



# FACULTAD DE INGENIERÍA

CARRERA DE INGENIERÍA DE MINAS

“ESTUDIO DEL SISTEMA DE TRANSPORTE POR CABLE CARRIL Y SU OPTIMIZACIÓN EN LA CONCESIÓN JUANA, HUALGAYOC, CAJAMARCA” – OCTUBRE 2015.

Tesis para optar el título profesional de:

**Ingeniero de Minas**

**Autores:**

Bachiller: Julcapoma Vargas, Jenner Eivan

Bachiller: Raico Llamoga, José Manuel

**Asesor:**

Mg. Ing. José Alfredo Siveroni Morales

Cajamarca - Perú

2015

## **APROBACIÓN DE LA TESIS**

El (la) asesor(a) y los miembros del jurado evaluador asignados, aprueban la tesis desarrollada por los bachilleres Jenner Eivan Julcapoma Vargas y José Manuel Raico Llamoga, denominada:

**“ESTUDIO DEL SISTEMA DE TRANSPORTE POR CABLE  
CARRIL Y SU OPTIMIZACIÓN EN LA CONCESIÓN JUANA,  
HUALGAYOC, CAJAMARCA” – OCTUBRE 2015.**

---

Mg. Ing. José Alfredo Siveroni Marales  
ASESOR

---

Ing. Víctor Eduardo, Álvarez león,  
JURADO  
PRESIDENTE

---

Ing. Roberto Severino, Gonzales Yana  
JURADO

---

Ing. Miguel Ulises, Aquino Jave  
JURADO

## DEDICATORIA

A Dios por haberme permitido llegar hasta este punto y haberme dado salud para lograr mis objetivos, además de su infinita bondad y amor.

A mis padres y hermanos por su apoyo y estímulos permanentes para lograr plasmar y realizar este trabajo de investigación.

**Jenner**

A mis adorados padres, hija y esposa por ser mi razón de vivir, por su invaluable apoyo y comprensión y ser mi motivo de superación día a día y alcanzar mi éxito profesional.

**José**

## **AGRADECIMIENTO**

Al culminar nuestro trabajo de investigación sentimos la necesidad de expresar nuestro reconocimiento y gratitud a las personas que de manera desinteresada colaboraron con nosotros prestándonos su valioso apoyo y haciendo posible su realización.

En primer lugar queremos manifestar nuestra gratitud a nuestros queridos padres y hermanos por su incondicional apoyo moral e intelectual, del mismo modo el agradecimiento al Mg. Ing. José Alfredo Siveroni Morales por su asesoría en la presente investigación.

Un agradecimiento a todos mis profesores de la Universidad Privada del Norte por sus enseñanzas y experiencias compartidas durante el desarrollo de la malla curricular de la carrera de Ingeniería de Minas.

Los autores

## INDICE DE CONTENIDOS

<b>APROBACIÓN DE LA TESIS.....</b>	<b>ii</b>
<b>DEDICATORIA.....</b>	<b>iii</b>
<b>AGRADECIMIENTO.....</b>	<b>iv</b>
<b>ÍNDICE DE CONTENIDOS.....</b>	<b>v</b>
<b>ÍNDICE DE CUADROS.....</b>	<b>xi</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS.....</b>	<b>xii</b>
<b>RESUMEN.....</b>	<b>xiv</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>xv</b>
<b>CAPÍTULO 1. INTRODUCCION.....</b>	<b>16</b>
1.1. Realidad problemática.....	17
1.2. formulación del problema.....	18
1.3. justificación del problema.....	19
1.3.1. justificación teórica.....	19
1.3.2. justificación aplicativa o práctica.....	19
1.3.3. justificación valorativa.....	19
1.3.4. justificación académica.....	19
1.4. limitaciones.....	20
1.5. objetivos.....	20
1.5.1. objetivo general.....	20
1.5.2. Objetivos Específicos.....	20
<b>CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO.....</b>	<b>21</b>
2.1. Antecedentes.....	21
2.2. Bases teóricas.....	25
2.2.1. Sistema o Método de Transporte para Carguío y Acarreo.....	25
A. Características del sistema de transporte por cable carril.....	26
B. Ventajas del sistema de transporte por cable carril.....	27
2.2.2. Transporte por Cable Carril.....	27
A. Teleférico.....	27

2.2.3.	Componentes del sistema de transporte por cable aéreo.....	31
A.	Cable carril .....	31
B.	Cable tractor o motriz.....	31
C.	Elementos de apoyo.....	31
D.	Vehículos.....	31
E.	Anclaje.....	32
F.	Partes de un anclaje.....	32
2.3.	Diseño de cerramiento perimetral con tubo y malla galvanizada h.g. $\varnothing$ 2” h=2.50m.....	33
2.4.	Parámetros de diseño.....	34
2.4.1.	Luz y pendiente.....	34
2.4.2.	Tiempo aproximada de la jaula con carga.....	36
2.5.	Diseño del sistema de carga.....	37
2.5.1.	Diseño de la jaula.....	38
A.	Dimensionamiento y geometría de las jaulas.....	38
B.	Capacidad de carga de jaulas.....	40
C.	Determinación de las cargas de viento.....	41
2.6.	Diseño del sistema de tracción.....	42
2.6.1.	Cables de acero.....	42
A.	Alambre.....	43
B.	Alma o núcleo.....	44
C.	Clasificación de cables de acero.....	46
D.	Tipos de torcido de cables.....	49
E.	Preformado del cable de acero.....	50
F.	Factores de selección de cable de acero.....	51
G.	Factor de seguridad.....	55
2.6.2.	Cables sintéticos para sistema de tracción.....	57
A.	El polipropileno.....	57
B.	El poliéster.....	57
C.	El nylon.....	57
2.6.3.	Dimensión y selección de cables.....	58
A.	Cable carril .....	58

B.	Grupo de cables apropiados.....	58
C.	Torcido de los cables.....	59
D.	Fatiga y abrasión.....	59
E.	Resistencia a la corrosión .....	59
F.	Diámetro de Cable Carril.....	59
G.	Tensión o Contrapeso del Cable Carril.....	60
H.	Cable tractor o motriz .....	61
2.6.4.	Análisis estático del cable.....	61
A.	Cable con carga distribuida y apoyos a desnivel en cables parabólicos.....	63
B.	Cable con carga concentrada en el centro de la luz y apoyos a desnivel.....	65
C.	Cálculo de las tensiones estáticas con jaula con carga.....	67
2.7.	Diseño del sistema de soporte.....	71
2.7.1.	Estructura de la cimentación de soporte .....	71
A.	Diseño de zapatas.....	71
B.	Muros de soporte.....	72
C.	Muros de gravedad.....	72
D.	Muros en voladizo o ménsula.....	73
E.	Muros con contrafuerte.....	74
F.	Elección de un tipo determinado de zapatas y muro.....	74
G.	Calculo de la capacidad portante, esfuerzo normal de aplastamiento (esfuerzo de apoyo).....	76
H.	Análisis del peso de las estructuras.....	79
I.	Estructura de soporte.....	83
2.8.	Diseño de carrete.....	84
2.8.1.	Dimensionamiento de carrete.....	84
2.8.2.	Cálculo de rotación de carrete.....	85
A.	Cálculo del número de vueltas de carrete.....	85
B.	Cálculo de la frecuencia.....	86
C.	Cálculo del periodo.....	87

D. Calculo de la velocidad angular.....	87
E. Calculo de la velocidad lineal o tangencial.....	88
2.9. Diseño del sistema de freno.....	88
2.9.1. Freno de tambor.....	89
A. Tambor.....	89
B. Plato de freno.....	91
C. Forma y características de las zapatas.....	91
2.9.2. Componentes del sistema de freno.....	92
A. Pedal de freno.....	92
B. Bomba de freno.....	92
C. Canalizaciones.....	93
D. Bombines (frenos de expansión interna).....	93
E. Liquido de freno.....	94
2.10. Diseño actual de freno.....	94
2.10.1. freno pedal.....	94
2.10.2. freno de mano.....	95
2.11. definición de términos básicos.....	97
<b>CAPÍTULO 3.    HIPÓTESIS.....</b>	<b>99</b>
3.1. Formulación de la hipótesis.....	99
3.2. Variables.....	99
3.2.1. Variable independiente.....	99
3.2.2. Variable dependiente.....	99
3.3. Operacionalización de variables.....	99
<b>CAPÍTULO 4.    MATERIALES Y MÉTODOS.....</b>	<b>101</b>
4.1. Tipo de diseño de investigación.....	101
4.2. Material de estudio.....	101
4.2.1. Unidad de estudio.....	101
4.2.2. Población.....	101
4.2.3. Muestra.....	101
4.3. Métodos.....	101
4.3.1. De recolección de información.....	101



4.3.2. De análisis de información.....	102
4.3.3. Las técnicas utilizadas en el estudio.....	102
<b>CAPÍTULO 5. RESULTADOS.....</b>	<b>103</b>
5.1. Ubicación y accesibilidad.....	103
5.1.1. Ubicación.....	103
A. Ubicación política.....	103
B. Ubicación Geográfica.....	103
C. Accesibilidad.....	104
5.1.2. Historia del yacimiento y propiedad minera.....	104
5.1.3. Clima y vegetación.....	105
5.2. Fisiografía.....	105
5.3. Geología.....	105
5.3.1. Geología regional.....	106
5.3.2. Geología local.....	106
5.4. Estratigrafías.....	107
5.4.1. Grupo Gollayrisquizga.....	107
5.4.2. Formación Carhuaz.....	107
5.4.3. Formación Farrat.....	107
5.5. Geología estructural.....	107
5.6. Geología económica.....	108
5.7. Tectónicas.....	109
5.8. Canchas de carguío y descarga del carbón.....	109
5.9. Transporte de minado por cable carril.....	110
5.9.1. Recurso humano.....	110
5.9.2. Equipos y herramientas.....	110
5.9.3. Cálculo de producción actual.....	110
5.9.4. Cálculo de tiempo de traslado del mineral no metálico.....	113
5.9.5. Ciclo de traslado de transporte.....	113
5.9.6. Rentabilidad del nuevo diseño de transporte cable carril.....	114
5.10. Comparación de costos de mantenimiento del sistema operativo actual con el nuevo diseño.....	115

5.11. Vida útil del nuevo diseño.....	116
5.11.1. Durabilidad.....	116
<b>CAPÍTULO 6.    DISCUSIÓN.....</b>	<b>118</b>
CONCLUSIONES.....	119
RECOMENDACIONES.....	120
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	121
ANEXOS.....	123
ANEXO N° 1: FOTOGRAFÍAS.....	123
ANEXOS.....	128
ANEXO N° 2: DISEÑO Y PLANOS.....	128

## ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro N° 1 Coordenadas de las estaciones de carguío y descarga.....	35
Cuadro N° 2 Luces y Pendientes de cada tramo.....	36
Cuadro N° 3 Cualidades de los alambres de acero.....	43
Cuadro N° 4 Torcido del cable de acero.....	50
Cuadro N°5 Porcentajes de resistencia de reserva en cables de 6 u 8 torones.....	54
Cuadro N° 6 Resistencia a la ruptura de cables de acero.....	54
Cuadro N° 7 Factores de seguridad.....	56
Cuadro N° 8 Peso aproximado Resistencia a la ruptura de cable de nylon.....	58
Cuadro N° 9 Propiedades del cable seleccionado.....	70
Cuadro N° 10 Cuadro de ubicación concesión Juana.....	103
Cuadro N° 11 Coordenadas UTM de concesión Juana.....	104
Cuadro N° 12 Accesibilidad de accesos hacia la concesión Juana.....	104
Cuadro N° 13 Tonelaje de cada diseño.....	114
Cuadro N° 14 Costo del sistema actual.....	115
Cuadro N° 15. Costo del nuevo diseño.....	116

## ÍNDICE DE FIGURAS

Fig. N° 1 Transporte por cable carril.....	24
Fig. N° 2 Perfil muro de malla.....	34
Fig. N° 3 Perfil de la trayectoria.....	36
Fig. N° 4 Sistema de carga.....	37
Fig. N° 5 Vista perfil derecha de diseño de jaula.....	38
Fig. N° 6 Vista perfil izquierda de diseño de jaula.....	39
Fig. N° 7 Alzado de diseño de jaula.....	39
Fig. N° 8 Vista en planta del diseño de jaula.....	39
Fig. N° 9 Esquema de composición de un cable de acero.....	43
Fig. N° 10 Torón común de capa simple.....	46
Fig. N° 11 Torón warrington seale.....	47
Fig. N° 12 Torón filler.....	47
Fig. N° 13 Torón warrington.....	48
Fig. N° 14 Torón warrington seale.....	48
Fig. N° 15 Cable de acero 6x19.....	49
Fig. N° 16 Torcido Herringbone.....	50
Fig. N° 17 Influencia de cantidades de alambres en la resistencia a la fatiga de flexión.....	52
Fig. N° 18 Esquema de un cable desgastado debido a la abrasión.....	52
Fig. N° 19 Influencia de cantidades y diámetro de los alambres en la resistencia a la abrasión.....	53
Fig. N° 20 Forma correcta de medir el diámetro del cable.....	60
Fig. N° 21 Esquema de catenaria.....	62
Fig. N° 22 Esquema de flecha máxima.....	62
Fig. N° 23 Esquema de análisis estático del cable sin carga.....	63
Fig. N° 24 Esquema de análisis estático del cable con carga tensión horizontal del cable.....	65

Fig. N° 25 Dimensiones según la norma E.060.....	73
Fig. N° 26 Dimensiones según la norma E.060.....	73
Fig. N° 27 Dimensiones según la norma E.060.....	74
Fig. N° 28 Vista de perfil del diseño del sistema de soporte.....	75
Fig. N° 29 Vista en planta del diseño del sistema de soporte.....	75
Fig. N° 30 Diseño de cimentación de zapata y muro.....	76
Fig. N° 31 Detalle de anclaje del cable en el bloque de hormigón.....	84
Fig. N° 32 Diseño de carretel.....	84
Fig. N° 33 Vista perfil de carrete.....	85
Fig. N° 34 Vista perfil de placa de carrete.....	85
Fig. N° 35 Diseño de sistema de mando de freno.....	89
Fig. N° 36 (a) y (b) Vistas de tambor de freno.....	90
Fig. N° 37 Plato de freno.....	91
Fig. N° 38 Modelo de zapatas.....	92
Fig. N° 39 Cilindro principal o bomba de frenos.....	93
Fig. N° 40 Freno hidráulico.....	95
Fig. N° 41 Diseño freno de mano e hidráulico.....	95
Fig. N° 42 Diseño freno de mano.....	96
Fig. N° 43 Diseño completo de sistema de freno.....	96
Fig. N° 44 Esquema de funcionamiento por gravedad.....	114

## RESUMEN

En el presente trabajo de investigación, se presenta el estudio del sistema de transporte por cable carril y su optimización en la concesión Juana, dando como resultado muy favorable al área de transporte del mineral no metálico (carbón) como se muestra en el cálculo que la producción actual es de 5.94 Tn/h en comparación al nuevo diseño que llegara a 12.42 Tn/h.

Las referencias más importantes son tomadas con respecto a los teleféricos y jaulas transportadoras de personas, mercancías, minería, etc. como la mejicana, donde busca agilizar el transporte resultando sumamente beneficioso ya que los costos y tiempo reducen considerablemente favoreciendo a las zonas de poco acceso vehicular.

Este sistema de transporte por cable carril calcula el tiempo y producción buscando la rentabilidad tal como se señala en el Cuadro N.º 11 Tonelaje de cada diseño por lo que resulta el nuevo diseño rentable y optimo en el traslado de material explotado (carbón mineral), que comparado con la cantidad de carbón explotado con el diseño inicial la producción aumentaría en un 109.09% de la producción actual.

Para la vida útil del nuevo diseño se toma en cuenta la norma E. 060 de concreto armado donde indica que la vida útil es de 80 años pero dependiente como se realice el mantenimiento de la estructura además una de la formas para conseguir que la estructura alcance la duración de vida útil es elegir una forma estructural adecuada, evitando diseños que sean sensibles al contacto con el agua.

El objetivo es aprovechar el área geográfica para lograr la mayor cantidad de traslado del mineral carbón explotado, conservando el medio ambiente debido que se está eliminando todo tipo de motor.

La conclusión más importante es que se logra mayor producción reduciendo costos de operación que se emplean a la actualidad, además este tipo de diseño puede ser utilizado como complemento en otras minerías subterráneas que cuenten con este tipo de áreas geográficas.

## ABSTRACT

In this research, the study of the transport system by cable car and optimization in Juana award is presented, resulting in very favorable transport area nonmetallic mineral (coal) as shown in the calculation of the Current production is 5.94 tons / h compared to the new design it reached 12.42 tons / h.

The most important references are made with respect to the cable cars and kennels people, goods, mining, etc. as the Mexican, which seeks to speed up transport and be extremely beneficial as it reduces costs and time significantly favoring some vehicle access areas.

This transport system calculates the cable car production time and looking for profitability as outlined in Table # 11 tonnage each design making it the new cost effective and optimal design in removals from exploited equipment (coal) that compared with the amount of coal extracted with the initial design production increase by 109.09% of the current production.

