

Se calcula el desplazamiento máximo que puede tener la viga (ver Figura 39).

Figura 39. Diagrama de deflexión en la viga.



$$y_{max} = \frac{P \cdot a^2 \cdot b^2}{3 \cdot E \cdot I \cdot L}$$

$$y_{max} = \frac{(17093,82 \text{ N}) (1 \text{ m})^2 (0,7 \text{ m})^2}{3 (200 \times 10^9 \text{ Pa}) (1,827 \times 10^{-6} \text{ m}^4) (1,7 \text{ m})}$$

$$y_{max} = 0,00449 \text{ m} = 4,49 \text{ mm}$$

3.3.5 Vehículo.

El vehículo se divide principalmente en 2 componentes que son: garruchas y tolva de almacenamiento.

3.3.5.1 Garruchas.

Su función es desplazarse sobre el cable carril y sostener la carga que va hacer transportada que para el caso es de 500 Kg (400 Kg de café cereza y 100 Kg para el peso del vehículo).

La garrucha seleccionada es conocida como garrucha de palma africana, la cual posee una mayor capacidad que la garrucha bananera, es de libre mantenimiento ya que tiene un sistema de rodamiento sellado (Balinera 6301-2RS), posee 2 poleas de 3" fabricadas en acero fundido y un gancho en acero calibrado de 5/ " (ver Anexo A Figura 49).

- Capacidad por garrucha:
 - Garrucha bananera: 250 Kg.
 - Garrucha palma africana: 350 Kg.

Esta garrucha tiene como característica que es libre de mantenimiento, es decir, no requiere ser engrasada durante su vida útil. Funciona con base a balineras de precisión con sellos de caucho los cuales tienen como ventaja una mayor suavidad y una mayor capacidad en el desplazamiento de la carga.

El vehiculó se compone de 2 garruchas de palma africana lo cual da una capacidad de 700 Kg.

3.3.5.2 Tolva.

Su función es almacenar la carga de 400 Kg de café cereza a granel y poder ser descargada fácilmente (ver Anexo A Figura 48). La tolva se realizara en lona, ya que es liviana y resistente.

La carga define las dimensiones de la tolva de almacenamiento, se debe tener en cuenta la densidad de la carga a transportar.

$$v = \frac{m}{\rho}$$

Donde:

v : Volumen.

m : Carga.

ρ : Densidad de café cereza.

- La carga a transportar es de 400 Kg.
- La densidad del café cereza es de 600 Kg/m³.

$$v = \frac{400 \text{ Kg}}{600 \text{ Kg/m}^3}$$

$$v = 0,667 \text{ m}^3$$

Lo cual representa el volumen mínimo que debe tener la tova para almacenar 400 Kg de café cereza.

De acuerdo al volumen se sacan las dimensiones de la tova. Algunas dimensiones son limitadas debido al ancho y altura de las torres.

Ancho máximo: 1 m.

Altura máxima 0,8 m (0,4 m cubo y 0,4 m pirámide).

Una tova se compone de dos partes: una en forma de cubo en la parte superior y otra parte en forma de pirámide en la parte inferior:

El volumen es:

$$V_{tolva} = V_{cubo} + V_{piramide}$$

$$V_{tolva} = ancho \times profundidad \times alto + \frac{1}{3} \times (ancho \times profundidad) \times alto$$

$$0,663 \text{ m}^3 = 1 \text{ m} \times profundidad \times 0,4 \text{ m} + \frac{1}{3} \times (1 \text{ m} \times profundidad) \times 0,4 \text{ m}$$

$$0,666 \text{ m}^3 = 1 \text{ m} \times profundidad \times 0,4 \text{ m} \left(1 + \frac{1}{3}\right)$$

$$0,666 \text{ m}^3 = 0,5333 \text{ largo}$$

$$profundidad = \frac{0,667 \text{ m}^3}{0,5333}$$

$$profundidad = 1,25 \text{ m}$$

Para ver las dimensiones, ver plano del vehículo tipo tova en lona, numeral 5.

3.3.6 Anclaje.

El anclaje se divide principalmente en 2 componentes que son: la cimentación y el sistema de tensión:

3.3.6.1 Cimentación.

Es el conjunto estructural entre un bloque de concreto y una armadura de varillas de acero (ver Anexo A Figura 51). El bloque de cemento con un volumen considerable debe resistir la componente vertical de la tensión de cable carril y la horizontal por fricción y empuje pasivo.

Para garantizar la adherencia entre la varilla vertical y el bloque de cemento, se diseñó una varilla que tiene soldado en el extremo inferior una cruceta y tubería (ver Anexo A Figura 50) la cual cuenta con el área necesaria para que se distribuya de una manera uniforme la presión sobre la cara de concreto armado de contacto, que con una profundidad de anclaje justificable, se puede garantizar el trabajo de anclaje.

3.3.6.2 Sistema de tensión.

Es un sistema que se compone de: una grapa roscada en forma de U, un eje de acero de 1,5" y tuercas de alta resistencia (ver Anexo A Figura 52).

La función de este sistema es sostener el cable carril (ver Anexo A Figura 53) y tensionar el cable (por medio del roscado de las tuercas) debido a destensiones que puede sufrir el cable por el mismo funcionamiento del sistema.

El cable carril abraza el eje del sistema de tensión por medio de grilletes, para ver las técnicas en el uso de grilletes ver el Anexo F de la Figura 58.

3.3.6.3 Dimensiones y calculo de anclaje.

Para poder resistir la tensión del cable carril (4391,43 Kg) es necesario tener un contrapeso mayor a esta carga.

- Para este cálculo se necesita conocer los datos de:
 - Dimensiones del hueco en donde se va a realizar la cimentación.
 $1,2 \text{ m} \times 1 \text{ m} \times 2,5 \text{ m} = 3 \text{ m}^3$
 - Dimensiones de la cimentación de concreto.
 $1,2 \text{ m} \times 1 \text{ m} \times 1,5 \text{ m} = 1,8 \text{ m}^3$

- Dimensiones de la columna de tierra.
 $1,2 \text{ m} \times 1 \text{ m} \times 1 \text{ m} = 1,2 \text{ m}^3$
- Densidad del concreto.
 2400 Kg/m^3
- Densidad de la tierra.
 1170 Kg/m^3
- Peso de la cimentación en concreto.
 $1,8 \text{ m}^3 \times 2400 \text{ Kg/m}^3 = 4320 \text{ Kg}$
- Peso de la columna de tierra.
 $1,2 \text{ m}^3 \times 1170 \text{ Kg/m}^3 = 1404 \text{ Kg}$
- Peso total.
 $4320 \text{ Kg} + 1404 \text{ Kg} = 5724 \text{ Kg}$
- Peso en exceso por seguridad.
 $5724 \text{ Kg} - 4391,43 \text{ Kg} = 1332,57 \text{ Kg}$

4. JUSTIFICACIÓN ECONÓMICA EN LA IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE TRANSPORTE POR CABLE

Es importante conocer las ventajas que tiene el sistema de transporte por cable frente al transporte tradicional con mulas y arrieros, por esto se compararan: los costos tanto de inversión inicial como los costos fijos mensuales entre dichos métodos de transporte y la eficiencia en cuanto a tiempo y cantidad de carga transportada.

4.1 EN TÉRMINOS DE COSTOS

Se realiza una comparación en términos de costos entre el transporte tradicional con mulas y el transporte por cable aéreo, desde la zona de cultivo hasta su lugar de procesamiento o despacho en una finca cafetera.

4.1.1 Transporte tradicional.

El costo de inversión aproximado de una mula de carga es de \$2.500.000, y también es necesario construir pesebreras las cuales deben tener un área mínima 5 m² por mula, en donde el costo aproximado del m² construido es de \$130.000, para un total de \$650.000 por mula, aparte de esto es indispensable destinar terrenos tanto para potreros como para sembrar caña dulce y hierva (pastos de corte) para la alimentación de las mulas en la pesebrera.

Esta forma tradicional de transportar el café, también conlleva a unos costos fijos mensuales como son, el mantenimiento y alimentación de las mulas, lo cual tiene un costo aproximado de \$150.000 (manejo de los cultivos de pasto, mano de obra, granos y melaza) y el costo mensual del salario de los arrieros con todo lo legal, que es aproximadamente de \$1.000.000, es importante saber que un arriero es capaz de llevar máximo 3 mulas en caminos de herradura.

Para el caso particular en donde se instalo el sistema de transporte, la finca en plena producción es necesario transportar 20.000 kg de café cereza al lugar de despacho.

Si una mula puede transportar 120 Kg en montaña y es capaz de hacer 3 viajes diarios en un recorrido de 430 m se necesita aproximadamente 56 mulas y de 10 arrieros (el cual realiza 6 viajes diarios) para transportar dicha carga.

- Inversión:
 - 56 mulas= \$140.000.000.
 - Pesebreras= \$36.400.000.

TOTAL= \$176.400.000.

Además hay que contar con terrenos destinados para sembrar pastos de corte para la alimentación de las mulas y para potreros.

- Costos fijos mensuales:
 - Alimentación y mantenimiento de las 56 mulas= \$8.400.000.
 - Sueldo de 10 arrieros con prestaciones y seguridad social= \$10.000.000.

TOTAL= \$18.400.000.

4.1.2 Transporte por cable aéreo.

Ahora se analizarán los costos de inversión y los costos fijos aproximados de un transporte por cable aéreo:

- Inversión.

Los costos de inversión representan el valor inicial necesario para poder implementar un sistema de transporte por cable y se resume en la siguiente tabla:

Tabla 8. Costos por implementación del sistema de transporte por cable.

COSTO DE COMPONENTES			
COMPONENTE	COSTO	CANTIDAD	VALOR
Cable Carril	10.324 x m	450 m	4.645.800
Cable Motriz	3.364 x m	450 m	1.513.800
Sistema Motriz	8.500.000	1	8.500.000
Torres	800.000	4	3.200.000
Vehículo	800.000	1	800.000
Anclaje	250.000	2	500.000
TOTAL			19.159.600
MANO DE OBRA (Construcción)			
PERSONAL	COSTO/HORA	HORAS	VALOR
Soldador	6.800	192	1.305.600
Ayudante	4.300	192	825.600
TOTAL			2.131.200
MANO DE OBRA (Obra civil)			
PERSONAL	COSTO/HORA	HORAS	VALOR
Maestro de obra	7.850	192	1.507.200
Ayudante	5.800	192	1.113.600
TOTAL			2.620.800
OTROS			
ITEM	DESCRIPCION	VALOR	
2 Ingenieros	Diseño y coordinación tanto de la construcción del sistema, de la obra civil y del montaje.	7.000.000	
Consumibles y Herramientas (construcción)	Soldadura, discos de corte y de pulir, anticorrosivo, pintura, tronzadora, equipo de soldadura, pulidora, taladro de banco entre otras.	1.000.000	
Materiales (Obra civil)	Ladrillos, cemento, arena, cascajo, varillas para el cuarto de maquinas, bases para torres, muertos de anclaje.	4.500.000	
Transporte	Transporte para llevar los materiales de la obra civil y para llevar todos los componentes del sistema de transporte	500.000	
Montaje	Tensionada del cable carril (tirfor), instalación eléctrica e instalación del sistema motriz.	1.000.000	
TOTAL		14.000.000	
GRAN TOTAL		37.911.600	

El costo total del sistema de transporte de carga por cable aéreo es de= **\$37.911.600** aproximadamente. Este costo puede variar dependiendo de las condiciones topográficas y de las necesidades del cliente.

- Costos fijos mensuales:
 - Mantenimiento: El costo mensual por mantenimiento del sistema se reduce a casi cero, ya que los componentes del sistema solo requieren de un mantenimiento preventivo por inspección, como el de lubricar cables y mirar los niveles de aceite del reductor, lo cual no representa un mayor costo.
 - Consumo: El costo aproximado del KW/h es de \$400 y el equipo consume 5,5 KW, lo cual trabajando 10 horas diarias y 6 días a la semana, daría un costo mensual aproximado de: \$528.000.
 - Persona encargada de operar el sistema y descargue la carga: \$1.000.000.
 - Persona encargada del cargue: \$1.000.000.

TOTAL: \$2.528.000

4.2 EN TÉRMINOS DE TIEMPO

Se realiza una comparación en términos de tiempo entre el transporte tradicional con mulas y el transporte por cable aéreo, desde la zona de cultivo hasta su lugar de procesamiento o despacho en una finca cafetera:

4.2.1 Transporte tradicional.

Un viaje (ida y vuelta) de una mula con cargue y descargue se demora aproximadamente 1 hora y 30 minutos y tiene la capacidad de transportar 120 Kg.

Se requieren de 56 mulas y 10 arrieros, para transportar en una jornada de trabajo, los 20.000 Kg en el pico más alto de la cosecha.

4.2.2 Transporte por cable aéreo.

Un viaje con el sistema de transporte por cable con cargue y descargue se demora aproximadamente 12 minutos y tiene la capacidad de transportar 400 kg.

Por cada viaje del sistema de transporte por cable se ahorra el trabajo de un poco más de 3 mulas y de su arriero, en un tiempo de 12 minutos contra 1 hora y 30 minutos que se demora la forma tradicional.

El transporte por cables puede transportar 2.000 kg por hora, esto quiere decir que se demora 10 horas para transportar los 20.000 Kg en el pico más alto de la cosecha.

CONCLUSIÓN.

Utilizar el transporte tradicional representa un proceso lento y en caso de lluvias, se debe parar este proceso por seguridad tanto para la mula como para el arriero, ya que el terreno se vuelve complicado y peligroso.

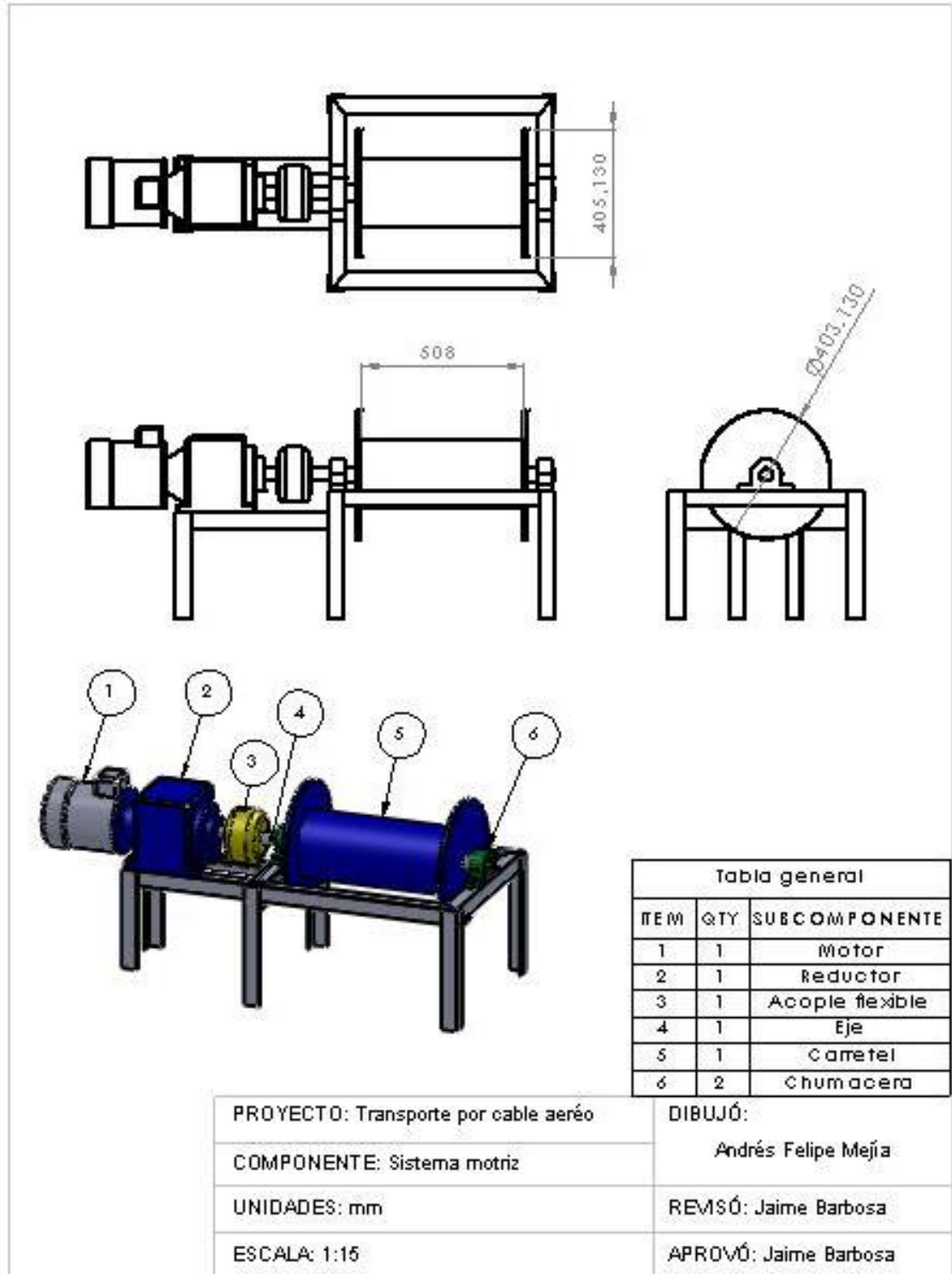
Por otro lado los costos de inversión y de mantenimiento son elevados y por esto es justificable en gran medida, la implementación de un sistema de transporte por cable en cualquier finca cafetera del mundo que tenga más de 5 hectáreas de cultivo en montaña, lo que corresponde a los medianos y grandes productores los cuales a su vez tienen un poder mayor adquisitivo.

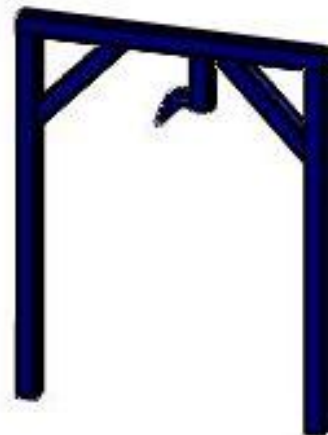
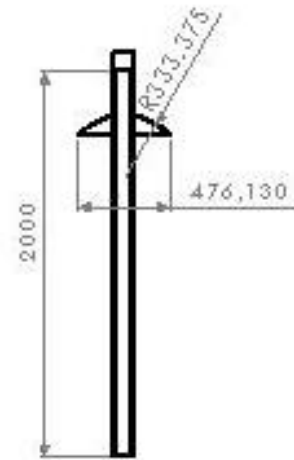
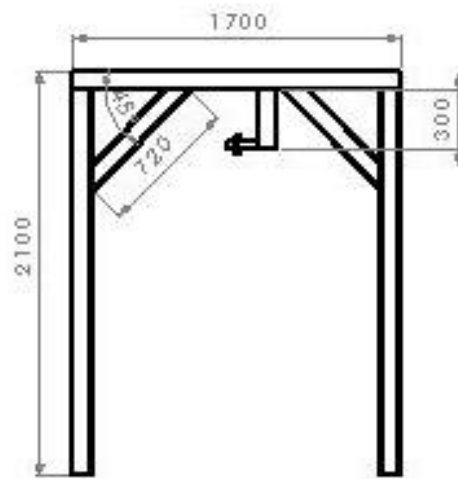
Algunas ventajas de implementar un sistema de transporte por cable, serían las siguientes:

- Mucho más económico comparado con carreteras, vehículos y mulas.
- Adaptable a todo tipo de terrenos.
- Bajo costo de mantenimiento.
- Eficiencia y seguridad en el transporte.
- Cargue y descargue fácil, rápido y eficiente.
- Traslado de equipos e insumos.
- Disminución del esfuerzo físico y en la duración de las labores.
- Garantiza la calidad del producto transportado.
- Transporte asegurado o alta confiabilidad durante épocas de lluvia.
- Facilidad de operación.
- Recolección oportuna que evita pérdidas por maduración.
- Economía de espacios y aprovechamiento al máximo de las áreas de cultivo.
- Estos sistemas valorizan y tecnifican de gran manera la finca o empresa.