For the life of the new design is taken into account norm 060 E. reinforced concrete which indicates that the service life is 80 years but dependent as the maintenance of the structure is made also one of the ways to make the structure scope the service life is to choose a suitable structural form, avoiding designs that are sensitive to contact with water.

The goal is to leverage the geographic area to achieve the greatest amount of ore mined coal transfer, preserving the environment because you are eliminating all types of motor.

The most important conclusion is that increased production was achieved by optimizing all the costs that are used to present, besides this type of design can be used as a complement to other mining operations that have this type of geographic areas.

## **CAPÍTULO 1.**

## **INTRODUCCIÓN**

El transporte por Cable Carril abarca todos los medios de transporte de carga, cuyo mecanismo de funcionamiento se basa en la utilización de un cable carril sobre el cual se desplaza una cabina de carga ya sea de mineral y otros, que permite enlazar rápidamente dos puntos distantes que son difíciles de conectar por vías terrestres. Si el transporte se realiza por vía terrestre remolcado por un cable se denomina transporte funicular.

La instalación de los transportadores aéreos consta básicamente de dos torres terminales las cuales sirven de soporte para el cable carril y este a su vez soporta la cabina de carga. Si la distancia entre estas torres es mayor a 1 Km exige La utilización de torres tensoras intermedias.

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

El movimiento es generado mediante la fuerza de una de las jaulas cuando se encuentra cargado y obtiene mayor peso entonces es ahí que las jaulas se jalarán unas a otras en ambos sentidos.



### 1.1. REALIDAD PROBLEMÁTICA.

El método de extracción de minerales no metálicos en los diferentes proyectos mineros de nuestro país en la actualidad está basado concretamente en el cuidado ambiental y las buenas relaciones sociales con las zonas de influencia, toda vez que con el mejoramiento del medio de transporte evitamos toda índole perjudicial.

En la actualidad dentro del área de producción de la “CONCESIÓN JUANA”, la topografía del área en donde se realizan las operaciones de extracción del mineral (carbón) es bastante accidentada, por lo que el ingreso de camión volquete es inaccesible, debido a la elevada pendiente geográfica.

Para ello en el presente trabajo de investigación nos centraremos en la etapa de carguío y acarreo del mineral (carbón), mediante el tipo de transporte “CABLE CARRIL”, el cual consta de dos bases de concreto armado fijadas en el terreno, un cable guía de material acero compuesto por un alma y seis burones, una jaula metálica soportadas por el cable guía mediante dos poleas, un cable motriz de nylon el cual sirve para el control del traslado de la jaula, un carrete de alojamiento para el cable motriz el cual está controlado por un sistema de frenos mecánico y motor de combustión interna con una potencia de 22.8HP a 7500rpm que genera tracción al carrete del cable motriz. Permitiendo transportar 500Kg de mineral desde la bocamina hasta las canchas de descarga, a donde acceden equipos de traslado como son camión volquete u otros equipos de carguío.

La importancia de la etapa de carguío y acarreo busca el mejoramiento con la presente investigación. Este es una etapa que indica el traslado del mineral de carbón desde el punto de carguío hasta las canchas de descarga, debido al uso de combustible y mantenimiento constante del motor, siendo los resultados una mayor duración del motor asegurando

una mejor potencia sin riesgo de generar paradas innecesarias en el transcurso del traslado del mineral.

El transporte como medio de producción es un proceso determinante para la viabilidad económica de los proyectos mineros subterráneos, demanda de costos elevados y significativos en todo el proceso de transporte de mineral no metálico. El ahorro de recursos financieros en las empresas mineras en el mencionado proceso es sumamente importante debido a que permiten la conservación del movimiento económico empresarial.

La necesidad de contar con el medio de transporte con características óptimas y renovadas en las empresas mineras, buscando el ingenio para la innovación del sistema de transporte se ha logrado implementar un nuevo medio de transporte, sustituyendo al uso de motor generador del movimiento de la jaula.

En el presente trabajo de investigación se estudia si el medio de transporte es óptimo en el proceso de carguío y acarreo en la concesión JUANA. En donde comparamos el medio de transporte que se viene utilizando a la actualidad con el nuevo método diseñado, en donde no utilizamos ningún medio generador de movimiento mecánico sino más bien implementare un nuevo sistema de traslado del mineral en donde encontraremos dos cables de tensiones en forma paralela a la proyección del movimiento de la jaula del Cable Carril a la cual incluye, una jaula transportadora de mineral de esta manera aprovechare la fuerza de la gravedad debido a la geografía del terreno.

## **1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.**

¿Cómo optimizar el costo y tiempo de traslado del mineral, en la concesión Juana para el año 2016?

### **1.3. JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA:**

#### **1.3.1. Justificación teórica**

Está investigación busca contribuir con la implementación y mejoramiento del transporte por cable carril, debido que se aprovecha la gravedad del área geográfica de la zona a explotarse el mineral no metálico.

#### **1.3.2 Justificación aplicativa o práctica**

La finalidad de esta investigación es buscar el fortalecimiento de la industria minera no metálica, en donde nos permitirá optimizar el proceso de transporte en la concesión “Juana”, logrando una producción con resultado muy rentable.

#### **1.3.3 Justificación valorativa**

El desarrollo de la presente investigación tiene por finalidad el considerable incremento de la producción en la concesión Juana extractora de mineral no metálico (carbón), con el transporte del mineral y su estudio técnico – económico que permita una buena toma de decisiones, que genere valor económico y la optimización en el transporte.

#### **1.3.4. Justificación académica**

La justificación académica de la investigación es lograr las expectativas de mejoramiento del diseño anteriormente empleado, para que con el nuevo diseño a implementar logre una máxima producción dentro del área de trabajo.

Además la finalidad del desarrollo, del presente trabajo de investigación es la obtención del título profesional que acredita a los autores como ingenieros de minas

#### **1.4. LIMITACIONES.**

El presente trabajo de investigación se basa en la aplicación del incremento de la Capacidad de traslado del mineral de carbón. La investigación se limita por los siguientes aspectos que a continuación se detallan:

- ✓ En la concesión minera “JUANA”, existe elevadas cantidades de extracción de mineral (carbón), pero el sistema de transporte actual no cubre las expectativas para transportar mayores cantidades del material acumulado, es por esta razón el estudio realizado servirá para incrementar el traslado del mineral explotado.

#### **1.5. OBJETIVOS**

##### **1.5.1. Objetivo General**

- Estudiar el sistema de transporte por Cable Carril para optimizarlo, en la concesión Minera Juana.

##### **1.5.2. Objetivos Específicos**

- Describir el sistema de transporte actual.
- Determinar las características del lugar.
- Calcular el costo actual.
- Proponer nuevos diseños de Cable Carril para el transporte del mineral (cables de acero, cable de nailon, poleas, jaulas)

## CAPÍTULO 2

## MARCO TEÓRICO

### 2.1. ANTECEDENTES.

El reto de la minería del futuro es continuar disminuyendo costes y consumo de insumos, así como mejorando rendimientos y productividad de todas las operaciones mineras en general y del sistema que se encuentra inmersos a carga-transporte extracción.

Según (Ingemmet, 1983) La explotación de las minas de carbón dentro de nuestro país es completamente artesanal, a excepción de la Cía. Black Hill Co (Gran Chimú – La Libertad). Por ello, las herramientas utilizadas en la explotación son el pico, lampa, carretilla, ocasionalmente vagones. Así mismo, en muchas de las mineras se utiliza el cable carril en el traslado del carbón, con vagones hasta media tonelada.

Por lo tanto, el cable carril ha sido, es y será un sistema de transporte fundamental para el traslado del mineral; siendo una de las obras de ingeniería más grandes del mundo en su tipo, es la construida en la minera La Mejicana a comienzos del siglo XX, por su tecnología y su obra en sí. Las bondades del Famatina (en lengua aborígen: madre productora de metales) ya eran conocidas por los antiguos aborígenes de la zona, los diaguitas; y posteriormente por los incas. A partir de la llegada de los españoles, se le dio un impulso rudimentario a la minería.

La construcción de la línea férrea de Cruz del Eje a Chilecito, en el año 1899, puso en contacto directo a este último punto con los puertos fluviales. Esta obra fue motivo de nuevas esperanzas acerca de la explotación de la inmensa riqueza que alberga. Pero esta construcción ferroviaria no había resuelto el problema de la distancia que media entre sus yacimientos mineros y Chilecito; como así también el de altura, representada en este caso por una sucesión de sierras difíciles de franquear. Se llegó a la

conclusión que sólo un cable carril aéreo podría solucionar el problema del transporte del mineral.

En la mina “LA MEJICANA” La obra comienza en febrero de 1903 y se concluye en su primera parte el 29 de julio de 1904 en donde da la iniciativa el Dr. Joaquín V. González y construcción del Cable Carril, siendo la empresa Adolf Bleichert & Co. de Leipzig, Alemania, la adjudicataria, a 4.600 msnm en la Sierra del Famatina en la ciudad de chilecito establecida en 1904 está conformada por 9 estaciones.

La construcción del Cable Carril consiste en un sistema bi-cable registrado por Bleichert & Co. Su construcción y funcionamiento consiste en un cable de acero suspendidos mediante torres denominadas “de apoyo”, en algunos casos de más de 40 m de altura. Uno de los extremos del cable está anclado, mientras que del otro depende un contrapeso de hasta 2,000 kg para mantener su tensión. Sobre este cable denominado “cable portador” se encuentran suspendidas las vagonetas, mediante dos ruedas acanaladas.

Estas vagonetas llevan debajo de su apoyo una mordaza o quijada movable, la cual mediante un dispositivo especial, se abre o se cierra automáticamente. Debajo del cable portador, se encuentra colocado otro cable de acero de menor diámetro, “el cable tractor”, el que se extiende de una estación a otra y es accionado por un motor a vapor, a velocidad constante. En las estaciones las vagonetas descansan y corren sobre rieles fijos. Para ponerlas en movimiento se necesita un hombre llamado “largador” quien toma una vagoneta y la empuja hacia el lado de la salida de la estación, imprimiéndole paulatinamente una velocidad igual a la del cable tractor, que se encuentra en marcha permanente.

Simultánea y automáticamente, al efectuarse esto se abre la mordaza de la vagoneta al pasar por un aparato acoplador, que hace que entre el cable en la misma. Una vez ocurrido esto se cierra automáticamente,

prendiéndose firmemente del cable tractor, arrastrándose por consiguiente la vagoneta, hasta la estación próxima. Aquí se repite la misma operación pero a la inversa: “el receptor” ahora recibe la vagoneta, esta se libra automáticamente del cable tractor –siempre en marcha- y es llevada por el hombre al otro extremo de la estación, entregándola nuevamente al otro “largador” y así respectivamente.

Dado que las vagonetas que suben vacías deben regresar nuevamente cargadas, se dispuso la colocación de un segundo cable portador, a la misma altura y paralelo al primero. Debajo de ambos, se encuentra el cable tractor, el cual, en este caso, es un cable sin fin accionado por un solo motor; de manera que de un lado de las torres de apoyo, las vagonetas se trasladaban en sentido ascendente, mientras del otro lo efectúan en sentido descendente, permitiendo así un continuo movimiento de vagonetas, que se suceden a intervalos de 60 a 90 segundos, según la intensidad de la carga, o sea a una distancia de entre 120 y 180 m.

Cada vagoneta de minerales soporta una carga neta de 500 kg. Además de las vagonetas de transporte de minerales, se dispone de una serie de vagonetas especiales como se para transporte de agua, forrajes, maquinarias, correspondencias y también para el transporte de pasajeros.

El transporte de los cables de tracción fue el trabajo más difícil de toda la construcción. Los cables fuertes para vagones cargados de hasta 36 mm de diámetro pesan 7 Kg/m, pero tienen que ser fabricados en largos de 200/300 m, de modo que el peso total de estos cables estaría entre 2000 kg. Debido a esto hubo que decidirse a desenrollar los cables, que venían en grandes carretes y transportarlos con grupos especiales de portadores. De acuerdo al largo de los cables, se hacían grupos de 60 a 100 personas. A medida que las estaciones del carril estuvieron terminadas, se podían transportar por medio de vagonetas especiales que cargaban hasta 500 kg. Cada una sin cortar el cable por lo que el cable se estiraba en partes hasta llegar a la próxima vagoneta.

Las construcciones de hierro, hasta donde fue factible, fueron terminadas en Europa. Los sostenes y las estaciones fueron unidos antes con tornillos, luego dibujadas y divididas en partes pequeñas de 150 kg para no sobrepasarse en el peso para el transporte. En la mayoría de los casos, la construcción se efectuaba en el lugar mismo por medio de atornillado. Las torres más pequeñas, de 5 a 10 m fueron remachadas en el lugar y luego levantadas desde la base. En cambio, los grandes arzones de hasta 40 m de altura y un ancho de 8 a 10 m tenían que ser remachadas una vez que habían sido levantadas y de tal forma que las terminaban por piso, de modo tal que todo piso sirviera de base al siguiente. Las bases de las torres fueron construidas con cal y piedra.

Ahora bien, dado que las jaulas que suben vacías deben regresar nuevamente cargadas, debajo se encuentra el cable tractor, el cual en este caso es un cable ‘sin fin’, accionado por un solo motor, de manera que de un lado de las torres de apoyo las jaulas se trasladan en sentido descendente, permitiendo así un continuo movimiento de jaulas que suceden a intervalos de 60 a 90 segundos, según la intensidad de la carga, o sea una distancia de 120 a 180 m.



Fuente: Mina la mexicana, la Tambería del Inca

**Fig. N° 1: Transporte por cable carril**



## 2.2. BASES TEÓRICAS

### 2.2.1. Sistema o Método de Transporte para Carguío y Acarreo

El transporte por cable es un tipo de transporte originado en antiguas civilizaciones orientales (China, Japón e India) como también en civilizaciones sudamericanas; como los incas en nuestro país. Este tipo de transporte se utilizó y/o construyeron en lugares donde existían obstáculos para un tipo de transporte terrestre. La misma necesidad de transporte ha permitido el desarrollo de soluciones basadas en cuerdas y cables.

Con la aparición de los cables de acero en siglo XVI, se contribuyó al desarrollo de los transportes por cable, utilizados para equipar los pozos y para transportar materiales de las minas. Una de las más importantes obras de ingeniería dentro del transporte por Cable Carril, Alambre Carril o Aéreo Carril es el construido en la minera La Mejicana; usada para el transporte del mineral.

Según Orro, Novales y Rodríguez (2003) en su trabajo de investigación transporte por cable sostiene que:

*“El transporte por cable es un instrumento adecuado, en ocasiones el único para resolver determinadas necesidades de transporte. Se emplea principalmente para transporte de pequeñas distancias con desniveles excepcionales u orografía especialmente complicada, así como en algunas aplicaciones turísticas por el propio atractivo de este tipo de transporte por cable para mercancías”* (Orro, Novales y Rodríguez -2003)

El transporte aéreo por cable carril abarca todos los medios de transporte ya sea material y traslado del personal, cuyos mecanismos de funcionamiento se basan en la utilización de un cable carril sobre el cual se desplaza una cabina con carga, que

permite alcanzar rápidamente dos puntos lejanos que son inaccesibles de conectar por vías terrestres.

A este tipo de transporte se considera como un modo de transporte independiente; la importancia es muy limitada, tanto en lo relativo a su importancia económica como en lo que se refiere al total de tonelaje-kilómetros transportado. Del mismo modo, se encuentra en un proceso de renovación y evolución tecnológica rápida y constante.

Mediante este concepto, utilizaremos el cable carril en la concesión minera Juana. El propósito es transportar mineral de carbón de manera eficaz con una mayor producción. Se basa en principios físicos a través de cables y carriles aprovechando la geografía del terreno, cuyos efectos producen el deslizamiento del equipo por gravedad.

La eficiencia en transporte consiste en alcanzar una mayor producción al menor costo.

#### **A. Características del sistema de transporte por cable carril**

Es un medio de transporte aéreo de flujo continuo que el desplazamiento se hacen a través de rodillos sobre un cable de acero estático (riel) por acción de un cable tractor que permanentemente entre poleas extremas situadas en las estaciones y que giran por medio de un motor eléctrico que transmite movimiento a la polea motriz circulando por una vía los baldes cargados y por la otra paralela los vacíos.

Este tipo de transporte fue desarrollado por el ingeniero T.W. CARRINGTON, para la Bullivant Co. Lida. A partir de entonces se hicieron algunos avances en el diseño y construcción, contando actualmente con cable carril Montacable y Bicable. Tienen amplia aceptación en las regiones montañosas, poco

accesibles para otro tipo de transporte, entre la mina y la planta de beneficio o puerto de embarque.

Datos estadísticos muestran el costo/ton comparados con sistemas de transporte con volquetes y por vía férrea.

## **B. Ventajas del sistema de transporte por cable carril**

- ✓ Puede salvar obstáculos en el terreno existentes en el terreno sobre el que se construye.
- ✓ Se encuentra suspendido a una altura sobre el nivel del terreno y no interfiere en el tráfico de carreteras, ni afecta a los terrenos cultivados.
- ✓ Puede seguir una línea recta, reduciendo distancias y tiempo de transporte.
- ✓ Son de larga vida con un relativo bajo costo de mantenimiento.
- ✓ Es adaptable a cualquier fenómeno climatológico.
- ✓ Su costo de operación es menor relativamente de acuerdo a las distancias de transporte.