Existen muchos tipos de sectores que se pueden desarrollar con cables aéreos, como por ejemplo: sector turístico, sector ganadero, sector minero, sector de la construcción, sector forestal y sector agrícola.

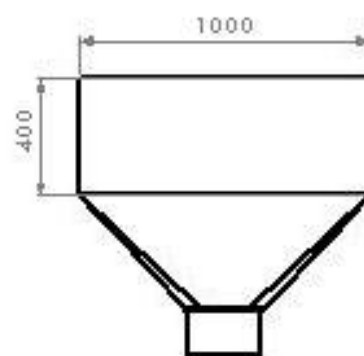
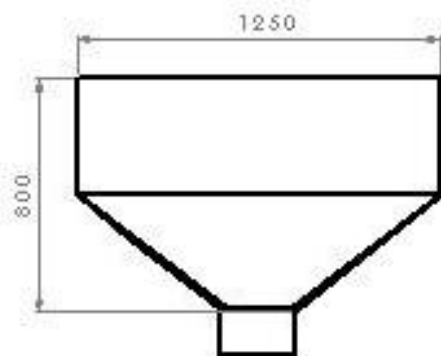
5. PLANOS GENERALES





TUBERIA ESTRUCTURAL
100 X 100 X 3 mm

PROYECTO: Transporte por cable aéreo	DIBUJÓ: Andrés Felipe Mejía
COMPONENTE: Torre de apoyo	REVISÓ: Jaime Barbosa
UNIDADES: mm	APROBÓ: Jaime Barbosa
ESCALA: 1:30	



PROYECTO: Transporte por cable aéreo	DIBUJÓ:
COMPONENTE: Vehículo tipo tolva en lona	Andrés Felipe Mejía
UNIDADES: mm	REVISÓ: Jaime Barbosa
ESCALA: 1:20	APROBÓ: Jaime Barbosa

6. BIBLIOGRAFIA

ALPIND. Cable de acero: Información general. [En línea]. 2004. (Citada: 09 agosto 2010)<http://www.alpind.com/Spanish_Version/pdf_files/2007/CA%20Info%20Gen%20Ac.pdf>

ALVAREZ SOTO, Oscar Mauricio. Diseño de un sistema de transporte por cable aéreo para fruta en ladera. Medellín, 2002, 134 p. Trabajo de grado (Ingeniero Agrícola). Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Departamento de Ingeniería Agrícola.

ARANGO MUÑOZ, Luis Andrey y CARTAGENA YARCE, Carlos Mario. Diseño conceptual del conjunto propulsor para un sistema de transporte de carga por cable autopropulsado. Medellín, 2009, 115 p. Trabajo de grado (Ingeniero Mecánico). Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Minas. Departamento de Ingeniería Mecánica.

ARIAS ATEHORTÚA, Carlos Andrés y POSADA GIRALDO, Jorge Hernán. Diseño conceptual de una transmisión mecánica y selección de una fuente de potencia para un sistema de transporte autónomo de carga por cable con mecanismo de triada. Medellín, 2003, 105 p. Trabajo de grado (Ingeniero Mecánico). Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Minas. Departamento de Ingeniería Mecánica.

ARRIETA VIDAL, Hernán Alonso y GONZÁLEZ IRIARTE, José Luis. Diseño de una moto aérea para arrastre de carga a largas distancias con pendientes muy bajas sobre un cable vía. Medellín, 2006, 69 p. Trabajo de grado (Ingeniero Mecánico). Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Minas. Departamento de Ingeniería Mecánica.

CARO A., Jorge Aurelio y HENAO V., Juan Esteban. Implementación de sistema de cable sinfín para transporte de madera en el bosque. Medellín, 2009, 83 p. Trabajo de grado (Ingeniero Mecánico) Universidad EAFIT. Escuela de Ingeniería. Departamento de Ingeniería Mecánica.

CARRETEROS. Pliegos de Condiciones Técnicas para la construcción y explot. de las instalaciones de teleféricos y funiculares. [En línea]. Madrid. 1998. (Citada: 09 agosto 2010)<http://www.carreteros.org/legislacionb/cable/pliego/t_c.htm>

CEBALLOS ROJAS, Diego Alberto y HENAO ZULUAGA, Rodrigo Alberto. Diseño de un teleférico autopropulsado para transporte de carga. Medellín, 1999, 163 p. Trabajo de grado (Ingeniero Mecánico). Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Minas. Departamento de Ingeniería Mecánica.

CENTRO ACEROS. Cable vías (Multimedia). Cable vías (Catalogo General). Teleférico de Carga (Catalogo). Cable móvil. (Catalogo). Cable vías flores (Catalogo). Cable vías palma africana (Catalogo).

CERVERA CERVERA, Jenkins. Diseño del cabrestante para un sistema de transporte por cable aéreo. Medellín, 1991, 81 p. Trabajo de grado (Ingeniero Agrícola). Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Departamento de Ingeniería Agrícola.

DOPPELMAYR. Productos. [En línea]. 2010. (Citada: 09 agosto 2010) <<http://www.doppelmayr.com/es/doppelmayr-international/productos.html?country=all>>

EMCOCABLES. Cables. [En línea]. (Citada: 16 agosto 2010)<<http://www.emcocables.com/catalogos/cables.pdf>>

ESPINOZA GÓMEZ, Juan Carlos y ARISTIZÁBAL RESTREPO, Ricardo. Estudio de un sistema de transporte de caña por cable con recolección multipunto. Medellín, 2005, 64 p. Trabajo de grado (Ingeniero Mecánico). Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Minas. Departamento de Ingeniería Mecánica.

GARCÍA, Angélica. Economía de Colombia: La agricultura. [En línea]. 2004. (Citada: 02 agosto 2010) <<http://pwp.supercabletv.net.co/garcru/colombia/Colombia/economia.html>>

GONZALEZ PATIÑO, Juan Pablo y VIANA CASAS, Gustavo Adolfo. Diseño conceptual de una triada autopropulsada con motor eléctrico. Medellín, 2006, 62 p. Trabajo de grado (Ingeniero Mecánico). Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Minas. Departamento de Ingeniería Mecánica.

GUTIÉRREZ VANEGAS, Albert Julesmar y MÚNERA RENGIFO, Oscar Alberto. Análisis y diseño de un sistema de transporte por cable aéreo para una explotación forestal. Medellín, 1994, 146 p. Trabajo de grado (Ingeniero Agrícola).

Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Departamento de Ingeniería Agrícola.

HIBBELER, R.C. Mecánica de materiales. 3 ed. México, Prentice-Hall, 1998. 856 p. ISBN 0-13-256983-3.

INTERMEC. Productos: Acoples para ejes. [En línea]. Bogotá. 2009 (Citada: 16 agosto 2010) <http://www.intermec.com.co/web_intermec/index.php?option=com_content&task=view&id=24&Itemid=66>

JIMÉNEZ BENJUMEA, Juan Pablo y LÓPEZ ALZATE, Samuel David. Sistema de transporte por cable. Medellín, 2002, 106 p. Trabajo de grado (Ingeniero Mecánico) Universidad Pontificia Bolivariana. Facultad de Ingeniería Mecánica.

MIRAVETE, Antonio et al. Los transportes en la ingeniería industrial. 1 ed. España, Reverté, 1998. 599 p. ISBN 84-921349-5-X.

MOTT, Robert L. Diseño de elementos de maquinas. 4 ed. México, Pearson Educación, 2006. 944 p. ISBN 970-26-0812-0.

NORTON, Robert L. Machine design an integrated approach. 3 ed. United States of America, Pearson Prentice Hall, 2006. 984 p. ISBN 0-13-148190-8.

RESTREPO ARIAS, Juan Felipe. Estudio del transporte interno en postcosecha usando el sistema de cable vía para un cultivo de palma africana. Medellín, 2002, 90 p. Trabajo de grado (Ingeniero Agrícola). Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Departamento de Ingeniería Agrícola.

ROMO P., Marcelo; CHECA C., David y ZAMBRANO E., Santiago. Criterios y alternativas para el diseño de un teleférico. Ecuador. 2007, 17 p. Artículo: II Congreso de Ciencia y Tecnología. Escuela Politécnica del Ejército.

RUSSELLTRUCK. Operations Manual: 400 & 600 Wreckers. [En línea]. (Citada: 16 agosto 2010) <http://www.russelltruck.ca/uploads/pdf/400_600_operation_manual.pdf>

SHAH, K. P. Technical Information Related With Wire Ropes: Capacity of Drums / Reels. [En línea]. Vashi, Navi Mumbai. (Citada: 09 agosto 2010) <<http://practicalmaintenance.net/?p=576>>

SITIRIDUTTORI. Siti spa. (Società Italiana Trasmissioni Industriali);, NHL- MNHL. [En línea]. Monteveglio. (Citada: 12 agosto 2010) <<http://www.sitiriduttori.it/Cataloghi/75/75634197045367807500.pdf>>

SKF. Productos: Unidades de rodamientos. [En línea]. (Citada: 16 agosto 2010)<<http://www.skf.com/skf/productcatalogue/Forwarder?action=PPP&lang=es&imperial=false&windowName=null&perfid=211101&prodid=211101040>>

TECHTOP. MS Series Three-Phase Asynchronous Motors. [En línea]. Shanghai. 2009. (Citada: 12 agosto 2010) <<http://www.motor-techtop.com/cpzs1.php?subID=234>>

TECOWESTINGHOUSE. N3 Teco AC Drive. [En línea]. Round Rock, Texas. 2009. (Citada: 12 agosto 2010) <http://www.tecowestinghouse.com/PDF/N3_Compact_Drive.pdf>

TRENSCAT. Funiculars i telefèrics de Catalunya. [En línea]. Catalunya. 2005. (Citada: 09 agosto 2010) <<http://www.trenscat.com/funis/>>

Universidad EAFIT. Programas Académicos, Pregrados, Ingeniería Mecánica: ¿De que se trata Ingeniería Mecánica? [En línea]. Medellín. 2010. (Citada: 02 agosto 2010)<<http://www.eafit.edu.co/programas-academicos/pregrados/ingenieria-mecanica/informacion-general/Paginas/programa.aspx>>

VICENTE MACAS, Oswaldo David. Diseño de un transportador aéreo capacidad 500 kg altura 300 metros, para la central hidroeléctrica “Ing. Carlos Mora Carrión” de la provincia de Zamora Chinchipe. Cuenca, 2009, 218 p. Trabajo de grado (Ingeniero Mecánico). Universidad Politécnica Salesiana. Facultad de Ingeniería.