### **2.2.2. Transporte por Cable Carril**

#### **A. Teleférico**

El transporte ha venido siendo uno de los factores más influyentes e importantes en el desarrollo de toda actividad económica a lo largo de la historia, en muchas ocasiones por la geografía del terreno utilizaron diferentes sistemas de transporte, tal es el caso de los teleféricos; en tal sentido Mejía (2011), diseño y construcción de un sistema de transporte de carga por medio de cables para topografía de gran pendiente, sostiene que:

*“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”. (Mejía, 2011)*

Del mismo modo, Ferdinand Beer (1996) en su investigación sobre el transporte a través de teleféricos indica lo siguiente:

*“El teleférico es un sistema de cabinas suspendidas de un cable fijo, las que se transportan por otro móvil, generalmente unido de circuito. Este transporte se usa en zonas con grandes diferencias de altura, donde el acceso por carretera o ferrocarril resulta difícil”. (Beer, 1996)*

#### **i) Teleférico de vaivén**

Para Mejía (2011) en su trabajo de investigación define al teleférico de vaivén como:

*“El teleférico de vaivén son grandes bicables y se conocen también como teleférico pasados o simplemente teleférico cuando se contraponen a telecabinas y telesillas. Son las instalaciones aéreas que permiten ser superiores a un Km. Pueden discurrir a gran altura sobre el suelo, permite altura ilimitada si disponen de cabina de evacuación”. (Mejía, 2011)*

Las cabinas para este tipo están en constante progresión, tanto en tamaño como en comodidad, seguridad, ética y aerodinámica. Otra interesante innovación, orientada específicamente a aumentar la espectacularidad del recorrido en viajes, es la cabina de suelo rotatorio. En estos momentos existen al menos dos instalaciones en el mundo, Table Mountain en Sudáfrica, construida por Garaventa en 1997,

con cabinas de 65 plazas y la primera instalada en Titlis (Suiza - 1992) con una cabina de 80 plazas, que a pesar de encontrarse en una estación de aquí está abierta todo el año para uso turístico.

## ii) Telecabina

Son instalaciones generalmente monocables, los cuales necesitan apoyos más próximos que los teleféricos de vaivén y deben mantener menores distancias al suelo; las telecabinas generalmente son de uso turístico.

## iii) Teleférico de grupo o telecabina pulsado

Es una instalación monocable, la cual consta de dos o cuatro grupos de cabinas. Una de las ventajas de este sistema de transporte es su aspecto atractivo; sin embargo, su mayor desventaja es que la capacidad depende de la longitud de la línea, lo que se podría disminuir con más grupos de cabinas; Lemus sostiene:

*“(...) Son instalación tipo monocables, con pinzas fijas y movimiento circulatorio pulsado puede resultar de gran interés para muchas aplicaciones turísticas. Consta de dos o cuatro grupos de cabinas se detienen en las estaciones para que los viajeros suban o se bajen. 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 puede implementar con un grupo de cabinas pero se detienen constantemente a los viajeros durante el trayecto (...)” (Lemus, 2012)*

#### **iv) Teleféricos monocables de doble anillo**

Su diseño consta de dos cables transportadores paralelos, formando una vía. La carga y tracción se realiza a través de un único cable o grupo de cables; por ello se le denomina monocable.

#### **v) Teleférico bicables**

Están constituidos por uno o más vehículos que corren sobre un cable llamado portante, por lo regular con un contrapeso en un extremo. Los vehículos están unidos entre sí por un cable reenviado sobre poleas en cada una de las instalaciones terminales.

En los bicables que tienen nada más que dos vehículos en línea, el anillo tractor, cuando no este formando por un solo tramo empalmado, resulta compuesto por dos tramos.

#### **vi) Teleférico tricable de movimiento continuo**

Sistema de transporte bicable, dado que tiene dos cables portadores o cable carril y un cable tractor. El teleférico tricable es la combinación de un teleférico con una telecabina; importante pasa superar grandes obstáculos y circula a velocidades elevadas, de hasta 8 m/s.

Mediante el teleférico es una de las salidas muy importantes para el transporte aéreo en lugares no accesibles para vehículos terrestres debido a los peligros en zonas muy elevadas en donde resulta difícil trasladarse por accesos en carretera, además al construirlo demandaría mucho tiempo e inversión, por lo que este proyecto de investigación optimizara el transporte de mineral en cable carril en la concesión Minera Juana realizando un mejoramiento con un nuevo diseño pero en base a los teleféricos, y de esta manera aprovecharemos

la gravedad del área geográfica, implementando un cable carril. Su finalidad es obtener una jaula más en la operación de transporte de mineral.

### **2.2.3. Componentes del sistema de transporte por cable aéreo**

#### **A. 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.

#### **B. Cable tractor o motriz**

Es un cable o un par de ellos, con una trayectoria paralela al cable carril, el cual trasmite el movimiento desde el sistema motriz hasta la jaula. En algunos casos pueden actuar también como cable carril.

#### **C. Elementos de apoyo**

Los elementos de apoyo son las torres o soportes; Según Novitsky (1966), su función es mantener el cable lo suficiente elevado del terreno. Se construye en madera, hormigón armado y estructura metálica.

#### **D. Vehículos**

Al mencionar el término vehículo, nos referimos a las jaulas de transporte de mineral (carbón). Los cuales se definen como

elementos móviles utilizados como depósitos para transportar el material de interés, pueden ser cargadas y descargadas automáticamente o manualmente.

### E. Anclaje

Constituye un medio esencial para garantizar la estabilidad de diversas estructuras. Pueden usarse en forma muy ventajosa en cualquier situación que se necesita su anda de la masa de suelo para soportar un determinado estado de esfuerzos o tensiones.

Los anclajes son tipos especiales de cimentación, diseñadas para resistir una fuerza de tensión lateral o hacia arriba transmitida al suelo.

- ✓ **Bloques de anclaje:** son semejantes a muros incrustados en el suelo; su capacidad está regida por la capacidad de soporte al empuje pasivo del suelo y/o peso del bloque.
- ✓ **Barras de anclaje:** tipo pilotes de fricción; sus capacidades están definidas por la fricción o esfuerzo cortante que se desarrolla a lo largo del cuerpo cilíndrico del hormigón en forma de anclaje.

### F. Partes de un anclaje

Según Armijos y Ramírez (2009) en su trabajo de investigación, “Diseño de un teleférico turístico”; mencionan las siguientes partes de un anclaje:

- ✓ **Cabeza de anclaje:** correspondiente a la zona de unión de la armadura a la placa de apoyo. La cual transmite el esfuerzo a la estructura.
- ✓ **Bulbo de anclaje:** es el material (cemento, mortero o resina) que recubre la armadura y se une con el terreno que lo rodea.



- ✓ **Lechada de cemento:** se emplea para evitar que con el tiempo se presente una tendencia de que el cono de expansión se deslice perdiendo efectividad progresivamente, como resultado del efecto de las vibraciones por voladura.
- ✓ **Zona de anclaje:** zona libre en la que el tirante puede alargarse bajo el efecto de la tracción. En esta el tirante se encuentra encerrado en una vaina que impide el contacto del terreno.
- ✓ **Zona libre:** es la parte en la cual la armadura metálica se encuentra separada o independiente del terreno que la rodea, lo cual permite deformarse con plena libertad del terreno que lo rodea, lo cual permite deformarse con plena libertad al ponerse en tensión.
- ✓ **Placa de apoyo:** suele situarse sobre un bloque de hormigón armado que transmite los esfuerzos a la superficie del terreno.
- ✓ **Sistema de abroche de armadura a la placa de apoyo:** está constituido por tuercas empleadas para barras roscadas.

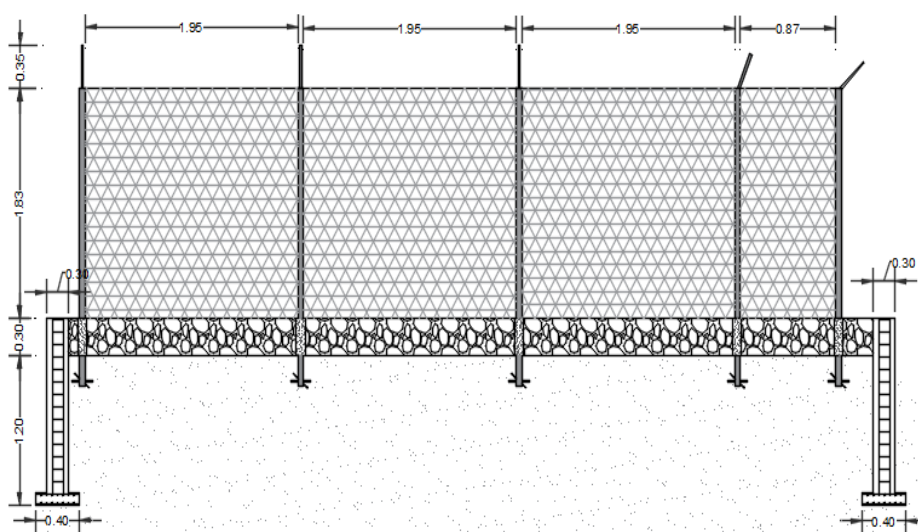
### 2.3. DISEÑO DE CERRAMIENTO PERIMETRAL CON TUBO Y MALLA GALVANIZADA H.G. Ø 2” H=2.50M

Se entiende por cerramiento de malla a la unión de tramos por medio de postes de tubo galvanizado de 2” y colocados cada 2 metros de luz con malla galvanizada de acuerdo a normas de arte especiales. Apoyada sobre un muro de hormigón ciclópeo: estas mallas son utilizados para cerramientos exteriores. Este cerramiento será construido en la alineación niveles y sitios mostrados en los planos.

Este trabajo comprende todas las actividades requeridas para la construcción y terminación de un cerramiento en malla galvanizada cal. 10

y ojo de 5 cm con una altura de 2.18 m, la cual debe cumplir con la Norma de 80 gramos de galvanizado/m<sup>2</sup>.

Tomando en cuenta la seguridad de nuestro personal en el área de carguío del mineral (carbón) y con el fin de evitar posibles accidentes en la concesión Juana, colocamos mallas de seguridad de una distancia 14 m lineales de perímetro de la plataforma del carguío, colocando 10 postes de tubo galvanizado tal como se muestra en el gráfico de la figura número 2 perfil de muro de malla.



**Fig. N° 2.** Perfil muro de malla

## 2.4. PARÁMETROS DE DISEÑO

### 2.4.1. Luz y pendiente

Según Armijos y Ramírez (2009) en su trabajo de investigación definen a luz como:

*“la distancia horizontal existente entre dos puntos del sistema teleférico; es decir, la distancia horizontal entre una estación o punto de apoyo entre dos soportes”.* (Armijos y Ramírez, 2009)

Para obtener las luces y pendientes reales es necesario determinar las coordenadas y alturas de cada estación como se muestra en la siguiente tabla.

**Cuadro N.º 1.** Coordenadas de las estaciones de carguío y descarga

PUNTO	COORDENADAS		ALTURA (m)
	X	Y	
SALIDA (E1)	781550.95	9271132.74	2180 m
SALIDA (E2)	781150.93	9271131.10	2180 m
LLEGADA (E3)	782038.83	9270929.35	2035 m
LLEGADA (E4)	782037.70	9270929.35	2035 m

Para la determinación de la luz y la pendiente para el tramo comprendido entre la estación (E1) y (E3).

$$d = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2} \quad [\text{Ec. 2.1}]$$

Donde:

- d : Luz del tramo
- $x_1$  : Coordenada x del punto 1
- $x_2$  : Coordenada x del punto 2
- $y_1$  : Coordenada y del punto 1
- $y_2$  : Coordenada y del punto 2

$$d = \sqrt{(782038.83 - 781550.95)^2 + (9270929.35 - 9271132.74)^2}$$

$$d = \sqrt{238026.8944 + 41367.4921}$$

$$d = \sqrt{279394.3865}$$

$$d = 528.58$$

Para la determinación de la pendiente se utiliza la siguiente ecuación:

$$m = \tan \emptyset = \frac{h_2 - h_1}{d} \quad [\text{Ec. 2.2}]$$

Donde:

- m: Pendiente del tramo
- $\emptyset$ : Ángulo de inclinación del tramo, en grados.
- $h_1$ : Altura del punto 1
- $h_2$ : Altura del punto 2

$$m = \tan \phi = \frac{2035-2180}{528.58}$$

$$m = \tan \phi = -0.27$$

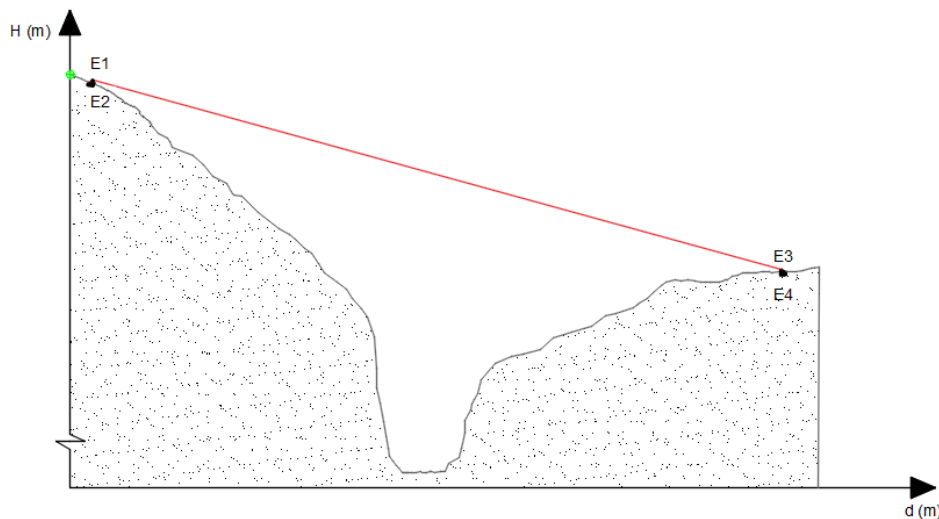
$$\phi = \text{arc. tan}-0.27$$

$$\phi = -15^{\circ} 20' 24.06''$$

Pendiente: 34.08%

**Cuadro N.º 2.** Luces y pendientes de cada tramo.

TRAMO	d (m)	M	$\phi$
E1 – E3	528.58	-0.27	$-15^{\circ} 20' 24.06''$
E2 – E4	527.55	-0.2748	$-15^{\circ} 21' 56.15''$



**Fig. N° 3.** Perfil de la trayectoria

#### 2.4.2. Tiempo aproximada de la jaula con carga

El tiempo es un parámetro esencial para el diseño de este tipo de transporte; con la cual, obtendremos la cantidad de mineral transportado en toneladas por cada unidad de tiempo. Utilizando principios fundamentales de la física sobre movimientos de cuerpos sobre superficies, calcularemos el tiempo de la trayectoria. Mediante la siguiente ecuación encontraremos del tiempo

$$d = v \cdot t$$

$$t = \frac{d}{v} \quad [\text{Ec. 2.3}]$$

Donde:

d: distancia entre soportes (E1 – E3) y (E2 – E4)

v: velocidad de jaula con carga

t: tiempo estimado de transporte (E1 – E3) y (E2 – E4)

El valor del tiempo obtenido es de 35 segundos; y la distancia entre ambos soportes (E1 – E3) es de 528.58 m.

$$t = \frac{528.58m}{15.1m/s} = 35s$$

$$t \approx 0.58 \text{ min}$$

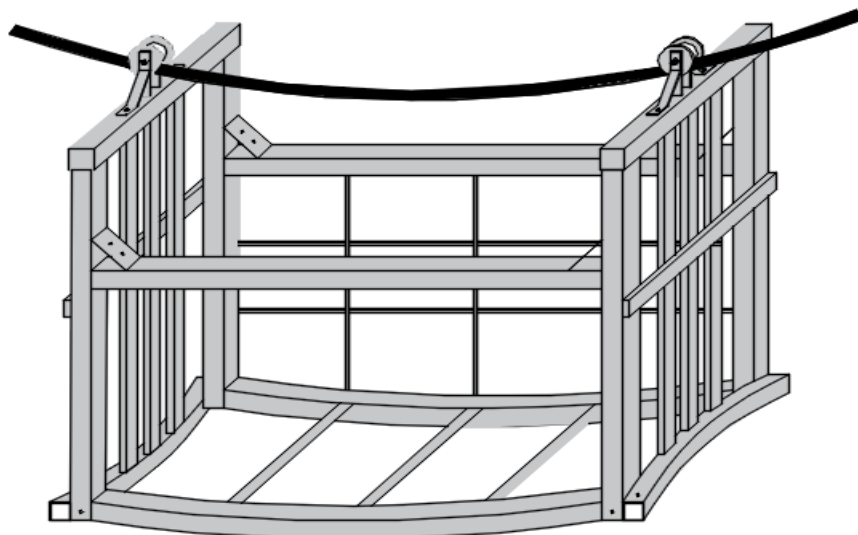
Cabe mencionar que el tiempo de carga del mineral hacia la jaula es de 2 min. Por lo que tomaremos al tiempo del transporte del mineral entre la estación de salida (área de carguío) y estación de llegada (área de descarga) como la sumatoria en ambos tiempos:

$$t \approx 2.58 \text{ min}$$

Mediante estos datos obtenidos podemos afirmar que durante una hora de funcionamiento se realizaran 23 recorridos transportando el mineral.