Anexo A. FOTOS DEL PROYECTO

Figura 40. Trayecto BA.



Figura 41. Trayecto AC.

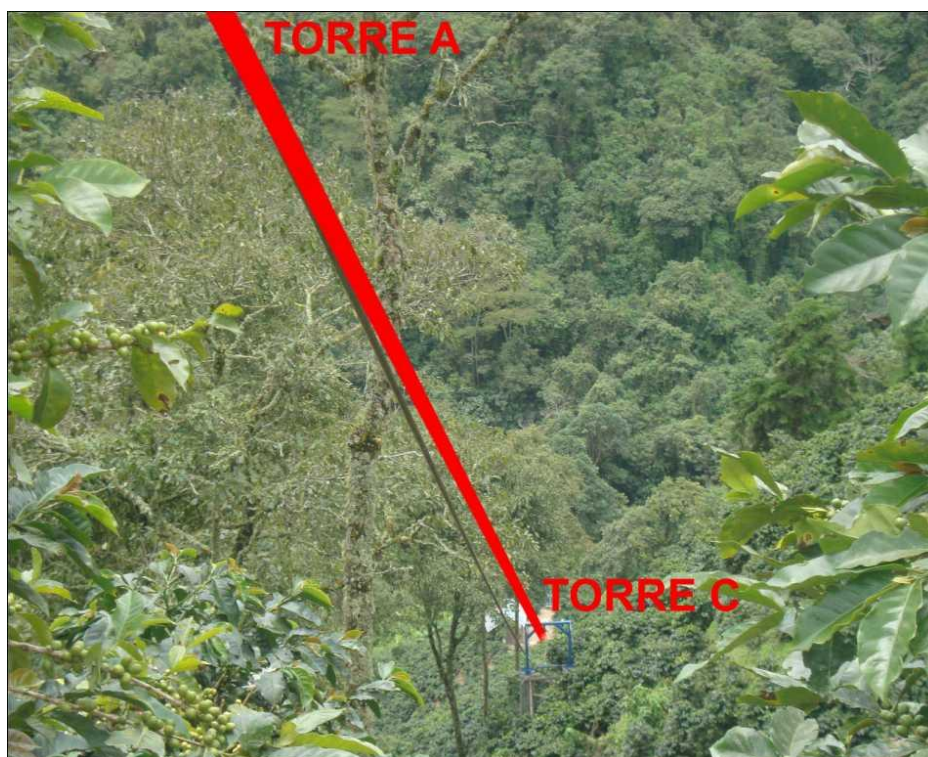


Figura 42. Construcción de torre.



Figura 43. Sistema motriz.



Figura 44. Tablero de control.

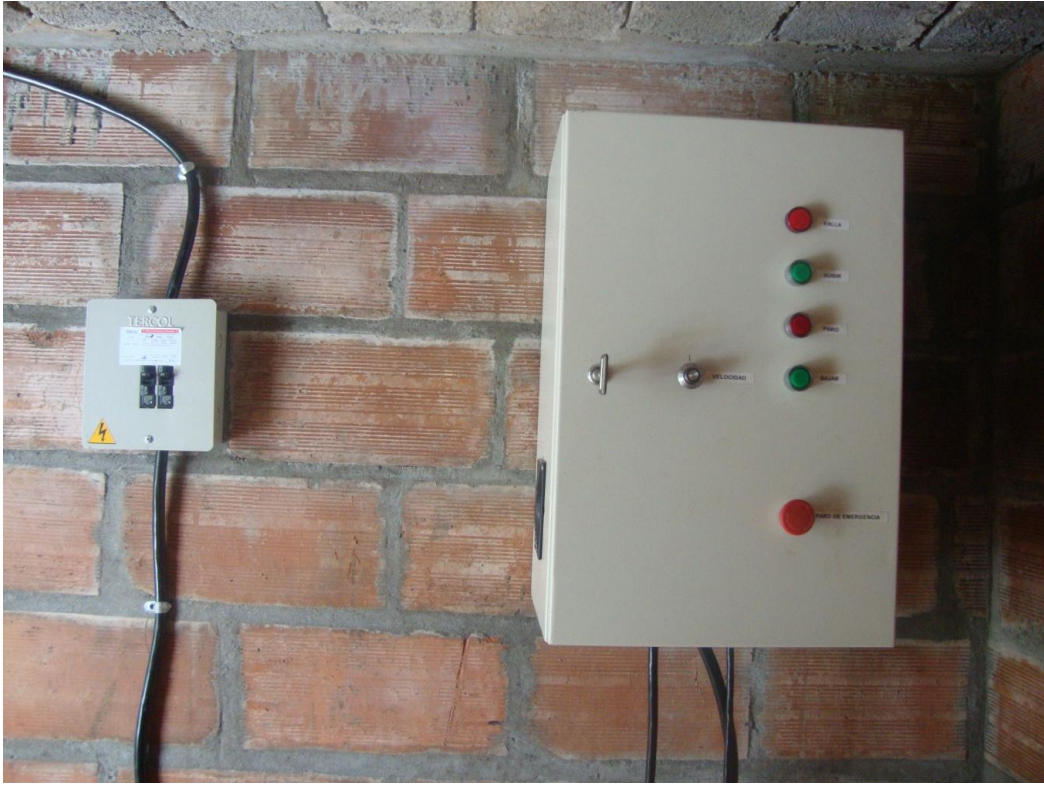


Figura 45. Variador de velocidad y demás componentes del tablero de control.



Figura 46. Torre o apoyo del cable.



Figura 47. Vehículo llegando al lugar de descargue.



Figura 48. Vehículo tipo tolva en lona.



Figura 49. Garrucha del vehículo.



Figura 50. Varilla de anclaje.



Figura 51. Cimentación.



Figura 52. Sistema de tensión del cable carril.

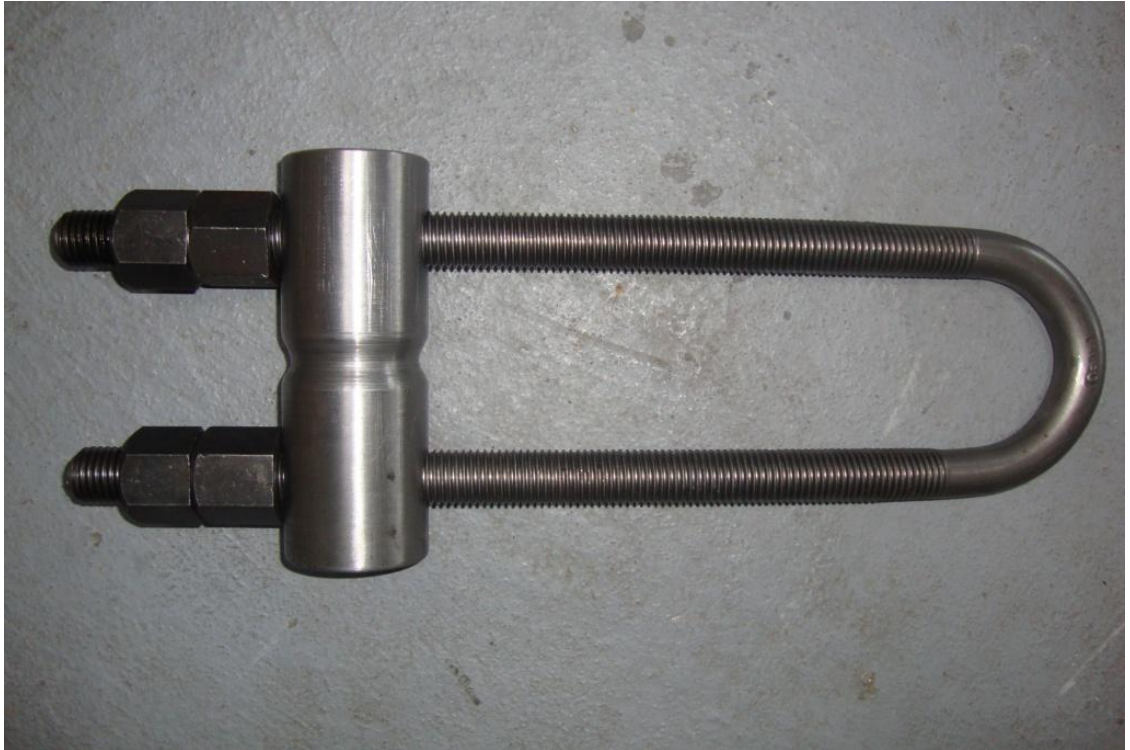


Figura 53. Anclaje.



Anexo B. PROPIEDADES FÍSICAS Y MECANICAS PARA CABLES DE ACERO

Tabla 9. Propiedades físicas y mecánicas del cable 6x7 alma de acero.