## 2.5. DISEÑO DEL SISTEMA DE CARGA

El sistema de carga es el que está conformado por las jaulas encargadas de transportar el material explotado en la concesión minera “Juana”



**Fig. N° 4** Sistema de carga

### 2.5.1. Diseño de la jaula

El diseño de la jaula se fundamenta principalmente en la capacidad de carga requerida para el sistema de transporte por cable carril.

#### A. Dimensionamiento y geometría de las jaulas

Se han planteado las siguientes dimensiones de las jaulas:

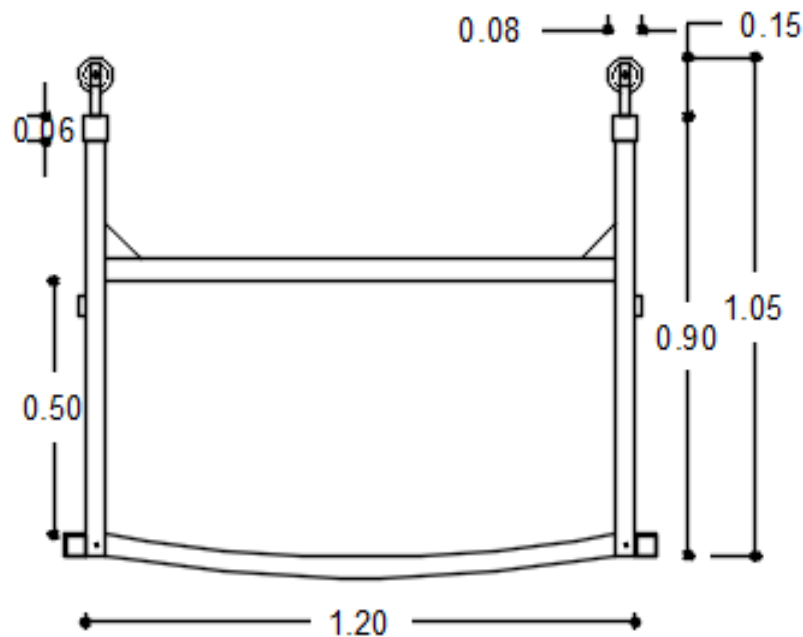
Largo: 1.20 m

Ancho: 0.60 m

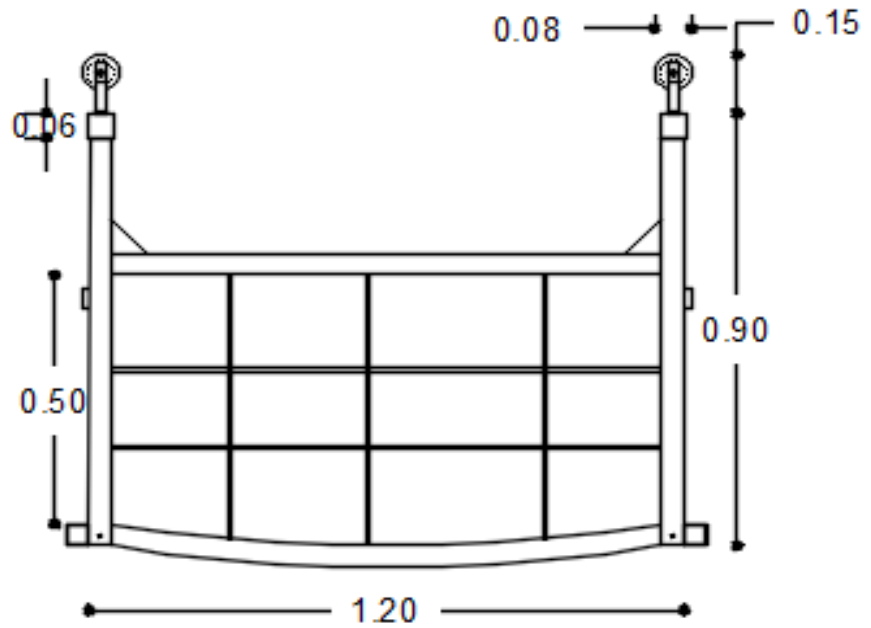
Altura total: 1.05 m

Altura de carga: 0.90 m

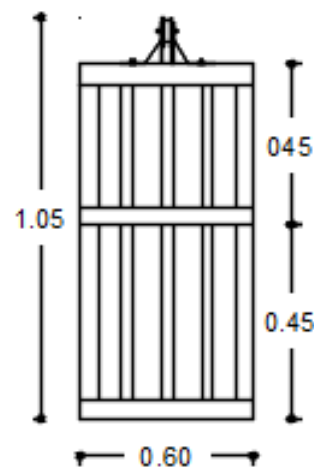
Luego de haber definido las dimensiones de la jaula, se diseña la estructura más adecuada que soporte las cargas que actúan sobre ellas. Con estos criterios de carga se diseña de la siguiente manera como se muestra en el cuadro N° 7.



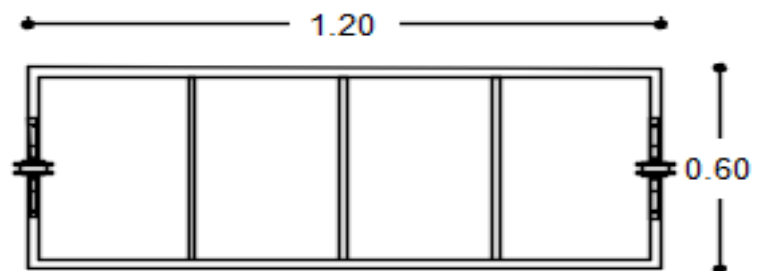
**Fig. N° 5.** Vista perfil derecha de diseño de jaula



**Fig. N° 6.** Vista perfil izquierda de diseño de jaula



**Fig. N° 7.** Alzado de diseño de jaula



**Fig. N° 8.** Vista en planta del diseño de jaula

## B. Capacidad de carga de jaulas

Según las dimensiones mostradas anteriormente, encontraremos la capacidad máxima de carga de mineral que soportará la jaula; mediante la siguiente ecuación:

$$V = L . A . H \quad [\text{Ec. 2.4}]$$

Donde:

V: Volumen de jaula, en  $m^3$

L: longitud mayor de jaula, en metros (m)

A: Ancho de jaula, en metros (m)

H: Altura de jaula, en metros (m)

El valor de la capacidad en  $m^3$  de la jaula será:

$$V = 1.20m \times 0.60m \times 0.50m = 0.360 m^3$$

Cabe mencionar que solo se está tomando en cuenta para la capacidad de la jaula solo hasta los 0.50 m de altura.

Al realizar el cálculo del volumen de jaula, convertimos dicha unidad a masa (kg) para conocer la cantidad máxima de mineral transportado en cada traslado entre estaciones; para ello utilizaremos la ecuación física de densidades:

$$m = V . \rho \quad [\text{Ec. 2.5}]$$

Donde:

$\rho$ : Densidad del carbón (mineral explotado), en  $kg/m^3$

m: Masa del carbón (mineral explotado), en kg

V: Volumen que ocupa el carbón (mineral explotado), en  $m^3$

Conociendo la capacidad máxima de jaula en  $m^3$ , encontrada con la Ec. 2.4, encontraremos el valor de masa de carbón transportado en cada recorrido entre estaciones, mediante la Ec. 2.5; mediante el cálculo de la densidad realizada con el mineral explotado (carbón mineral) en laboratorio UPN; logramos encontrar el valor de la densidad del carbón mineral que es de  $1.9 g/cm^3$  o  $1900 kg/m^3$ . Mediante este dato calcularemos la



capacidad máxima de la jaula en Kg mediante la siguiente ecuación:

$$\begin{aligned}m &= V \cdot \rho \\m &= 0.360 \times 1500 \\m &= 540 \text{ Kg}\end{aligned}$$

Por lo tanto la capacidad de cada jaula es de 540 Kg y el peso de cada jaula es de 200 Kg; es decir el peso total de carga sobre el cable es de 740 Kg. La cual es equivalente en peso a:

$$P = 740 \times 9.81 = 7259.4 \text{ N}$$

### C. Determinación de las cargas de viento

Para determinar las cargas de viento que actúan sobre la estructura de la jaula, se tomara como referencia el EMSD. Según este código, la presión de viento que actúa sobre las diferentes estructuras de transporte por cable aéreo, se debe calcular con la siguiente ecuación:

$$P_w = \frac{V_w^2}{16} \quad [\text{Ec. 2.6}]$$

Donde:

$P_w$ : Presión de viento, en  $\text{kg/m}^2$

$V_w$ : Velocidad del viento, en  $\text{m/s}$

En tanto que la fuerza que se genera sobre la estructura de la cabina debido a la presión del viento será:

$$F_w = P_w \cdot A \quad [\text{Ec. 2.7}]$$

Donde:

$F_w$ : Fuerza que genera el viento sobre la estructura de la jaula, en kg.

$V_w$ : Área de la jaula perpendicular a la dirección del viento, en  $m^2$

Cabe aclarar que la velocidad del viento a ser empleada debe ser máxima en la zona donde operara el sistema de transporte por cable carril; la velocidad máxima registrada en los últimos 5 años según el SENAMI es de 50 Km/h o 13.88 m/s.

$$P_w = \frac{13.88^2}{16} = 12.04 \frac{Kg}{m^2}$$

El área de la jaula con carga corresponde a un rectángulo de dimensiones 1.20m x 0.50m, se tiene que la fuerza de viento generada es:

$$F_w = 12. x 1.20 x 0.50$$

$$F_w = 7.22 Kg$$

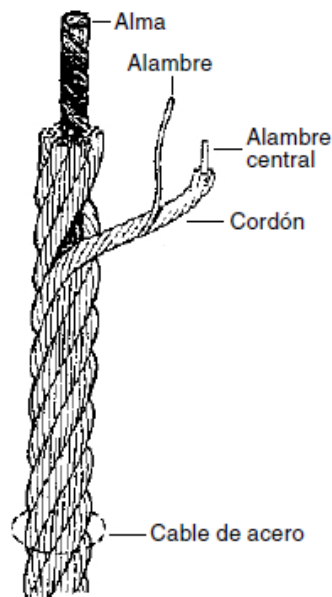
## 2.6. DISEÑO DEL SISTEMA DE TRACCIÓN

### 2.6.1. Cables de acero

Emcocable S.A. (2010) mediante un artículo publicado en su página web, define a cables como:

*“(...) Producto final que está formado por varios torones, que son enrollados helicoidalmente alrededor de un alma. Los cables 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 (...)” (Emcocable, 2010)*

Los componentes de un alambre de acero son:



Fuente: Emcocables (2010)

**Fig. N° 9:** Esquema de composición de un cable de acero

#### A. Alambre.

Son hilos metálicos que constituyen el elemento más simple de un cable. La resistencia de este así como su flexibilidad y tenacidad dependen del material y diámetro de los hilos, los alambres son de acero y su resistencia depende por el porcentaje de carbono.

**Cuadro N° 3.** Cualidades de los alambres de acero

Grados o calidades	Nombre común	Resistencia nominal a la tracción (Kgf/mm <sup>2</sup> )
Grado 1	Acero tracción	120 – 140
Grado 2	Arado suave	140 – 160
Grado 3	Arado	160 – 180
Grado 4	Arado mejorado	180 – 210
Grado 5	Arado extra mejorado	210 – 245
Grado 6	Siemens – Martin	Mínimo 70
Grado 7	Alta resistencia	Mínimo 100
Grado 8	Extra alta resistencia	Mínimo 135

Fuente: Prodinsa S.A. (2004)

## **B. Alma o núcleo**

Es el eje central de un cable, alrededor del cual van enrollados los torones, existe alma de acero, fibra natural o sintética. Los cables de alma metálica presentan mejores cargas a la rotura, soportan altas tensiones y pueden ser sometidas a grandes presiones laterales.

- i) **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.

Dentro de alma de fibra podemos encontrar las construidas de fibra natural y sintética:

- ii) **Alma de fibra natural.** Las fibras más utilizadas son “Sisal” y “Manila”, ya que son fibras largas, duras y poseen una aceptable resistencia a la descomposición (en ambientes húmedos y salinos). Los cables con alma de fibra natural son utilizados principalmente en ascensores debido a su capacidad para absorber o amortiguar las cargas de aceleraciones y frenado.

- iii) **Alma de fibra sintética.** La fibra más utilizada es el “Polipropileno” debido a la similitud de sus características físicas con la fibra natural, pero con mayor resistencia a la descomposición. La única desventaja que posee es que al ser

un material muy abrasivo entre sí, pierde consistencia al trabajar con mucha tensión en sistemas de poleas de diámetro reducido.

**iv) 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.

**v) Alma de acero de torón.** Esta formada por un solo torón, cuya construcción generalmente es la misma que los torones exteriores del cable. Principalmente, esta configuración corresponde a cables cuyo diámetro es inferior a 9.5 mm (3/8")

**vi) Alma de acero independiente.** Es un cable de acero en el núcleo o centro del cable y generalmente su construcción es de 7 torones con 7 alambres cada uno (7x7).

**vii) Alma de acero plastificada.** Su característica principal radica en eliminar el roce entre los alambres del alma con los alambres del torón del cable. Su uso principal está en los cables compactos.

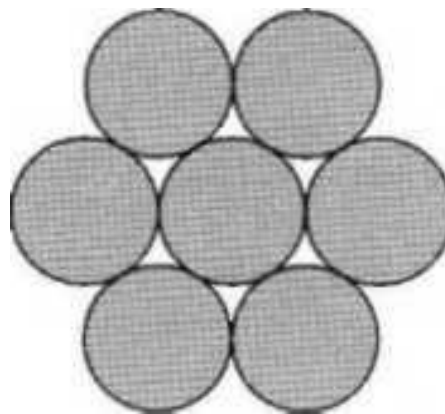
Es importante mencionar que, un cable de acero con alma de acero de torón o independiente, tiene una resistencia a la tracción y al aplastamiento superior a un cable con alma de fibra, pero tiene una menor elasticidad.

**viii) Torones.** Los torones están formados por varios alambres que se enrollan en forma de espiral alrededor de un hilo metálico que sirve como centro o corazón. A su vez los torones para formar el cable se trenzan alrededor de un centro o corazón que puede ser otro cable independiente o un corazón de sisal.

### C. Clasificación de cables de acero

Según Mejía (2011) en su trabajo de investigación clasifica según su diámetro, número de torones, número de alambres, tipo de alma y construcción:

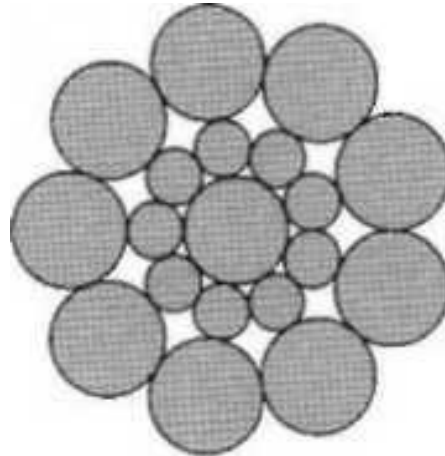
i) **Torón común de capa simple.** El ejemplo más común de construcción de capa simple es el torón de siete alambres. Tiene un alambre central y seis alambres del mismo diámetro que lo rodean.



Fuente: emcocable S.A. (2010)

**Fig. N° 10. Torón común de capa simple**

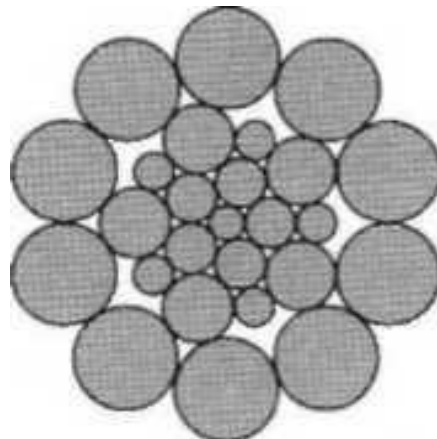
ii) **Torón seale.** Construcción que en la última capa tiene los alambres de mayor diámetro que la capa interior, dándole al Torón mayor resistencia a la abrasión.



Fuente: emcicable S.A. (2010)

**Fig. N° 11. Torón warrington seale**

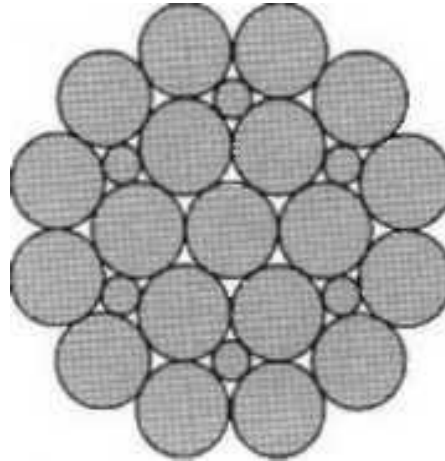
iii) **Torón filler.** Se distingue por tener entre dos capas de alambres, otros hilos más finos que rellenan los espacios existentes entre las mismas. Este tipo de torón se utiliza cuando se requieren cables de mayor sección metálica y con buena resistencia al aplastamiento.



Fuente: emcicable S.A. (2010)

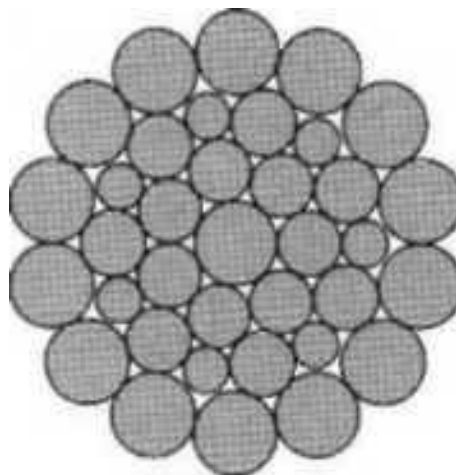
**Fig. N° 12. Torón filler**

iv) **Torón warrington.** Se caracteriza por tener una capa exterior formada por alambres de dos diámetros diferentes, alternando su posición dentro de la corona.



Fuente: emcocable S.A. (2010)  
**Fig. N° 13. Torón warrington**

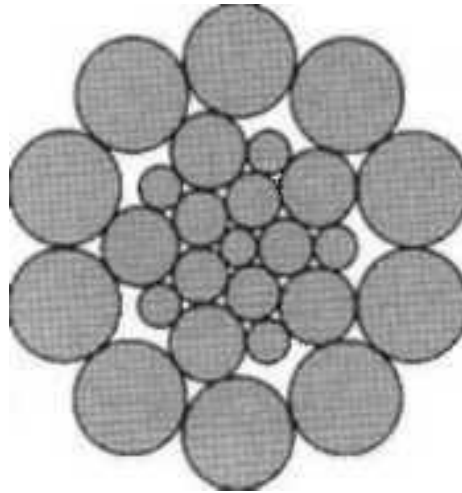
- v) **Torón warrington seale.** Es una combinación de las mencionadas anteriormente y conjuga las mejores características de ambas: la conjunción de alambres finos interiores aporta flexibilidad, mientras que la última capa de alambres relativamente gruesos, aportan resistencia a la abrasión.



Fuente: emcocable S.A. (2010)  
**Fig. N° 14. Torón warrington seale**

- vi) **Cable de acero 6x19.** Es un cable que combina la resistencia a la flexión y a la abrasión.





Fuente: emcocable S.A. (2010)

**Fig. N° 15. Cable de acero 6x19**

#### **D. Tipos de torcido de cables**

El torcido de cables se denomina a la forma en que los torones o trenzas están enrollados en el cable y por la manera como los alambres están enrollados en los torones.

Según el sentido de torcido de los torones sobre el alma o núcleo, el paso puede ser derecho o izquierdo.

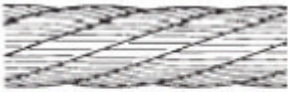



De acuerdo con el sentido de torcido de los alambres en los torones y de estos sobre el alma o núcleo, los cables pueden ser de dos tipos:

- ✓ **Torcido regular:** la posición de los torones es opuesta a la dirección de estos cables. Este tipo de configuración hace que el cable sea compacto, bien balanceado y con excelente estabilidad.
  
- ✓ **torcido Lang:** la posición de los alambres en los torones es igual a la dirección de sus torones en el cable. Tiene excelente resistencia a la fatiga y al desgaste por abrasión.

Existe además, aunque con escasas aplicaciones, el torcido alternado o Herringbone, donde en la fabricación del cable se

alterna entre torones con torcido Regular y Lang. También,  
pueden ser contruidos con torcido izquierdo o derecho.

**Cuadro N° 4.** Torcido del cable de acero

TORCIDO	
REGULAR	LANG
 IZQUIERDO	 IZQUIERDO
 DERECHO	 DERECHO



Fuente: Prodinsa S.A. (2004)  
**Fig. N° 16:** Torcido Herringbone

**E. Preformado del cable de acero.**

Según Gianni (2005) en su trabajo de investigación “Estudio de pre factibilidad técnica y económica del transporte por cable aéreo” sostiene que:

*“El preformado es un proceso de fabricación que ha introducido un progreso en la construcción de los cables de acero. El preformado significa que tanto los alambres*

*individuales como los torones poseen la forma helicoidal exacta antes de ser montados en el cable”. (Gianni, 2005)*

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

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

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

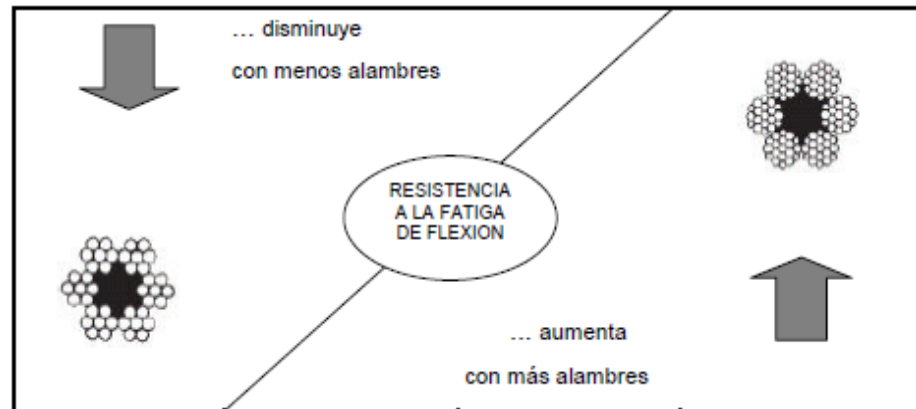
## **F. Factores de selección de cable de acero**

### **i) Fatiga**

Es un factor producido por efecto de doblar varias veces, dando como resultado la ruptura del mismo. Este tiene lugar siempre que un cable se doble alrededor de poleas, tambores o rodillos. Mientras menor sea el radio de curvatura mayor será la fatiga. Al igual que el aumento de velocidad produce mayor fatiga en los cables.

Según Díaz (2007), “elementos de diseño para cálculo de flexibilidad en tuberías y aplicación de compensadores de dilatación”; define a la fatiga:

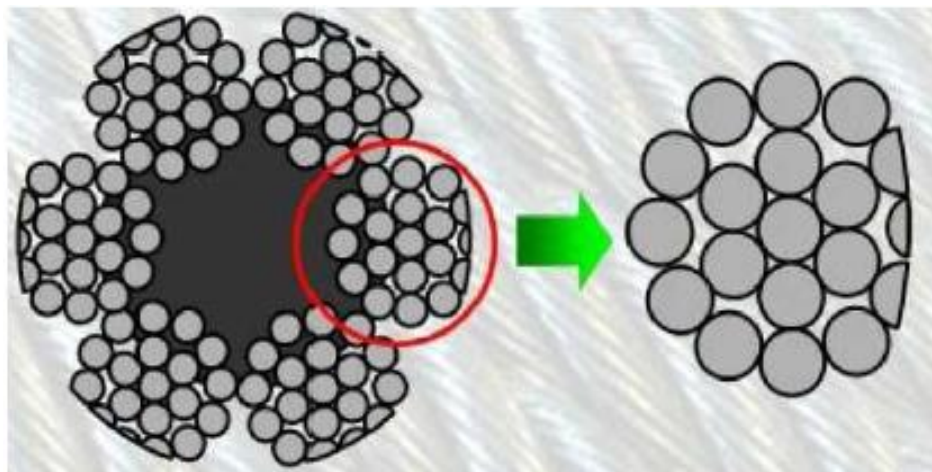
“(…) Es la razón proporcional entre una fuerza y su superficie de aplicación. Nos marcará los límites por encima de los cuales la única seguridad es que se romperá todo, así que atención también a estos límites (…)” (Díaz, 2007)



**Fig. N°. 17:** Influencia de cantidades de alambres en la resistencia a la fatiga de flexión.

## ii) Abrasión

Según Díaz (2007), factor más común y destructivo del cable de acero. Se produce siempre que el cable roza o sea arrastrado contra cualquier material; la cual, por esta acción se debilita y produce un desgaste en los alambres exteriores



**Fig. N°. 18:** Esquema de un cable desgastado debido a la abrasión.



**Fig. N°. 19:** Influencia de cantidades y diámetro de los alambres en la resistencia a la abrasión.

### iii) Aplastamiento

Es un factor causado por excesivas cargas generadas sobre un cable, también el uso de tambores lisos o con ranuras que no den el apoyo suficiente al cable. Los cables de torcido regular son más resistentes al aplastamiento que los de torcido lang.

### iv) Resistencia de reserva

Viene a ser la resistencia combinada de todos sus alambres, excepto aquellos de las capas exteriores de los torones.

Mientras mayor sea la cantidad de alambres mayor será la resistencia; ya que al disminuir el diámetro de los alambres exteriores, mayor sección metálica estará concentrada en las capas internas del torón.

La tabla siguiente indica el porcentaje de resistencia de reserva en cables de 6 u 8 torones.

**Cuadro N°. 5.** Porcentajes de resistencia de reserva en cables de 6 u 8 torones.

<b>Cantidad de alambres exteriores</b>	<b>Resistencia de reserva (%)</b>
6	18
8	27
9	32
10	36
12	43
14	49
16	54
18	58

Fuente: Emcocables S.A. (2010)

**Cuadro N°. 6.** Resistencia a la ruptura de cables de acero

<b>Diámetro</b>		<b>Peso aproximado</b>		<b>Resistencia a la ruptura</b>
<b>pulg</b>	<b>mm</b>	<b>Lb/ft</b>	<b>Kg/m</b>	<b>Tn</b>
3/4	19	0.95	1.41	26.7
7/8	22	1.29	1.92	36.1
1	26	1.68	2.5	46.9
1 1/8	29	2.13	3.17	59
1 1/4	31.8	2.48	3.7	72.5
1 3/8	35	2.18	4.73	87.1
1 1/2	38	3.78	5.63	103
1 5/8	42	4.49	6.61	120
1 3/4	45	5.15	7.66	139
1 7/8	47.6	5.91	8.8	158
2	50.8	6.72	10.0	180

Fuente: Camesa (2008)

#### **v) Corrosión**

Los cables generalmente están expuestos al aire libre; por lo que, están expuestos a la corrosión. Esta disminuye la sección metálica de los cables y al extenderse deteriora los alambres, con lo cual se reduce la resistencia, capacidad contra la abrasión, elasticidad y flexibilidad de los cables.

El galvanizado de los alambres proporciona mayor resistencia a la corrosión, pero disminuye las características metálicas del material, haciéndoles perder un 10% de su resistencia y un 15% de su flexibilidad.

#### **G. Factor de seguridad**

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

Es importante saber cuál es el factor de seguridad, sobre todo donde se ve involucrada la integridad física de personas, en estos casos es necesario aumentar este factor.

El Cuadro N°4, muestra el factor de seguridad que se debe considerar para los sistemas de transporte por cable aéreo, los cuales, pondremos en práctica para un transporte por cable carril en la concesión minera “Juana” en el traslado del material (carbón).

La sollicitación 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.

La ecuación para el factor de seguridad del cable es:

$$n = \frac{T_R}{T_{máx}} \quad [\text{Ec. 2.8}]$$

Donde:

$n$  : Coeficiente o factor de seguridad

$T_R$  : Carga de rotura mínima del cable seleccionado, en kg

$T_{máx}$  : Carga máxima que soporta el cable, en kg

En la siguiente tabla se presenta una guía general para la selección del correspondiente del factor de seguridad.

**Cuadro N.º 7.** Factores de seguridad

Aplicación	Factor
Cables fijos, cables de puente colgante	3-4
Cables carriles para transporte aéreo	3.5-5
Cables tractores para transporte aéreo	5-7
Cables de labor, elevación y grúas	5-9
Cables para instalaciones importantes	8-12
Cables transporte de personal	8-12
Cables para planos inclinados	5-8
Cables para pozos de extracción	8-12
Cables para ascensor	8-17
Cables no rotatorios, anti giratorios, etc.	10 (mínimo)
Cables para cabrestantes y trenajes	4-8

Fuente: Emcocables (2010)



### **2.6.2. Cables sintéticos para sistema de tracción**

SLIN PERÚ S.A.C. (2015) mediante un artículo publicado en su página web menciona a los diferentes tipos de cables de acuerdo a su construcción

#### **A. El polipropileno**

Tiene casi dos veces más la fuerza de la cuerda de Manila. Esta cuerda tiene flotabilidad positiva (flotadores) y no absorbe el agua, ni la putrefacción. Es resistente al ácido (álcali) y a la mayoría de los productos químicos. Cuando no se usa la cuerda, se debe almacenar lejos de los rayos solares directos.

#### **B. El poliéster**

Excede dos veces la fuerza de la cuerda de Manila, tiene un alargamiento más bajo, mayor fuerza, con resistencia excelente en su uso externo e interno comparada a todas las cuerdas de fibra sintética y vegetal. Recomendado para el uso en el aparejo, cuerda para carros, para levantar antenas y barcos de vela.

#### **C. El nylon**

Excede dos veces más la fuerza de la cuerda de Manila. Tiene alto alargamiento (bajo carga) comparada a otras cuerdas sintéticas. El nylon tiene absorción de alta calidad bajo choque y buena resistencia de la abrasión. Cuando están combinadas estas características hacen de la cuerda de nylon el mejor producto comparado a otras cuerdas sintéticas. Se utiliza extensivamente en uso marino, tal como amarre de línea remolcado, embarcaciones, pesca profesional, cuerda para uso general, Yates, etc.

**Cuadro N.º 8.** Peso aproximado Resistencia a la ruptura de cable de nylon

Diámetro		Peso aproximado		Resistencia a la ruptura	
Pulg	mm	Lb/ft	Kg/m	Lb	ton
¾	19	0.95	1.41	42,990	19.5
7/8	22	1.29	1.92	61,067	27.7
1	26	1.68	2.5	79,807	36.2
1 1/8	29	2.13	3.17	100,971	45.8
1 1/4	31.8	2.48	3.7	124,600	56.5
1 3/8	35	2.18	4.73	155,424	70.5
1 1/2	38	3.78	5.63	184,084	83.5
1 5/8	42	4.49	6.61	211,915	96
1 3/4	45	5.15	7.66	251,300	114
1 7/8	47.6	5.91	8.8	280,000	127.0
2	50.8	6.72	10.0	321,870	146.0

Fuente: camesa (2008)

### 2.6.3. Dimensión y selección de cables

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

#### A. Cable carril

Para la selección del tipo de cable carril más adecuado, se tomaran en cuenta los criterios de resistencia, factor de seguridad, fatiga, abrasión, etc.

#### B. Grupo de cables apropiados

Al aplicarse los factores de seguridad recomendadas para cables carriles es de (3 a 4) se requiere un cable de 1 3/8” del tipo 6x19 debido a que tiene un nivel de resistencia a la abrasión y aplastamiento, pero también suficiente flexibilidad para trabajar

en poleas o tambores que no tenga un diámetro muy reducido en relación al diámetro del cable.

### **C. Torcido de los cables**

En la selección del tipo de torcido del cable se seleccionara cables con torcido regular debido a que presenta las siguientes ventajas:

- ✓ Fáciles de manipular.
- ✓ Menos susceptibles a la deformación.
- ✓ Resistente al aplastamiento.
- ✓ Presenta menos tendencia a destorcerse al aplicarles cargas aunque no tengan fijos ambos extremos.

### **D. Fatiga y abrasión**

Analizando la Fig. 14, se puede apreciar que la construcción recomendada seria 6x19 con alma de acero. Esta construcción presenta una adecuada combinación de resistencia a la fatiga y a la abrasión.

### **E. Resistencia a la corrosión**

Se emplearan cables sin galvanizar; ya que, estos hacen disminuir la resistencia y la flexibilidad del mismo.

### **F. Diámetro de Cable Carril**

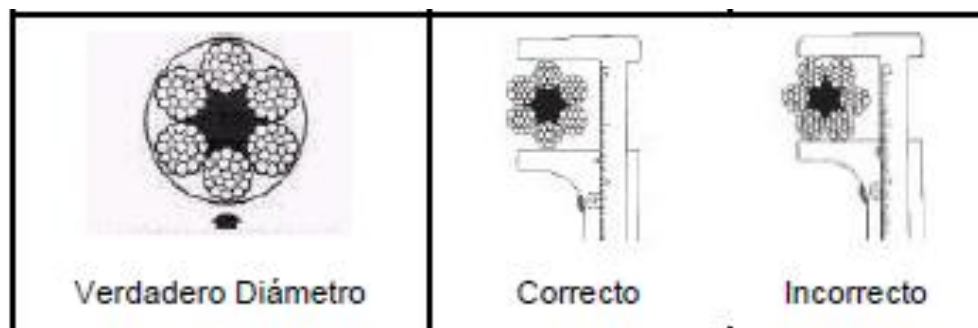
Se le considera diámetro de un cable a la circunferencia circunscrita a la sección del mismo, expresado en milímetros.

Cuando un cable nuevo entra en servicio, los esfuerzos que soporta producen una disminución del diámetro, acompañada de un aumento en su longitud, a causa del asentamiento de los distintos elementos que forman el cable.

Esta disminución de diámetro es mayor cuanto mayor es la proporción de fibra textil que lo forma.

El diámetro correcto del cable está dado por el círculo tangente a los torones en la sección transversal de los torones exteriores. Se mide sobre el resalte máximo de los torones, o sea, utilizando un calibrador entre los torones opuestos, tal como lo indica la Fig. N° 6. Se especifica en *mm* o en *pulgadas*.