Diámetro		Peso Aprox.		Carga Mínima de Rotura			
pulg	mm	lb/ft	kg/m	IPS tons	1770 kN	EIPS tons	1960 kN
	6	0,100	0,144		22,9		25,3
1/4		0,110	0,161	2,84		3,12	
	7	0,130	0,196		31,1		34,5
5/16		0,170	0,252	4,41		4,85	
	8	0,170	0,256		40,7		45
	9	0,220	0,324		51,5		57
3/8		0,240	0,363	6,3		6,93	
	10	0,270	0,4		63,5		70,4
	11	0,330	0,484		76,9		85,1
7/16		0,330	0,494	8,52		9,37	
	12	0,390	0,576		91,5		101
1/2		0,430	0,645	11,1		12,2	
	13	0,450	0,676		107		119
	14	0,530	0,784		125		138
9/16		0,550	0,817	14		15,4	
5/8		0,680	1,008	17,1		18,800	
	16	0,690	1,024		163		180
	18	0,870	1,296		206		228
	19	0,970	1,444		229		254
3/4		0,980	1,452	24,4		26,8	
	20	1,080	1,6		254		281
	22	1,300	1,936		308		341
7/8		1,330	1,976	33		36,3	
	24	1,550	2,304		366		405
	1	1,730	2,581	42,7		47	
	26	1,820	2,704		430		476
	28	2,110	3,136		498		552
1 1/8		2,190	3,266	53,5		58,9	
1 1/4		2,710	4,032	65,6		72,2	
	32	2,750	4,096		651		721
1 3/8		3,280	4,879	78,6		86,5	
	36	3,480	5,184		824		912
1 1/2		3,900	5,806	92,7		102	

IPS= Improved Plow Steel EIPS= Extra Improved Plow Steel Para ton/mt Multiplicar por 0.9072 Para kg/mt Multiplicar po

www.emcocables.com

(@EMCOCABLES, 2010)

Tabla 10. Propiedades físicas y mecánicas del cable 6x19 alma de fibra.

Diámetro (pulg)	Peso aproximado Kg/m	Alma de Fibra	
		Carga de rotura en Kgf	
		IPS	EIPS
1/4	0,149	2.485	2.730
5/16	0,238	3.865	4.254
3/8	0,357	5.535	6.086
7/16	0,476	7.504	8.254
1/2	0,625	9.709	10.703
9/16	0,789	12.250	13.515
5/8	0,982	15.154	16.689
3/4	1,399	21.043	23.764
7/8	1,92	28.480	32.109
1	2,5	37.006	41.723
1 1/8	3,17	46.530	52.517
1 1/4	3,913	57.142	64.490
1 3/8	4,732	68.752	77.551
1 1/2	5,625	81.360	91.609
1 5/8	6,571	94.331	107.029
1 3/4	7,663	109.750	123.356
1 7/8	8,794	124.263	140.589
2	10,074	141.466	159.637
2 1/8	11,294	158.730	178.684
2 1/4	12,663	176.870	199.546

(@EMCOCABLES, 2010)

Anexo C. PROPIEDADES DE MATERIALES

Tabla 11. Propiedades de diseño para los aceros al carbón y aleados.

Designación del material (Número AISI)	Condición	Resistencia a la tensión		Resistencia de fluencia		Ductilidad (porcentaje de elongación en 2 pulgadas)	Dureza Brinell (HB)
		(ksi)	(MPa)	(ksi)	(MPa)		
1020	Laminado en caliente	55	379	30	207	25	111
1020	Estirado en frío	61	420	51	352	15	122
1020	Recocido	60	414	43	296	38	121
1040	Laminado en caliente	72	496	42	290	18	144
1040	Estirado en frío	80	552	71	490	12	160
1040	OQT 1300	88	607	61	421	33	183
1040	OQT 400	113	779	87	600	19	262
1050	Laminado en caliente	90	620	49	338	15	180
1050	Estirado en frío	100	690	84	579	10	200
1050	OQT 1300	96	662	61	421	30	192
1050	OQT 400	143	986	110	758	10	321
1117	Laminado en caliente	62	427	34	234	33	124
1117	Estirado en frío	69	476	51	352	20	138
1117	WQT 350	89	614	50	345	22	178
1137	Laminado en caliente	88	607	48	331	15	176
1137	Estirado en frío	98	676	82	565	10	196
1137	OQT 1300	87	600	60	414	28	174
1137	OQT 400	157	1083	136	938	5	352
1144	Laminado en caliente	94	648	51	352	15	188
1144	Estirado en frío	100	690	90	621	10	200
1144	OQT 1300	96	662	68	469	25	200
1144	OQT 400	127	876	91	627	16	277
1213	Laminado en caliente	55	379	33	228	25	110
1213	Estirado en frío	75	517	58	340	10	150
12L13	Laminado en caliente	57	393	34	234	22	114
12L13	Estirado en frío	70	483	60	414	10	140
1340	Recocido	102	703	63	434	26	207
1340	OQT 1300	100	690	75	517	25	235
1340	OQT 1000	144	993	132	910	17	363
1340	OQT 700	221	1520	197	1360	10	444
1340	OQT 400	285	1960	234	1610	8	578
3140	Recocido	95	655	67	462	25	187
3140	OQT 1300	115	792	94	648	23	233
3140	OQT 1000	152	1050	133	920	17	311
3140	OQT 700	220	1520	200	1380	13	461
3140	OQT 400	280	1930	248	1710	11	555
4130	Recocido	81	558	52	359	28	156
4130	WQT 1300	98	676	89	614	28	202
4130	WQT 1000	143	986	132	910	16	302
4130	WQT 700	208	1430	180	1240	13	415
4130	WQT 400	234	1610	197	1360	12	461
4140	Recocido	95	655	60	414	26	197
4140	OQT 1300	117	807	100	690	23	235
4140	OQT 1000	168	1160	152	1050	17	341
4140	OQT 700	231	1590	212	1460	13	461
4140	OQT 400	290	2000	251	1730	11	578

(MOTT, 2006, Pág. A6)

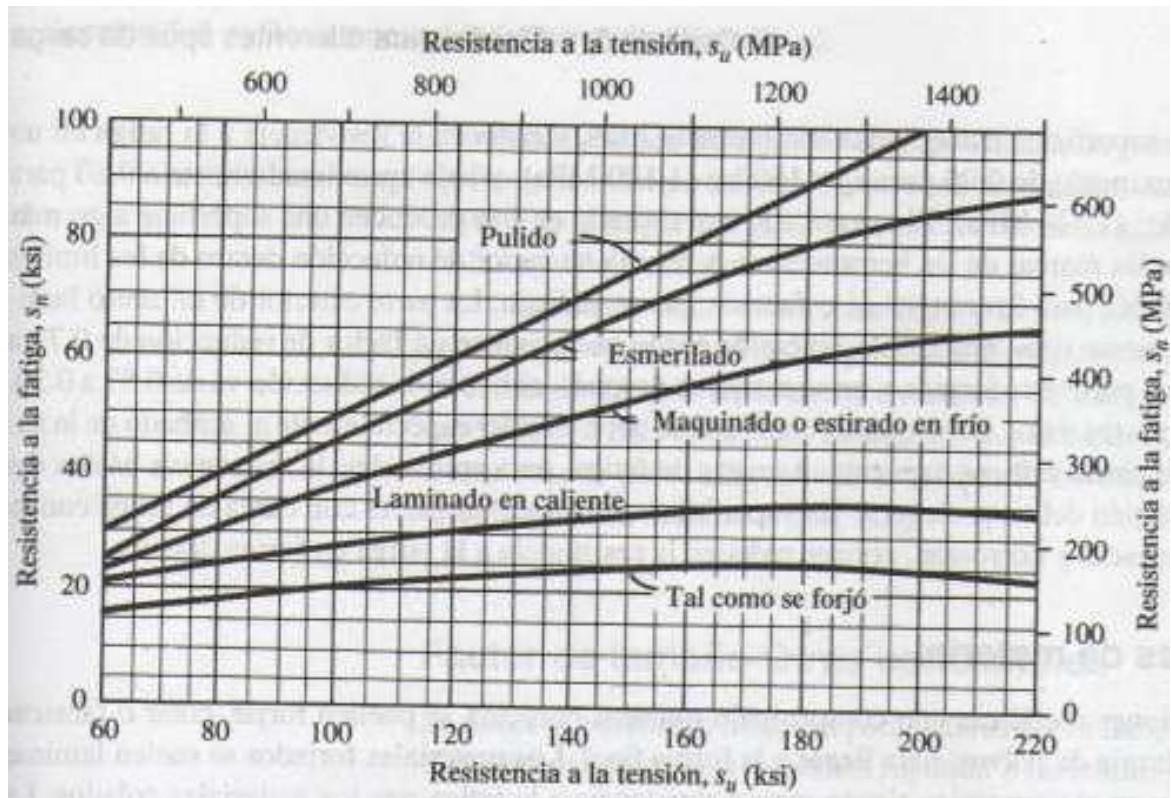
Tabla 12. Propiedades típicas de materiales usados en ingeniería.

Material	Densidad, kg/m ³	Resistencia última			Fluencia ³		Módulo de elasticidad, GPa	Módulo de rigidez, GPa	Coeficiente de expansión térmica, 10 ⁻⁶ /°C	Ductilidad, porcentaje de elongación en 50 mm
		Tensión, MPa	Compresión, MPa	Corriente, MPa	Tensión, MPa	Corriente, MPa				
Acero										
Estructural (ASTM-A36)	7 860	400			250	145	200	77.2	11.7	21
Alta resistencia-aleación baja										
ASTM-A709 Grado 345	7 860	450			345		200	77.2	11.7	21
ASTM-A913 Grado 450	7 860	550			450		200	77.2	11.7	17
ASTM-A992 Grado 345	7 860	450			345		200	77.2	11.7	21
Templado										
ASTM-A709 Grado 690	7 860	760			690		200	77.2	11.7	18
inoxidable, AISI 302										
Laminado en frío	7 920	860			520		190	75	17.3	12
Recocido	7 920	655			260	150	190	75	17.3	50
Acero de refuerzo										
Resistencia media	7 860	480			275		200	77	11.7	
Alta resistencia	7 860	620			415		200	77	11.7	
Fundición										
Fundición gris										
4.5% C, ASTM A-48	7 200	170	655	240			69	28	12.1	0.5
Hierro fundido										
2% C, 1% Si, ASTM A-47	7 300	345	620	330	230		165	65	12.1	10
Aluminio										
Aleación 1100-H14 (99% Al)	2 710	110		70	95	55	70	26	23.6	9
Aleación 2014-T6	2 800	455		275	400	230	75	27	23.0	13
Aleación 2024-T4	2 800	470		280	325		73		23.2	19
Aleación 5456-H116	2 630	315		185	230	130	72		23.9	16
Aleación 6061-T6	2 710	260		165	240	140	70	26	23.6	17
Aleación 7075-T6	2 800	570		330	500		72	28	23.6	11
Cobrec										
Libre de oxígeno (99.9% Cu)										
Recocido	8 910	220		150	70		120	44	16.9	45
Endurecido	8 910	390		200	265		120	44	16.9	4
Latón amarillo (65% Cu, 35% Zn)										
Laminado en frío	8 470	510		300	410	250	105	39	20.9	8
Recocido	8 470	320		220	100	60	105	39	20.9	65
Latón rojo (85% Cu, 15% Zn)										
Laminado en frío	8 740	585		320	435		120	44	18.7	3
Recocido	8 740	270		210	70		120	44	18.7	48
Estaño bronce (88 Cu, 8 Sn, 4 Zn)										
	8 800	310			145		95		18.0	30
Manganeso bronce (63 Cu, 25 Zn, 6 Al, 3 Mn, 3 Fe)										
	8 360	655			330		105		21.6	20
Aluminio bronce (81 Cu, 4 Ni, 4 Fe, 11 Al)										
	8 330	620	900		275		110	42	16.2	6

(BEER, JOHNSTON y DEWOLF; 2004, Pág. 747)

Anexo D. FACTORES QUE MODIFICA LA RESISTENCIA A LA FATIGA EN EL DISEÑO DE EJES

Figura 54. Resistencia a la fatiga S_n en función de la resistencia a la tensión, para acero forjado con varias condiciones de superficie.