El diámetro a utilizar como se mencionó anteriormente en la selección del cable carril es de 1 3/8” que equivale a 35 mm o 3.5 cm.



Fuente: Prodinsa S.A. (2004)

**Fig. N° 20.** Forma correcta de medir el diámetro del cable.

### G. Tensión o Contrapeso del Cable Carril

La relación entre la cargas por elemento de rodadura y la tensión mínima del cable en servicio: 1/80 (1/60 para gargantas revertidas). La relación entre las cargas totales del conjunto de rodillos de la jaula y la tensión mínima en servicio: 1/2.

El coeficiente resultante de dividir la carga por rueda, expresada en kilogramos por la sección del cable expresada en mm<sup>2</sup>.

## H. Cable tractor o 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 está sometido principalmente a esfuerzos de tracción y fatiga al ser envuelto en un tambor para subir el vehículo o desenrollar para bajar el vehículo (jaulas) por gravedad y retenida por el sistema de frenado.

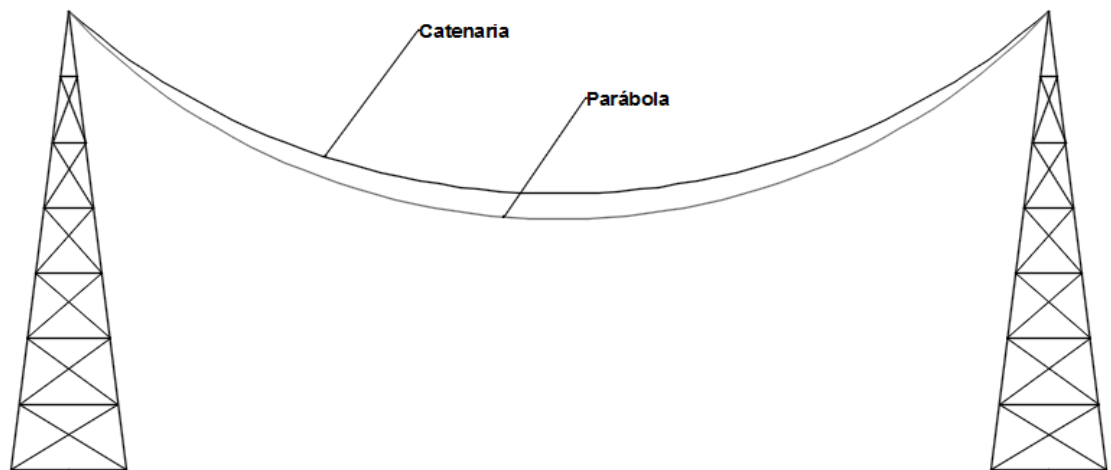
Para este sistema se empleara un cable de nylon de 1 5/8” de diámetro equivalente a 42 mm o 4.2cm.

### 2.6.4. Análisis estático del cable

El análisis se hace asumiendo las siguientes características de instalación:

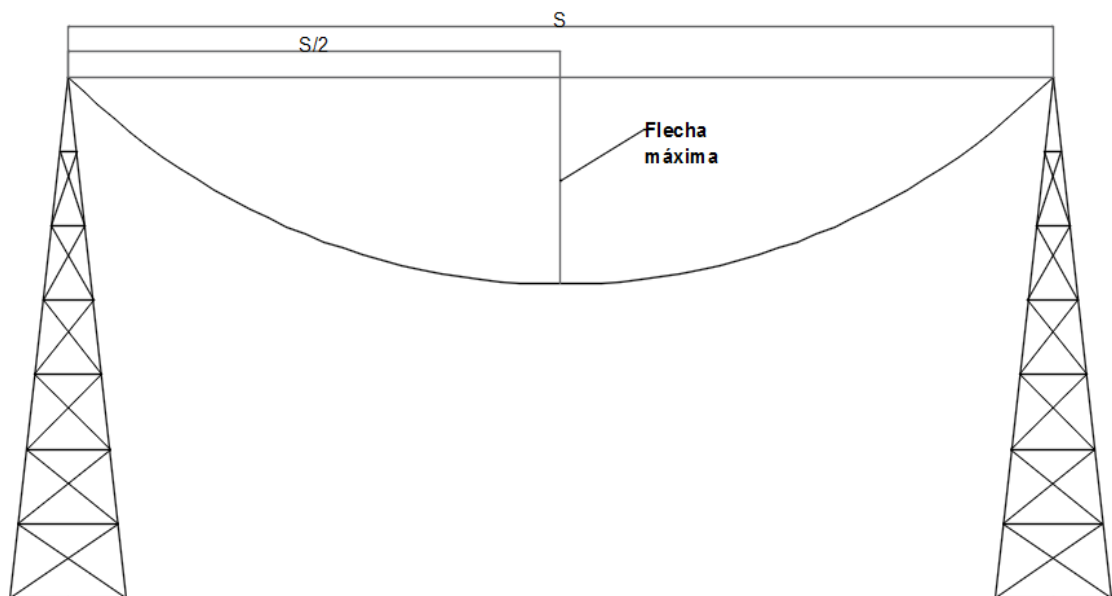
Flecha e inclinación del cable por un contrapeso en el extremo inferior.

- ✓ La carga se supone aplicada en el centro del tramo para calcular la flecha máxima.
- ✓ 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.



**Fig. N° 21.** Esquema de catenaria

La característica principal de la curva es que el punto medio se encuentra su mayor deflexión, denominada flecha máxima.



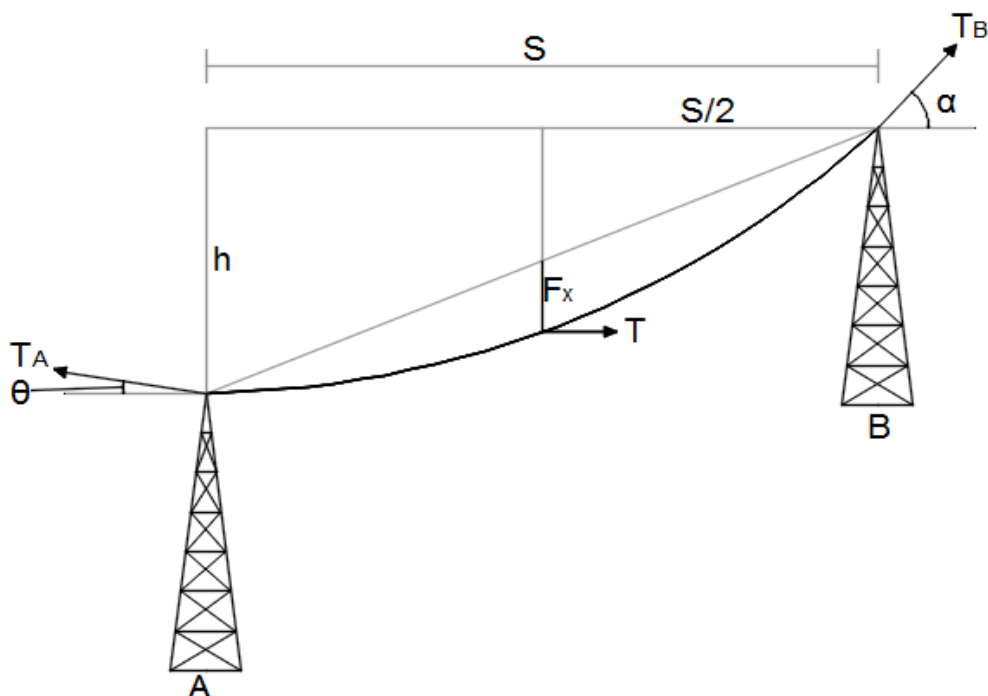
**Fig. N° 22.** Esquema de flecha máxima  
Según Ferdinand, Russell y Elliot (2007) sostiene que:

*“(…) los cables se utilizan en muchas aplicaciones de ingeniería como puentes colgantes, líneas de transmisión, teleféricos, contravientos para torres altas, etc. Los cables pueden dividirse en dos categorías de acuerdo con las cargas que actúan sobre*

ellos: Cables que soportan cargas distribuidas y cables que soportan cargas concentradas (...)” (Ferdinand, Russell y Elliot, 2007)

Los cables son elementos flexibles debido a sus dimensiones transversales pequeñas en relación con la longitud, por la cual su resistencia es solo atracción dirigida a lo largo del cable. La carga de tracción se divide por igual entre los hilos del cable permitiendo que cada hilo quede sometido a la misma tensión admisible.

#### A. Cable con carga distribuida y apoyos a desnivel en cables parabólicos



**Fig. N° 23.** Esquema de análisis estático del cable sin carga

Tensión horizontal del cable

$$T = \frac{WS^2}{8F_x} \quad [\text{Ec. 2.9}]$$

Tensiones en los apoyos

$$T_A = \frac{T}{\cos \theta} \quad [\text{Ec. 2.10}]$$

$$T_B = \frac{T}{\cos \alpha} \quad [\text{Ec. 2.11}]$$

Ángulos que forman las tensiones con el eje horizontal

$$\tan \theta = \frac{4F_X - h}{S} \quad [\text{Ec. 2.12}]$$

$$\tan \alpha = \frac{4F_X + h}{S} \quad [\text{Ec. 2.13}]$$

Despejamos “h” en Ec. 2.12

$$\tan \theta = \frac{4F_X - h}{S}$$

$$S \cdot \tan \theta = 4F_X - h$$

$$h = 4F_X - S \cdot \tan \theta \quad [\text{Ec. 2.14}]$$

Despejamos “h” en Ec. 2.13

$$\tan \alpha = \frac{4F_X + h}{S}$$

$$S \cdot \tan \alpha = 4F_X + h$$

$$h = S \cdot \tan \alpha - 4F_X \quad [\text{Ec. 2.15}]$$

Flecha máxima en el punto medio

Iguualamos Ec. 2.14 y 2.15

$$4F_X - S \cdot \tan \theta = S \cdot \tan \alpha - 4F_X$$

$$8F_X = S \cdot \tan \alpha + S \cdot \tan \theta$$

$$F_X = \frac{S \cdot \tan \alpha + S \cdot \tan \theta}{8}$$

$$F_{m\acute{a}x} = \frac{S[\tan \alpha + \tan \theta]}{8}$$

[Ec. 2.16]

Longitud del cable

$$L = \left[ 1 + \frac{8F_X^2}{3S^2} \right] \sqrt{S^2 + h^2} \quad [\text{Ec. 2.17}]$$

Carga distribuida en el cable

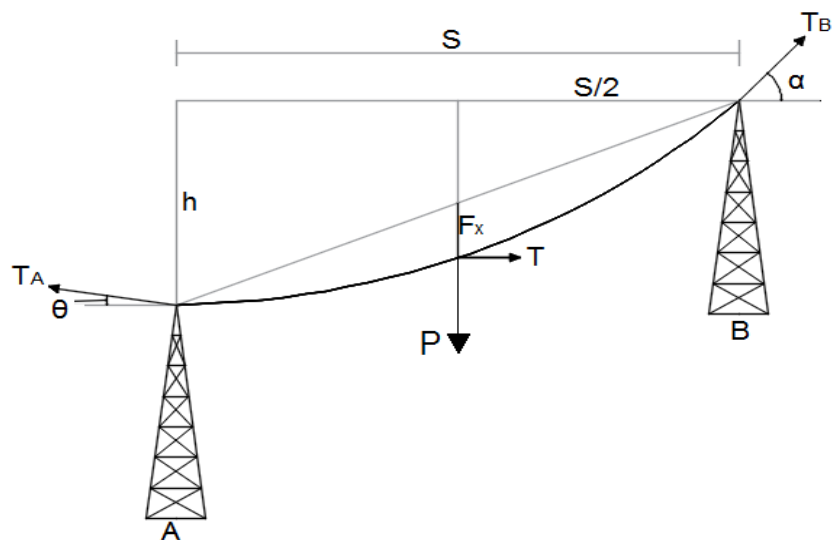
$$W = W_c + F_w$$

Donde:



- $F_x$ : Flecha en el punto medio de la luz (m)  
 $h$ : Diferencia de alturas entre los apoyos del cable (m)  
 $S$ : Luz entre los apoyos del cable (m)  
 $W$ : Carga distribuida en el cable la cual incluye el peso propio del cable y la carga del viento (Kg/m)  
 $W_c$ : peso propio del cable (Kg/m)  
 $F_w$ : Carga del viento en (Kg/m)  
 $L$ : Longitud del cable (m)  
 $T$ : Tensión horizontal del cable  
 $T_A$ : Tensión en el soporte A  
 $T_B$ : tensión en el soporte B  
 $\alpha$  y  $\theta$ : Ángulos que forman las tensiones.

**B. Cable con carga concentrada en el centro de la luz y apoyos a desnivel**



**Fig. N° 24.** Esquema de análisis estático del cable con carga  
Tensión horizontal del cable

$$T = \frac{S(2P+WS)}{8F_x} \quad [\text{Ec. 2.18}]$$

Tensiones en los apoyos

$$T_A = \frac{T}{\cos \theta} \quad [\text{Ec. 2.19}]$$

$$T_B = \frac{T}{\cos \alpha} \quad [\text{Ec. 2.20}]$$

Ángulos que forman las tensiones con el eje horizontal

$$\tan \theta = \frac{P+WS}{2T} - \frac{h}{s} \quad [\text{Ec. 2.21}]$$

$$\tan \alpha = \frac{P+WS}{2T} + \frac{h}{s} \quad [\text{Ec. 2.22}]$$

Despejamos “h/s” en Ec. 2.21

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

$$\frac{h}{s} = \frac{P+WS}{2T} - \tan \theta \quad [\text{Ec. 2.23}]$$

Despejamos “h/s” en Ec. 2.22

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

$$\frac{h}{s} = \tan \alpha - \frac{P+WS}{2T} \quad [\text{Ec. 2.24}]$$

Tensión horizontal con respecto a los ángulos

Igualamos Ec. 2.23 y 2.24

$$\frac{P+WS}{2T} - \tan \theta = \tan \alpha - \frac{P+WS}{2T}$$

$$\frac{P+WS+2T \tan \theta}{2T} = \frac{2T \tan \alpha - (P+WS)}{2T}$$

$$P + WS - 2T \tan \theta = 2T \tan \alpha - (P + WS)$$

$$P + WS + P + WS = 2T \tan \alpha + 2T \tan \theta$$

$$2(P + WS) = 2T(\tan \alpha + \tan \theta)$$

$$T = \frac{P+WS}{\tan \alpha + \tan \theta} \quad [\text{Ec. 2.25}]$$

Longitud del cable

$$L = \left[ 1 + \frac{8Fx^2}{3S^2} \right] \sqrt{S^2 + h^2} \quad [\text{Ec. 2.26}]$$

Donde:

$F_x$ : Flecha en el punto medio de la luz (m)

$h$  : Diferencia de alturas entre los apoyos del cable (m)

$S$  : Luz entre los apoyos del cable (m)

$W$  : Carga distribuida en el cable la cual incluye el peso propio del cable y la carga del viento (Kg/m)

$W_c$  : peso propio del cable (Kg/m)

$P$ : Carga concentrada que actúa sobre el cable, en Kg

$F_w$ : Carga del viento en (Kg/m)

$L$  : Longitud del cable (m)

$T$  : Tensión horizontal del cable

$T_A$  : Tensión en el soporte A

$T_B$  : tensión en el soporte B

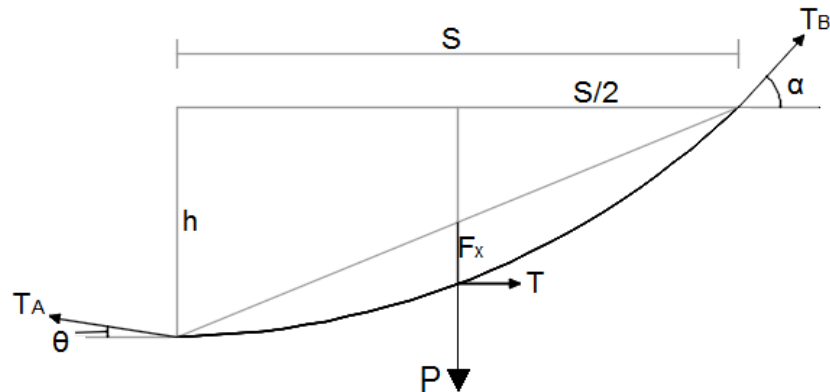
$\alpha$  y  $\theta$  : Ángulos que forman las tensiones.

### C. Cálculo de las tensiones estáticas con jaula con carga

Para el cálculo de las tensiones que se presenta en el cable del sistema de transporte por cable carril; se va a realizar las siguientes consideraciones:

- ✓ La flecha que forma el cable según Mejía (2011), en su trabajo de investigación “diseño y construcción del sistema de transporte de carga por medio de cables para topografía de gran pendiente”; recomienda que la flecha o deflexión del cable deberá estar comprendida entre el 3% y 5% de la luz existente entre tramos o estaciones.
- ✓ De igual modo; Armijos y Ramírez (2009) mediante un estudio realizado sobre deflexiones de cables en su proyecto sobre el “diseño de teleféricos”; afirma que para que se presente las tensiones máximas de los cables en cada estación o soporte se tomara como flecha o deflexión del cable como el 3% de la distancia horizontal o luz de tramo.