(MOTT, 2006, Pág. 175)

Tabla 13. Factores de tamaño.

Unidades del Sistema Estadounidense Tradicional	
Rango de tamaño	Para D en pulgadas
$D \leq 0.30$	$C_S = 1.0$
$0.30 < D \leq 2.0$	$C_S = (D/0.3)^{-0.11}$
$2.0 < D < 10.0$	$C_S = 0.859 - 0.02125D$
Unidades SI	
Rango de tamaño	Para D en mm
$D \leq 7.62$	$C_S = 1.0$
$7.62 < D \leq 50$	$C_S = (D/7.62)^{-0.11}$
$50 < D < 250$	$C_S = 0.859 - 0.000837D$

(MOTT, 2006, Pág. 175)

Tabla 14. Factores de confiabilidad aproximados C_R .

Confiabilidad descada C_R	
0.50	1.0
0.90	0.90
0.99	0.81
0.999	0.75

(MOTT, 2006, Pág. 175)

Anexo E. COMPONENTES DEL SISTEMA MOTRIZ

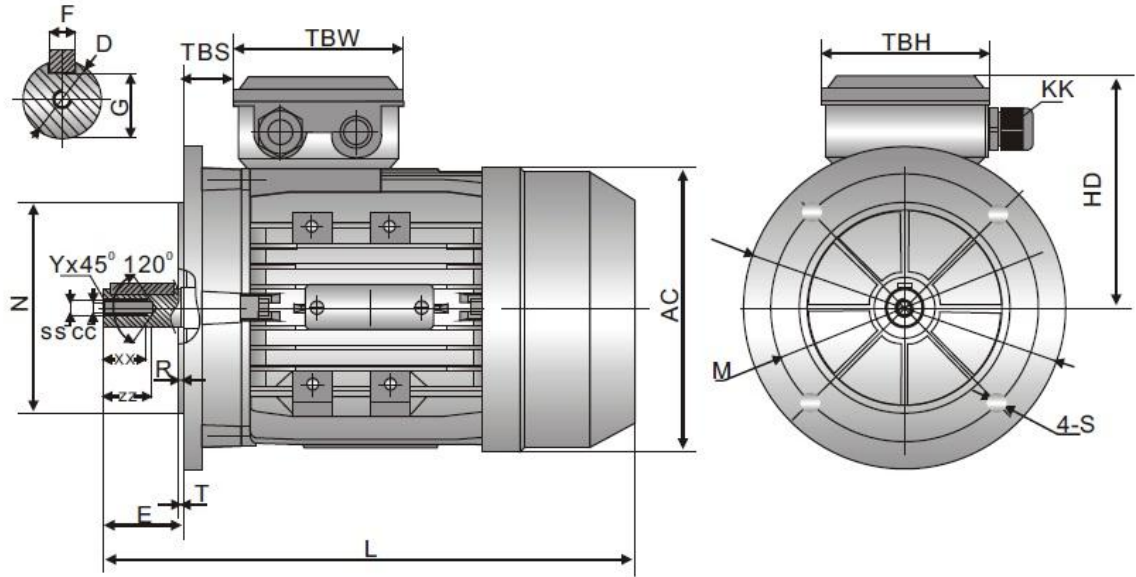
Tabla 15. Selección de motores.



Model	Power (kW)	Current (A)			Current (A)			Current (A)			Speed (r/min)	Eff. (%)	Power Factor	Tstart/Tn (Times)	Tmax/Tn (Times)	Tmax/Tn (Times)	Is/In (Times)	Noise dB(A)	W.t. (Kg)
		220V	380V	660V	230V	400V	690V	240V	415V	720V									
MS561-2	0.09	0.64	0.37	0.21	0.61	0.35	0.20	0.58	0.34	0.19	2670	57	0.65	2.2	2.4	1.6	6	58	2.8
MS562-2	0.12	0.74	0.43	0.25	0.70	0.40	0.23	0.67	0.39	0.22	2730	62	0.69	2.2	2.4	1.6	6	58	3.2
MS563-2	0.18	1.0	0.58	0.34	0.96	0.56	0.32	0.93	0.54	0.31	2750	65	0.72	2.2	2.4	1.6	6	59	3.5
MS631-2	0.18	1.00	0.58	0.33	0.95	0.55	0.32	0.92	0.53	0.31	2710	63	0.75	2.2	2.4	1.6	6	61	4
MS632-2	0.25	1.29	0.75	0.43	1.23	0.71	0.41	1.19	0.69	0.40	2710	65	0.78	2.2	2.4	1.6	6	61	4.4
MS633-2	0.37	1.92	1.11	0.64	1.82	1.05	0.61	1.76	1.02	0.59	2710	65	0.78	2.2	2.4	1.6	6	62	4.9
MS711-2	0.37	1.76	1.02	0.59	1.67	0.97	0.56	1.61	0.93	0.54	2730	70	0.79	2.2	2.4	1.6	6	64	5.6
MS712-2	0.55	2.57	1.49	0.86	2.45	1.42	0.82	2.36	1.36	0.79	2760	71	0.79	2.2	2.4	1.6	6	64	6.1
MS713-2	0.75	3.33	1.93	1.11	3.18	1.83	1.06	3.06	1.77	1.02	2730	72	0.82	2.2	2.4	1.5	6	65	7
MS801-2	0.75	3.21	1.86	1.07	3.06	1.77	1.02	2.94	1.70	0.98	2770	73	0.84	2.2	2.4	1.5	6	67	9.1
MS802-2	1.1	4.56	2.64	1.52	4.35	2.51	1.45	4.18	2.42	1.39	2770	76.2	0.83	2.2	2.4	1.5	6	67	10.2
MS803-2	1.5	6.04	3.50	2.01	5.87	3.32	1.92	5.54	3.20	1.85	2800	78.5	0.83	2.2	2.4	1.5	6	70	11.7
MS90S-2	1.5	5.97	3.46	1.99	5.76	3.28	1.90	5.47	3.16	1.82	2840	78.5	0.84	2.2	2.4	1.5	6	72	12
MS90L1-2	2.2	8.39	4.85	2.80	8.0	4.61	2.66	7.69	4.45	2.56	2840	81	0.85	2.2	2.4	1.4	6	72	15
MS90L2-2	3	11.08	6.42	3.69	10.56	6.10	3.52	10.16	5.88	3.39	2840	82.6	0.86	2.2	2.4	1.4	6	74	18.5
MS100L1-2	3	10.96	6.34	3.65	10.44	6.03	3.48	10.04	5.81	3.35	2840	82.6	0.87	2.2	2.3	1.4	7	76	22.3
MS100L2-2	4	14.33	8.30	4.78	13.65	7.88	4.55	13.14	7.60	4.38	2850	84.2	0.87	2.2	2.3	1.4	7.5	77	25.2
MS112M-2	4	14.33	8.30	4.78	13.65	7.88	4.55	13.14	7.60	4.38	2880	84.2	0.87	2.2	2.3	1.4	7.5	77	26.7
MS112L-2	5.5	19.14	11.08	6.38	18.23	10.53	6.08	17.54	10.15	5.85	2880	85.7	0.88	2.2	2.3	1.2	7.5	78	30.2
MS132S1-2	5.5	19.14	11.08	6.38	18.23	10.53	6.08	17.54	10.15	5.85	2900	85.7	0.88	2	2.2	1.2	7.5	80	38.5
MS132S2-2	7.5	25.71	14.88	8.57	24.49	14.14	8.16	23.57	13.63	7.86	2920	87	0.88	2	2.2	1.2	7.5	80	42.2
MS132M1-2	9.2	30.86	17.85	10.28	29.87	17.25	9.96	28.26	16.34	9.42	2930	88	0.89	2	2.2	1.2	7.5	81	51.4
MS132M2-2	11	36.28	21.01	12.09	34.57	19.96	11.52	33.26	19.23	11.09	2930	88.4	0.9	2	2.2	1.2	7.5	83	58.8
MS160M1-2	11	36.28	21.01	12.09	34.57	19.96	11.52	33.26	19.23	11.09	2940	88.4	0.9	2	2.2	1.2	7.5	86	75
MS160M2-2	15	48.39	28.01	16.13	46.09	26.61	15.36	44.35	25.62	14.78	2940	89.4	0.91	2	2.2	1.2	7.5	86	88
MS160L-2	18.5	59.28	34.32	19.76	56.47	32.6	18.82	54.34	31.43	18.11	2940	90	0.91	2	2.2	1.1	7.5	86	99

(@TECHTOP, 2010)

Figura 55. Dimensiones del motor.