Como se mencionó anteriormente, se ha establecido que el valor de la flecha, que forma el cable será igual al 3% de la luz



De este modo, conociendo el valor de la luz calcularemos la flecha ( $S = 509.33 \text{ m}$ ):

$$Fx = 3\% S$$

$$Fx = 3\% \times 509.33$$

$$Fx = 15.28 \text{ m}$$

Para lograr calcular las tensiones en el cable, procederemos a calcular la carga de viento mediante el uso de las ecuaciones 2.6 y 2.7

$$P_w = \frac{13.88^2}{16} = 12.04 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^2}$$

$$F_w = 12.04 \times 0.035 = 0.42 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^2}$$

Mediante este valor encontrado se puede calcular la carga distribuida en el cable:

$$W = W_c + F_w$$

$$W = 4.73 + 0.42 = 5.15 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^2}$$

Partiendo de lo anterior es posible calcular el valor de la tensión horizontal del cable mediante la ecuación 2.18; sabiendo que:

$$S = 509.33 \text{ m}$$

$$P = 740 \text{ Kg}$$

$$W = 5.15 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^2}$$

$$Fx = 15.28 \text{ m}$$

$$T = \frac{509.33(2 \times 740 + 5.15 \times 509.33)}{8 \times 15.28} = 17095.93 \text{ N}$$

Una vez calculado el valor de la tensión horizontal, es posible obtener los valores de los ángulos  $\theta$  y  $\alpha$  que forman las tensiones tanto en la estación de carga y estación de descarga. Mediante la ecuación 2.21 y 2.22.

$$\theta = \tan^{-1}\left(\frac{P + WS}{2T} - \frac{h}{S}\right)$$

$$\theta = \tan^{-1}\left(\frac{740 + (5.15 \times 509.33)}{2 \times 17095.93} - \frac{139.84}{509.33}\right)$$

$$\theta = -9^\circ 59' 34.31''$$

$$\alpha = \tan^{-1}\left(\frac{740 + (5.15 \times 509.33)}{2 \times 17095.93} + \frac{139.84}{509.33}\right)$$

$$\alpha = 20^\circ 27' 4.46''$$

Conociendo el valor de la tensión horizontal en el punto medio de la luz y al mismo tiempo conociendo el valor de los ángulos que forman las tensiones en cada estación tanto en carguío y descarga; podemos encontrar las tensiones en los apoyos de ambas estaciones mediante la ecuación 2.19 y 2.20 respectivamente.

$$T_A = \frac{17095.93}{\cos -9^\circ 59' 34.31''}$$

$$T_A = 17359.28 \text{ N}$$

$$T_B = \frac{17095.93}{\cos 20^\circ 27' 4.46''}$$

$$T_B = 18245.98 \text{ N}$$

Además se procede a determinar la longitud real del cable entre ambos soportes mediante la ecuación 2.26.

$$L = \left[ 1 + \frac{8(15.28)^2}{3(509.33)^2} \right] \sqrt{509.33^2 + 139.84^2}$$

$$L = 529.45 \text{ m}$$

Finalmente se determina el factor de seguridad mediante el uso de la ecuación 2.8. para este cálculo se deberá tomar en cuenta como carga máxima de trabajo a la mayor tensión que se presente en dicho sistema de transporte. Si sabemos que la resistencia a la ruptura es de 96 000 kg/m<sup>2</sup> entonces:

$$n = \frac{87100}{18245.98}$$

$$n = 4.77$$

A continuación se indican los resultados obtenidos para el análisis estático del cable. Los valores presentados en la tabla N° 6, que corresponden al del cable seleccionado de cable 6x19. En base a estos se ha generado lo siguiente:

**Cuadro N.º 9.** Propiedades del cable seleccionado

Diámetro (m)	0.035
Carga de ruptura (kg/m <sup>2</sup> )	87100
Peso por unidad de longitud (kg/m)	4.73
Presión del viento generada (kg/m <sup>2</sup> )	12.04
Carga de viento generada (kg/m)	0.42
Carga distribuida total (peso propio + carga de viento) (kg/m)	5.15
Factor de seguridad	4.77

## 2.7. DISEÑO DEL SISTEMA DE SOPORTE

### 2.7.1. Estructura de la cimentación de soporte

Las estructuras de soporte del sistema se encuentran formadas por dos módulos que actúan de manera conjunta para soportar el cable del sistema de transporte por cable carril.

- Estructura de cimentación de soportes.
- Estructura de soporte del cable.

Para el diseño es importante la geometría de la estructura, ya que de esta dependen las cargas que soportara cada uno de los miembros estructurales de los soportes.

Este tipo de estructuras son muy resistentes a presiones y empujes de un determinado material o fuerzas. Es por ello que son muy usadas en diferentes proyecto de ingeniería, tales como en cortes y rellenos de carreteras y ferrocarriles, estribos de puentes, presas, etc.

#### A. Diseño de zapatas

Según Hernández (2012) define a zapatas como:  
*“cimentaciones superficiales o directas, como toda cimentación ha de garantizar, de forma permanente, la estabilidad de la obra”*  
(Hernández, 2012)

##### i) Tipos de zapatas

- **Por su forma de trabajar**
  - Aisladas
  - Combinadas
  - Continúas bajo pilares
  - Continúas bajo muros
  - Arriostradas

- **Por su morfología**
  - Macizas
  - Aligeradas
  
- **Por la relación entre sus dimensiones**
  - Rígidas
  - Flexibles
  
- **Por su forma**
  - Rectangulares, cuadradas, circulares y poligonales.

De acuerdo a la norma E.060 de concreto armado, sostiene que:  
Las zapatas deben diseñarse para resistir cargas amplificadas (diseño por resistencia), el área de la base de la zapata o el número y distribución de pilotes debe determinarse a partir de las fuerzas.dz

## **B. Muros de soporte**

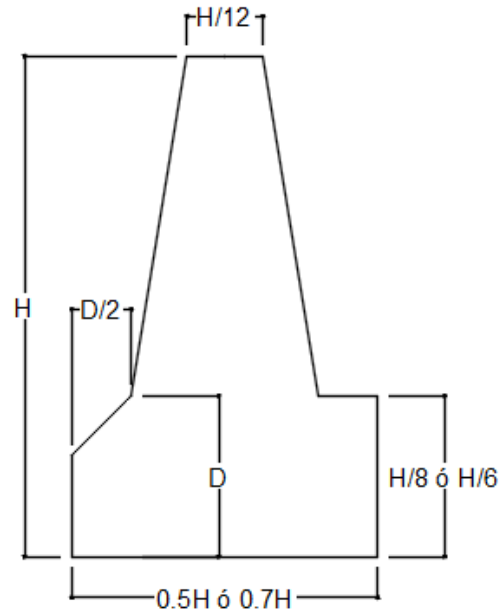
La norma E.060 de concreto armado, estipula disposiciones para muros sometidos a los estados de carga siguientes:

- Muros sometidos a cargas axiales con o sin flexión transversal a su plano, denominados muros de carga
- Muros sometidos a cargas normales a su plano
- Muros de contención.

## **C. Muros de gravedad**

Son muros de gran masa y dependen principalmente de su peso propio para asegurar la estabilidad; se hacen generalmente de concreto ciclópeo o aun de piedras y no llevan ningún refuerzo; son muros económicos para alturas bajas, hasta 3.00 – 3.50 metros como máximo.

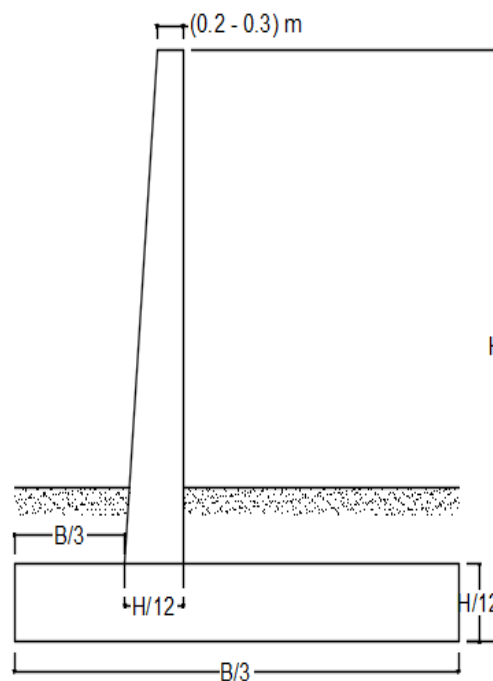




**Fig. N° 25.** Dimensiones según la norma E.060

#### D. Muros en voladizo o ménsula

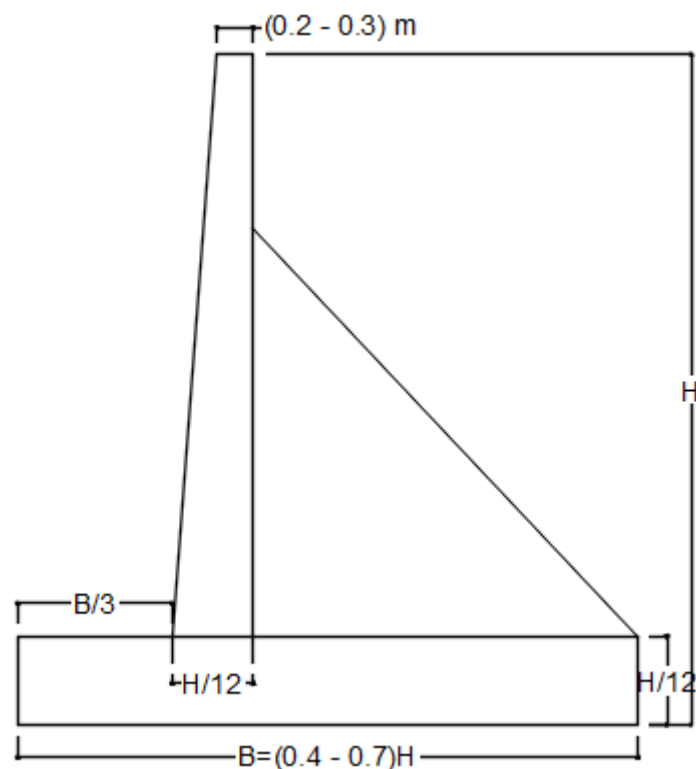
Son muros en concreto armado cuyo perfil común es el de una T o L, utilizan parte del peso de relleno para asegurar la estabilidad; es el tipo de muro de mayor uso; y resulta económicamente hasta alturas de 6.00 metros como máximo.



**Fig. N° 26.** Dimensiones según la norma E.060

### E. Muros con contrafuerte

Son muros que están constituidos por placas verticales que se apoyan sobre grandes voladizos espaciados regularmente que se denominen contrafuertes; este tipo de muro es conveniente cuando las alturas son mayores a 6.00 metros.



**Fig. N° 27.** Dimensiones según la norma E.060

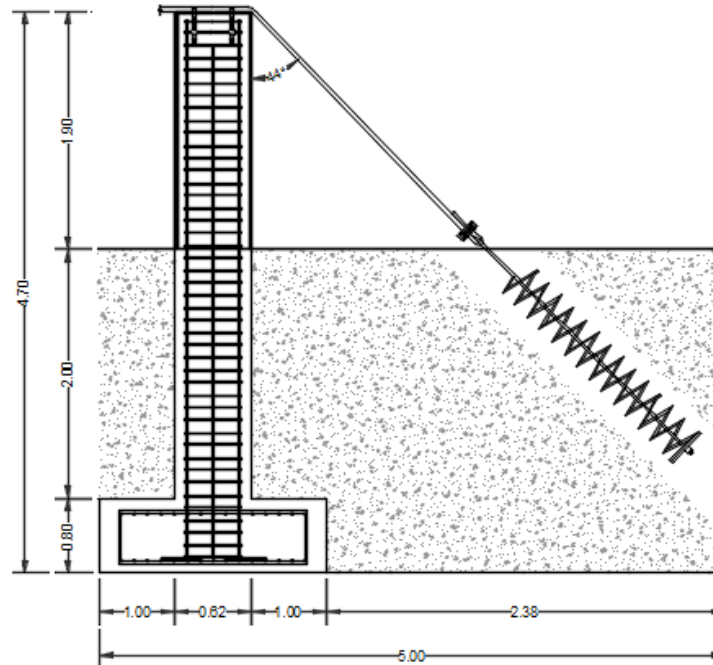
### F. Elección de un tipo determinado de zapatas y muro

En la elección de un tipo de muro dependerá:

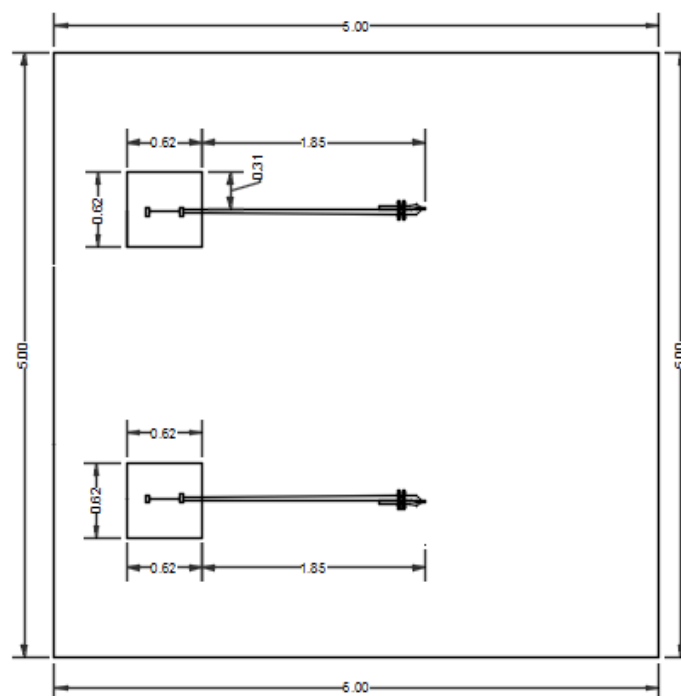
- La función que debe cumplir.
- Las condiciones del terreno.
- Los materiales de construcción disponibles.
- La economía en general.

La mayoría de veces habrá que hacer varios diseños alternativos en base a pre dimensionamientos rápidos; con ello se podrá determinar con bastante seguridad el tipo más adecuado para cada caso, y entonces proceder al diseño completo.

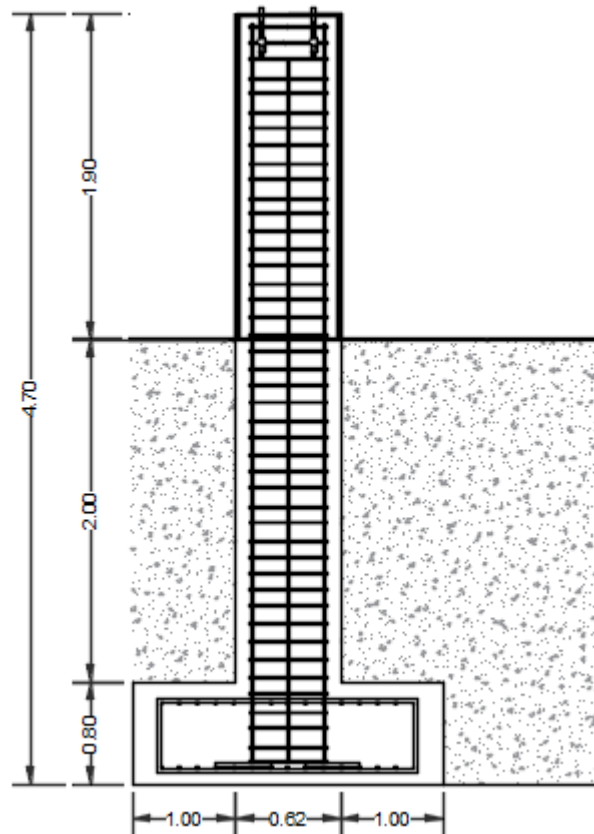
Conociendo la función dentro del sistema de transporte por cable carril, se seleccionó el tipo de zapatas y muros; el cual será zapatas aisladas y muros en voladizo o ménsula. Las cuales cumplen con las características para este tipo de uso.



**Fig. N° 28.** Vista de perfil del diseño del sistema de soporte



**Fig. N° 29.** Vista en planta del diseño del sistema de soporte



**Fig. N° 30.** Diseño de cimentación de zapata y muro

## G. Calculo de la capacidad portante, esfuerzo normal de aplastamiento (esfuerzo de apoyo)

### i) Capacidad portante

Se denomina capacidad portante a la capacidad del terreno para soportar las cargas aplicadas sobre él. Técnicamente la capacidad portante es la máxima presión media de contacto entre la cimentación y el terreno tal que no se produzcan un fallo por cortante del suelo o un asentamiento diferencial excesivo.

Para el análisis de la capacidad portante utilizaremos la siguiente ecuación:

$$\sigma_T = \frac{P}{A} \quad [\text{Ec. 2.27}]$$

Donde:

$\sigma_T$ : Capacidad portante, en kg/cm<sup>2</sup>

$P$ : Peso de la estructura, en kgf

$A$ : Área de contacto, en m<sup>2</sup>

Para ello calcularemos el peso total de la estructura mediante el uso de peso específico del material con la cual será construido y las dimensiones de las estructuras.

$$P = \gamma V \quad [\text{Ec. 2.28}]$$

Donde:

$P$ : Peso de la estructura, en kgf

$\gamma$ : Peso específico del material de construcción, en kgf/m<sup>3</sup>

$V$ : Volumen de la estructura, en m<sup>3</sup>

El peso específico para el análisis será de 2400kgf/cm<sup>3</sup> para el concreto amado, peso específico establecido en la norma E. 070 de albañilería.