B5 Overall & Installation Dimensions

160M/L	φ300	φ250	φ350	5.0	φ19	0									φ42	110	12	37	2-M32X1.5	φ320	230	640	652	705	795	64	143	146	M16	35	42	14.2	2
132M/L	φ265	φ230	φ300	4.0	φ15	0	φ215	φ180	φ250	4.0	φ15	0	φ38	80	10	33	2-M25X1.5	φ270	193	474/500	484/510	564/590	648/674	38	112	119	M12	28	34	10.2	1.5		
132S	φ265	φ230	φ300	4.0	φ15	0	φ215	φ180	φ250	4.0	φ15	0	φ38	80	10	33	2-M25X1.5	φ270	193	436	468	553	636	38	112	119	M12	28	34	10.2	1.5		
112	φ215	φ180	φ250	4.0	φ15	0	φ165	φ130	φ200	3.5	φ12	0	φ28	60	8	24	2-M25X1.5	φ230	180	395	410	483	455	32	112	119	M10	22	28	8.5	1.5		
100☆☆	φ215	φ180	φ250	4.0	φ15	0	φ165	φ130	φ200	3.5	φ12	0	φ28	60	8	24	1-M20X1.5	φ205	152	368(386)	392(410)	474	445	26	105	105	M10	22	28	8.5	1.5		
90L1/L2	φ165	φ130	φ200	3.5	φ12	0	φ130	φ110	φ160	3.5	φ12	0	φ24	50	8	20	1-M20X1.5	φ185	145	335/365	345/375	392	463	30	105	105	M8	20	25	6.8	1		
90S	φ165	φ130	φ200	3.5	φ12	0	φ130	φ110	φ160	3.5	φ12	0	φ24	50	8	20	1-M20X1.5	φ185	145	310	320	367	448	30	105	105	M8	20	25	6.8	1		
80	φ165	φ130	φ200	3.5	φ12	0	φ130	φ110	φ160	3.5	φ10	0	φ19	40	6	15.5	1-M20X1.5	φ165	137	290	300	353	390	27	105	105	M6	16	22	5	1		
71☆☆	φ130	φ110	φ160	3.5	φ10	0	φ115	φ95	φ140	3.0	φ10	0	φ14	30	5	11	1-M20X1.5	φ145	117/109	240(254)	252(267)	307	345	20/27	94/80	94/80	M5	12	18	4.2	0.8		
63	φ115	φ95	φ140	3.0	φ10	0							φ11	23	4	8.5	1-M16X1.5	φ130	110/102	215	232	265	283	14/21	94/80	94/80	M4	10	15	3.3	0.8		
56	φ100	φ80	φ120	3.0	φ7	0							φ9	20	3	7.2	1-M16X1.5	φ120	100/95	195				14/21	88/73	88/73	M3	8	12	2.5	0.5		
FRAME	M	N	P	T	S	R	M	N	P	T	S	R	D	E	F	G	KK	AC	HD	L	Lcc ^d	LccL ^d	Lca ^d	TBS	TBW	TBH	SS	XX	ZZ	CC	Y		
	B5						B5R																										

(@TECHTOP, 2010)

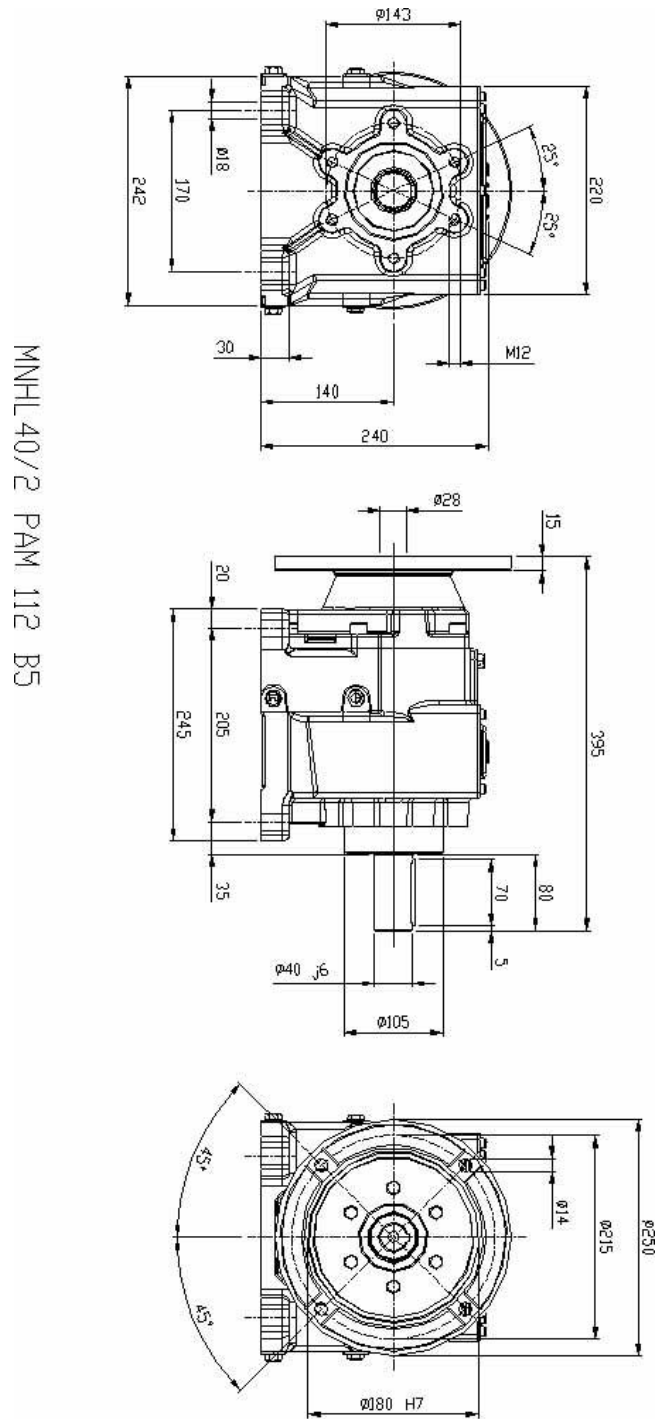
Tabla 16. Selección del motorreductor.

MNHL 40/2

n1 (min-1)	i	n2 (min-1)	M2 (N.m)	kW 1	HP1	RD	sf	P.A.M.						
2800	2,27	1233,5	83	11	15	0,97	1,25			100	112	132		
	3,17	883,3	115	11	15	0,97	1,25			100	112	132		
	3,78	740,7	138	11	15	0,97	1,25			100	112	132		
	4,53	618,1	165	11	15	0,97	1,09			100	112	132		
	5,06	553,4	184	11	15	0,97	1,43			100	112	132		
	5,96	469,8	217	11	15	0,97	1,37			100	112	132		
	7,04	397,7	256	11	15	0,97	1,32			100	112	132		
	8,38	334,1	305	11	15	0,97	1,21			100	112	132		
	10,06	278,3	366	11	15	0,97	1,02			100	112	132		
	11,45	244,5	417	11	15	0,97	0,99			100	112	132		
	13,14	213,1	478	11	15	0,97	0,88		90	100	112	132		
	15,22	184,0	378	7,5	10	0,97	1,11		90	100	112	132		
	17,85	156,9	325	5,5	8	0,97	1,29		90	100	112	132		
	21,30	131,5	388	5,5	8	0,97	1,08		90	100	112	132		
	23,45	119,4	427	5,5	8	0,97	1,05		90	100	112			
	29,05	96,4	384	4	6	0,97	1,17		90	100				
	32,78	85,4	434	4	6	0,97	1,04	80	90	100				
	37,96	73,8	377	3	4	0,97	1,19	80	90	100				
	42,21	66,3	419	3	4	0,97	1,07	80	90	100				
	47,40	59,1	470	3	4	0,97	0,96	80	90	100				
1400	2,27	616,7	138	9,2	12,5	0,97	1,00			100	112	132		
	3,17	441,6	193	9,2	12,5	0,97	1,00			100	112	132		
	3,78	370,4	230	9,2	12,5	0,97	1,00			100	112	132		
	4,53	309,1	225	7,5	10	0,97	1,07			100	112	132		
	5,06	276,7	308	9,2	12,5	0,97	1,14			100	112	132		
	5,96	234,9	363	9,2	12,5	0,97	1,09			100	112	132		
	7,04	198,9	429	9,2	12,5	0,97	1,05			100	112	132		
	8,38	167,1	510	9,2	12,5	0,97	0,96			100	112	132		
	10,06	139,2	499	7,5	10	0,97	1,00			100	112	132		
	11,45	122,3	568	7,5	10	0,97	0,97			100	112	132		
	13,14	106,5	652	7,5	10	0,97	0,88		90	100	112	132		
	15,22	92,0	554	5,5	7,5	0,97	1,01		90	100	112	132		
	17,85	78,4	650	5,5	7,5	0,97	0,86		90	100	112	132		
	21,30	65,7	564	4	5,5	0,97	0,99		90	100	112	132		
	23,45	59,7	621	4	5,5	0,97	0,97		90	100	112			
	29,05	48,2	577	3	4	0,97	1,04		90	100				
	32,78	42,7	651	3	4	0,97	0,92	80	90	100				
	37,96	36,9	553	2,2	3	0,97	1,09	80	90	100				
	42,21	33,2	614	2,2	3	0,97	0,98	80	90	100				
	47,40	29,5	690	2,2	3	0,97	0,87	80	90	100				
900	2,27	396,5	129	5,5	7,5	0,97	1,18			100	112	132		
	3,17	283,9	179	5,5	7,5	0,97	1,18			100	112	132		
	3,78	238,1	214	5,5	7,5	0,97	1,18			100	112	132		
	4,53	198,7	256	5,5	7,5	0,97	1,03			100	112	132		
	5,06	177,9	286	5,5	7,5	0,97	1,34			100	112	132		
	5,96	151,0	337	5,5	7,5	0,97	1,29			100	112	132		
	7,04	127,8	399	5,5	7,5	0,97	1,24			100	112	132		
	8,38	107,4	474	5,5	7,5	0,97	1,14			100	112	132		
	10,06	89,5	414	4	5,5	0,97	1,33			100	112	132		
	11,45	78,6	471	4	5,5	0,97	1,28			100	112	132		
	13,14	68,5	541	4	5,5	0,97	1,14		90	100	112	132		
	15,22	59,1	470	3	4	0,97	1,31		90	100	112	132		
	17,85	50,4	551	3	4	0,97	1,12		90	100	112	132		
	21,30	42,3	658	3	4	0,97	0,94		90	100	112	132		
	23,45	38,4	531	2,2	3	0,97	1,24		90	100	112			
	29,05	31,0	658	2,2	3	0,97	1,00		90	100				
	32,78	27,5	742	2,2	3	0,97	0,89	80	90	100				
	37,96	23,7	703	1,8	2,5	0,97	0,94	80	90	100				
	42,21	21,3	782	1,8	2,5	0,97	0,84	80	90	100				
	47,40	19,0	732	1,5	2	0,97	0,90	80	90	100				

(@SITIRIDUCCI, 2010)


Figura 56. Dimensiones del reductor elegido.



(@SITIRIDUTTORI, 2010)

Tabla 17. Selección del variador de velocidad.

DIMENSIONS AND WEIGHTS



230V 1-Phase Input / 3-Phase Output

MODEL NO.	HP CT	DRIVE AMPS CT	DIMENSIONS (Inches)			APPROX. WT. (lbs.)
			HEIGHT	WIDTH	DEPTH	
*N3-2P5-CS	5	3.1	6.42	3.54	5.79	3
*N3-201-CS	1	4.5	6.42	3.54	5.79	3
*N3-202-CS	2	7.5	7.36	5.04	5.83	4
*N3-203-CS	3	10.5	7.36	5.04	5.83	5

230V 3-Phase Input / 3-Phase Output***

MODEL NO.	HP CT	DRIVE AMPS CT	DIMENSIONS (Inches)			APPROX. WT. (lbs.)
			HEIGHT	WIDTH	DEPTH	
*N3-2P5-C	5	3.1	6.42	3.54	5.79	3
*N3-201-C	1	4.5	6.42	3.54	5.79	3
*N3-202-C	2	7.5	6.42	3.54	5.79	3
*N3-203-C	3	10.5	7.36	5.04	5.83	4
*N3-205-C	5	17.5	7.36	5.04	5.83	5
*N3-207-C	7.5	26.0	10.24	7.32	7.68	13
*N3-210-C	10	35.0	10.24	7.32	7.68	13
*N3-215-N1	15	48.0	14.17	10.43	9.70	27
*N3-220-N1	20	64.0	14.17	10.43	9.70	27
N3-225-N1	25	80.0	14.17	10.43	9.70	29
**N3-230-N1	30	96.0	25.45	10.60	12.00	67
**N3-240-N1	40	130.0	25.45	10.60	12.00	67

460V 3-Phase Input / 3-Phase Output***

MODEL NO.	HP CT	DRIVE AMPS CT	DIMENSIONS (Inches)			APPROX. WT. (lbs.)
			HEIGHT	WIDTH	DEPTH	
*N3-401-C	1	2.3	6.42	3.54	5.79	3
*N3-402-C	2	3.8	6.42	3.54	5.79	3
*N3-403-C	3	5.2	7.36	5.04	5.83	4
*N3-405-C	5	8.8	7.36	5.04	5.83	4
*N3-407-C	7.5	13.0	10.24	7.32	7.68	13
*N3-410-C	10	17.5	10.24	7.32	7.68	13
*N3-415-C	15	25.0	10.24	7.32	7.68	13
*N3-420-N1	20	32.0	14.17	10.43	9.70	27
N3-425-N1	25	40.0	14.17	10.43	9.70	29
N3-430-N1	30	48.0	14.17	10.43	9.70	29
**N3-440-N1	40	64.0	25.45	10.60	12.00	67
**N3-450-N1	50	80.0	25.45	10.60	12.00	67
**N3-460-N1	60	96.0	29.39	12.13	15.20	102
**N3-475-N1	75	128.0	29.39	12.13	15.20	102


NOTE: Suffix CS = Chassis Unit 1-Phase
 C = Chassis Unit 3-Phase
 N1 = NEMA 1

All Chassis Units will Ship with NEMA 1 Boxes for Field Installation

- * Includes Dynamic Braking Transistor
- ** Includes DC Bus Link Reactor
- *** Do Not Apply Single Phase Input Power to these Models.

SPECIFICATIONS

Control Mode	Sensorless Vector and V/Hz
Input Voltage Rating	230V 1-Phase and 3-Phase; 460V 3-Phase
Input Voltage Tolerance	+10%, -15 Hz
Frequency Control Range	0 to 400 Hz
Speed Control Accuracy	+/- 0.5% (Sensorless Vector Mode)
Speed Commands	0 to 10VDC, 0 to 20mA, Pulse Input
Overload Capacity	150% Current of Drive Rating for 1 Minute
Braking	DC Injection Braking; Dynamic Braking (optional)
Protective Functions	Motor and Inverter Overload, Overvoltage, Overheating, Peak Overcurrent
Programmable I/O	7 Digital inputs (NPN or PNP), 2 Relay Outputs
Ambient Temperature	-10°C to +50°C, (14°F to 122°F)
Enclosure	IP20 Protective Chassis/NEMA 1



(@TECOWESTINGHOUSE, 2010)

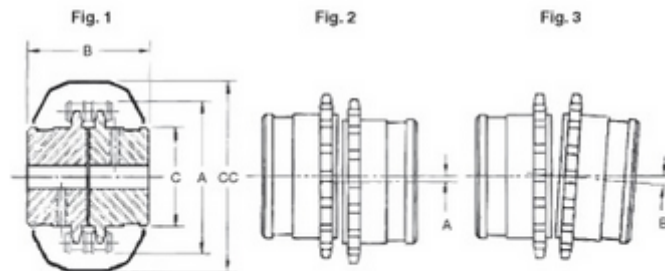
Figura 57. Acople flexible.

Los Acoples flexibles Intermeo® tipo de cadena constan de dos piñones con dientes endurecidos y tallados especialmente para permitir buen desalineamiento angular y paralelo. Una cadena estándar doble, también endurecida, sirve de elemento de unión convirtiéndolo en un acople ideal para transmitir alto torque a medias y bajas velocidades. Provistos de la carcasa oleoactuante, trabajan en baño de aceite haciéndolos muy resistentes y durables. Sus retenedores biflexibles de doble labio no permiten fugas.



Selección

En la mayoría de los casos basta seleccionar el tamaño de acople mas pequeño que admita los ejes a acoplar sin exceder los diámetros máximos especificados. Sin embargo, use el siguiente acople mas grande si la rotación es reversible, la fuente de potencia o carga son fluctuantes o hay exceso de desalineamiento.



¡Importante! Asegúrese de no exceder las RPM máximas de cada acople.

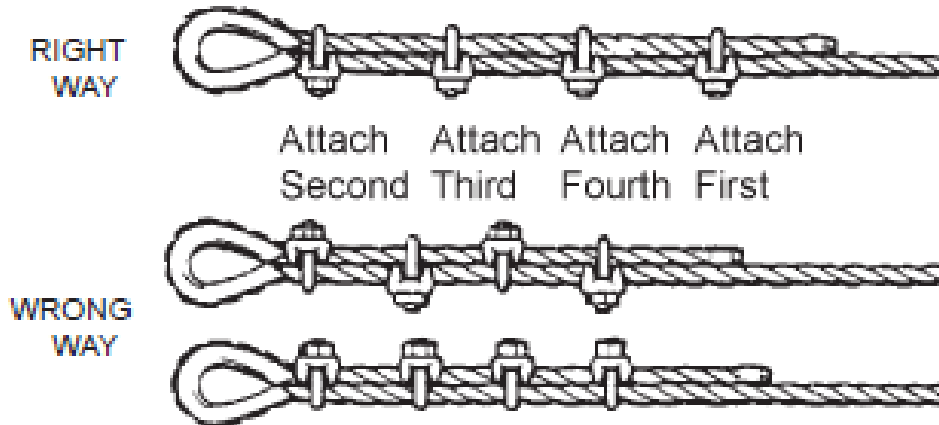
Referencia	Hueco máximo permisible mm	Dimensiones principales en milímetros Fig. 1				Desalineamiento máximo permisible - Figs. 2 y 3		R.P.M. Máximas sin carcasa	R.P.M. Máximas con carcasa oleoactuante
		A	Con carcasa C.C	B	C	Paralelo A mm	Angular B grados		
C35-18	31	63	73	56	43	0.20	1.5°	3600	4800
C40-18	41	84	95	70	59	0.27	2°	3375	4500
C50-16	44	95	121	85	63	0.30	2°	3150	4200
C60-18	62	127	154	106	86	0.35	2°	2250	3000
C60-22	82	151	178	133	113	0.35	2°	1950	2600
C80-18	85	168	197	133	114	0.40	2°	1650	2200
C80-22	95	202	225	133	137	0.40	2°	1425	1900
C100-20	114	232	257	187	160	0.65	2.5°	1275	1700
C120-20	130	275	320	224	184	0.80	3°	800	1200
C160-20	190	375	440	360	226	0.80	3°	600	1000

(@INTERMEC, 2010)

Anexo F. GENERALIDADES

Figura 58. Técnica adecuada para el uso de grilletes en cable.

Proper technique for using wire rope clips.
USE CABLE CLIPS ONLY IN THE EVENT OF AN EMERGENCY FIELD TEMPORARY REPAIR.



1. Turn back rope length specified in the chart. Apply first clip so U-bolt is no less than the saddle width from the dead end. Tighten nuts evenly and torque as specified.
2. Apply next clip as near loop as thimble will permit. Turn nuts on firm, but do not tighten.
3. Space additional clips as indicated so distance between clips is equal. Tighten all nuts evenly and torque as specified.
4. Apply the initial load and retighten all nuts to recommended torque. Inspect periodically and retighten as needed to the recommended torque.

CLIP SIZE (INCHES)	MINIMUM NUMBER OF CLIPS	AMOUNT OF ROPE TO TURN BACK IN INCHES	TORQUE IN FT.LBS.
3/8	2	6 1/2	45
7/16	2	7	65
1/2	3	11 1/2	65
9/16	3	12	95
5/8	3	12	95
3/4	4	18	130

(@RUSSELLTRUCK, 2010)