Por lo tanto tenemos lo siguiente para el peso de la zapata.

$$P = \frac{2\,400\text{ kgf}}{\text{m}^3} \times 0.8\text{m} \times 2.62\text{m} \times 2.62\text{m}$$

$$P = 13\,179.65\text{ kgf}$$

Para encontrar el peso del muro de los soportes se realiza el mismo procedimiento y conociendo los materiales de construcción, que es de concreto armado.

$$P = \frac{2\,400\text{ kgf}}{\text{m}^3} \times 0.62\text{m} \times 0.62\text{m} \times (2.00 + 1.75)\text{m}$$

$$P = 3\,459.60\text{ kgf}$$

El peso total de la estructura es  $13179.65 + 3459.60 = 16639.25$  kgf.

Mediante la ecuación 2.27 calcularemos la capacidad portante.

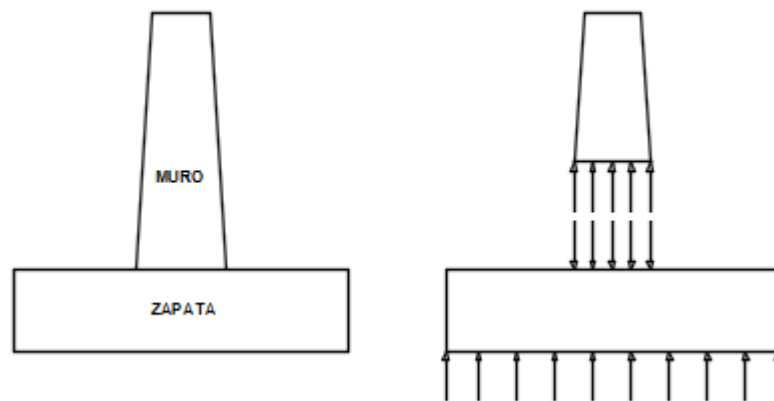
$$\sigma_T = \frac{16\,639.25\text{kgf}}{(2.62\text{m})^2}$$

$$\sigma_T = 2\,423.99\text{ kgf/m}^2$$

La cual es equivalente a  $0.2423\text{ kgf/cm}^2$

## ii) Esfuerzo normal de aplastamiento

Es el esfuerzo que soportara las zapatas producido por el peso del muro de los soportes.



Para el análisis del esfuerzo utilizaremos la ecuación 2.27.

Donde P es el peso del muro de concreto armado.

( $P = 3\,459.60\text{ kgf}$ ) y el área de contacto entre el muro y zapata ( $A = 0.62 \times 0.62\text{ m}^2$ )

$$\sigma_T = \frac{3\,459.60\text{ kgf}}{0.62 \times 0.62\text{ m}^2}$$

$$\sigma_T = 9\,000 \frac{\text{kgf}}{\text{m}^2} \approx 0.9\text{ kgf/cm}^2$$

## H. Análisis del peso de las estructuras

Es importante conocer el peso de cada estructura para el funcionamiento óptimo del sistema de transporte por cable carril. Para ello se debe conocer el material con la cual será construido.

Peso específico del concreto armado: 2 400 kgf/m<sup>3</sup>

Peso de cable de acero 1 3/8”: 4.73 kgf/m

Peso total de jaula con carga: 7259.40 N.

Utilizando la ecuación 2.28 calcularemos el peso de las estructura de concreto armado; es decir, el peso de las zapatas y muro de soporte de carguío y descarga.

Tenemos para el peso de la estructura de la estación de carguío lo siguiente:

### Peso de zapata

$$P = \frac{2\,400\text{ kgf}}{m^3} \times 0.8m \times 2.62m \times 2.62m$$

$$P = 13179.65\text{ kgf}$$

### Peso de muro

$$P = \frac{2\,400\text{ kgf}}{m^3} \times 0.62m \times 0.62m \times (2.00 + 1.75)m$$

$$P = 3\,459.60\text{ kgf}$$

Peso total de estructura de estación de carguío:

$$P_T = 13\,179.65\text{ kgf} + 3\,459.60\text{ kgf}$$

$$P_{TB} = 16\,639.25\text{ kgf}$$

Conociendo la equivalencia de:

$$1\text{ kgf} = 9.81\text{ N}$$

Por ello tenemos lo siguiente:

$$P_{TB} = 16\,639.25 \text{ kgf} \times \frac{9.81 \text{ N}}{1 \text{ kgf}}$$

$$P_{TB} = 163\,231.04 \text{ N}$$

Para el peso de la estructura de la estación de descarga tenemos lo siguiente:

Peso de zapata

$$P = \frac{2\,400 \text{ kgf}}{\text{m}^3} \times 0.8\text{m} \times 2.62\text{m} \times 2.62\text{m}$$

$$P = 13\,179.65 \text{ kgf}$$

Peso de muro

$$P = \frac{2\,400 \text{ kgf}}{\text{m}^3} \times 0.62\text{m} \times 0.62\text{m} \times (2.00 + 1.90)\text{m}$$

$$P = 3\,597.98 \text{ kgf}$$

Peso total de estructura de estación de descarga:

$$P_{TA} = 13\,179.65 \text{ kgf} + 3\,597.98 \text{ kgf}$$

$$P_{TA} = 16\,777.63 \text{ kgf} \approx 164\,588.55 \text{ N}$$

Otro de los elementos fundamentales que compone el sistema de transporte por cable carril es el cable de acero. Es por esta razón, que realizaremos su análisis:

Peso de cable de acero 1 3/8": 4.73 kgf/m

Longitud de cable entre ambos soportes es de 529.45m como fue encontrado mediante la ecuación 2.26

Entonces tenemos lo siguiente:

$$P = \frac{4.73 \text{ kgf}}{\text{m}} \times 529.45 \text{ m}$$

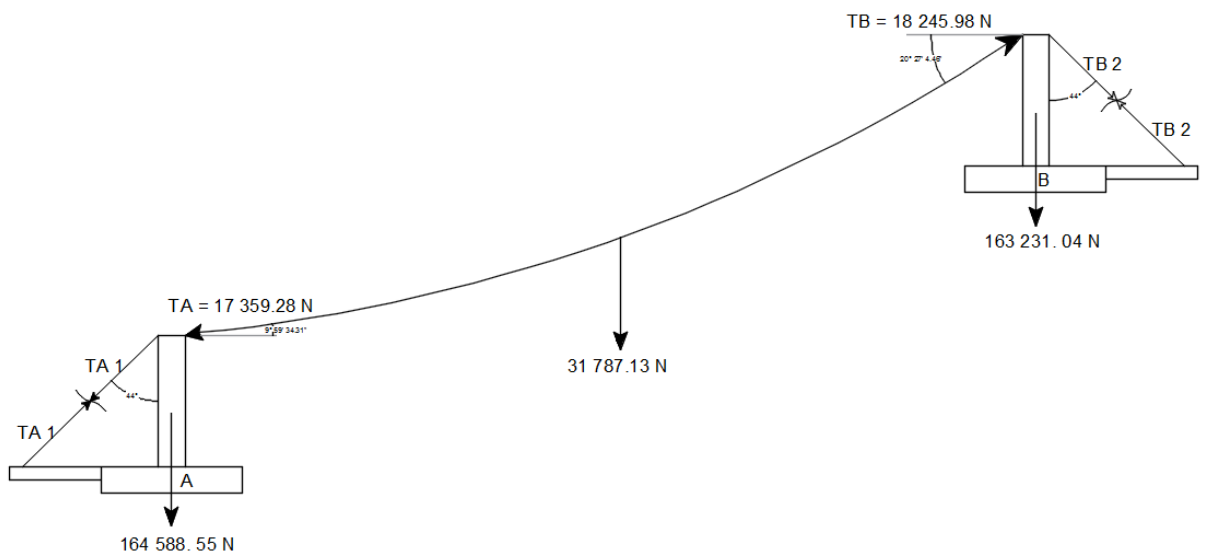


$$P = 2\,504.30 \text{ kgf} \approx 24\,567.18 \text{ N}$$

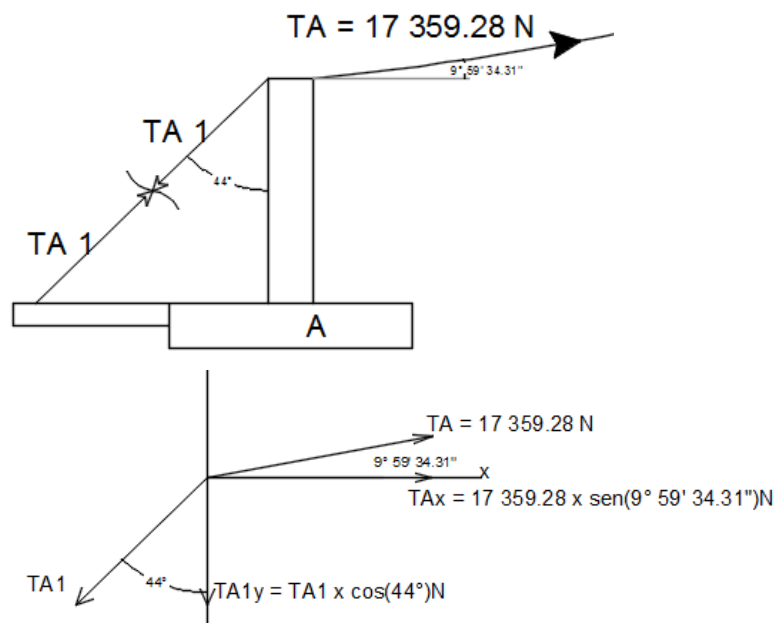
Para encontrar el peso máximo en el centro del recorrido al peso del cable será añadido el peso de jaula cargada a su máxima capacidad.

$$P_C = 24\,567.18 \text{ N} + 7\,259.40 \text{ N}$$

$$P_C = 31\,826.58 \text{ N}$$



En el punto A tenemos lo siguiente:



$$\sum F_x = 0$$

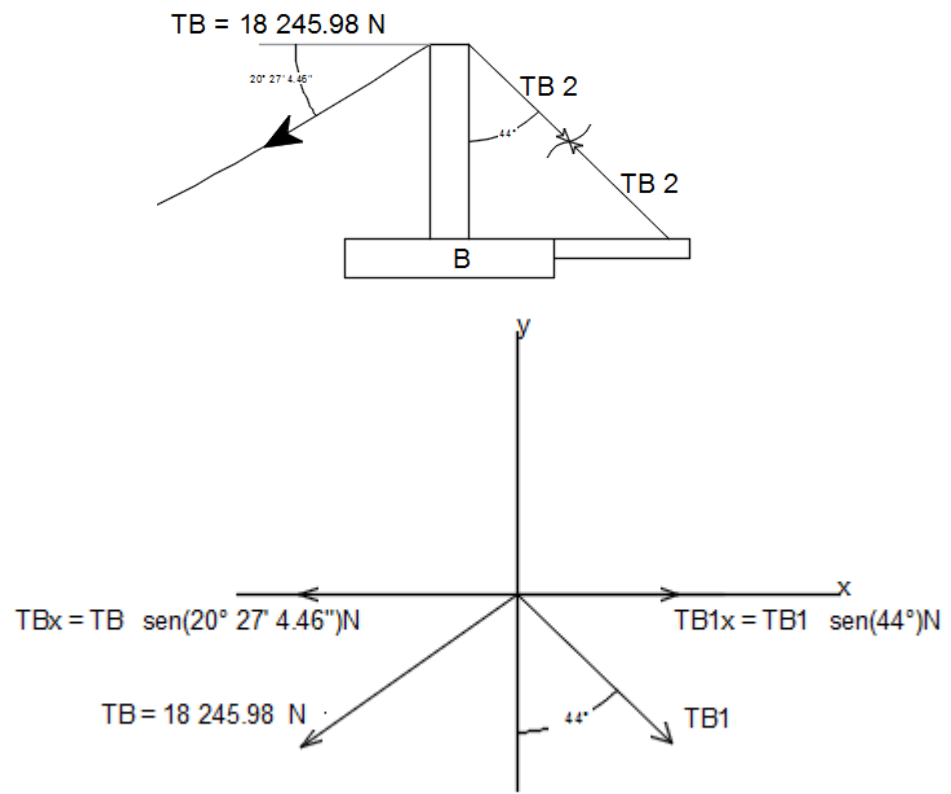
$$TA1 \operatorname{sen}(44^\circ) = T \operatorname{cos}(9^\circ 59' 34.21'')$$

$$TA1 = \frac{T \operatorname{cos}(9^\circ 59' 34.21'')}{\operatorname{sen}(44^\circ)}$$

$$TA1 = \frac{17\,359.28 \operatorname{cos}(9^\circ 59' 34.21'')}{\operatorname{sen}(44^\circ)}$$

$$TA1 = 24\,610.56 \text{ N}$$

En el punto A tenemos lo siguiente:



$$\sum F_x = 0$$

$$TB1 \operatorname{sen}(44^\circ) = TB \operatorname{cos}(20^\circ 27' 4.46'')$$

$$TB1 = \frac{TB \operatorname{cos}(20^\circ 27' 4.46'')}{\operatorname{sen}(44^\circ)}$$

$$TA1 = \frac{17\,359.28 \operatorname{cos}(20^\circ 27' 4.46'')}{\operatorname{sen}(44^\circ)}$$

$$TA1 = 24\,610.56 \text{ N}$$

Es decir, cuando la jaula se encuentra en el punto medio de su recorrido con carga a en su máxima capacidad, en el sistema de tensión las tensiones serán las mismas como ya fue encontrado anteriormente.

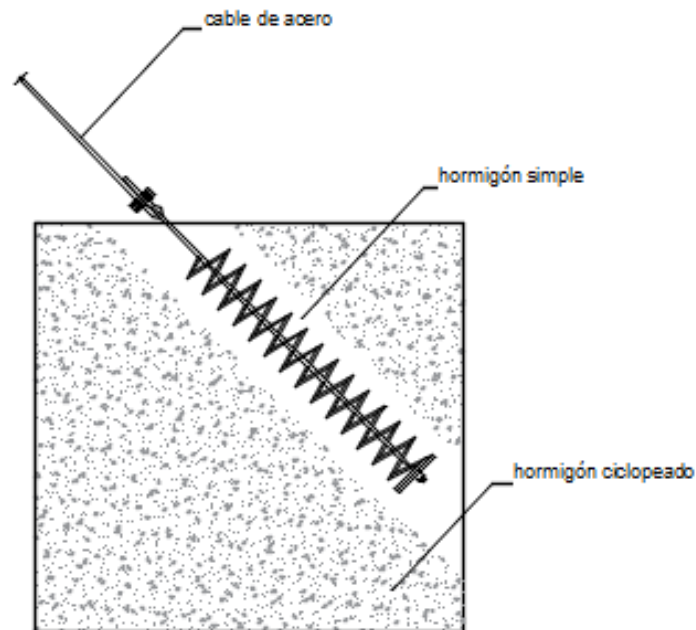
### **I. Estructura de soporte**

Dentro del diseño de las estructuras de soporte, se diseñarán los anclajes, los cuales deben resistir la componente vertical de la tensión del cable carril por peso propio, y la horizontal por fricción y empuje pasivo.

El material constitutivo del bloque de anclaje es hormigón ciclópeo, que con un volumen considerado cumple con esta sollicitación, sin afectar mayormente al costo.

Para garantizar la adherencia entre el cable y el bloque de anclaje, se diseñó una placa que cumple con las condiciones de flexión y corte, es decir que requieren el área necesaria para que se distribuya de una manera uniforme la presión sobre la cara de hormigón de contacto, y estimando una profundidad de anclaje necesario para garantizar el trabajo a corte sobre el bloque.

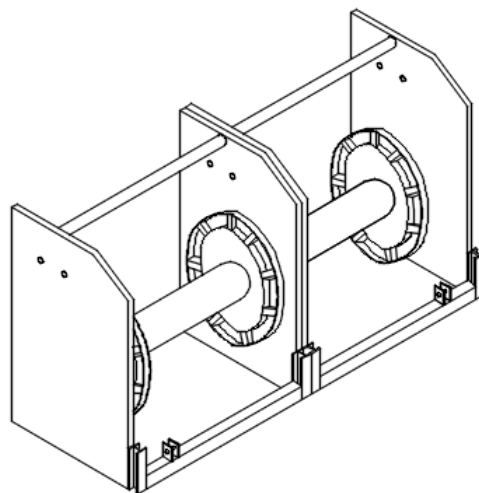
Con la ayuda de un suncho de varilla de acero de  $4200 \text{ Kg/cm}^2$  se garantiza la condición de resistencia al corte y concentración de esfuerzos, para lo cual es necesario reemplazar el hormigón ciclópeo por hormigón simple. Este tipo de detalle se lo adopta de los anclajes de cables en hormigón preesforzado.



**Fig. N° 31.** Detalle de anclaje del cable en el bloque de hormigón

## 2.8. DISEÑO DE CARRETE

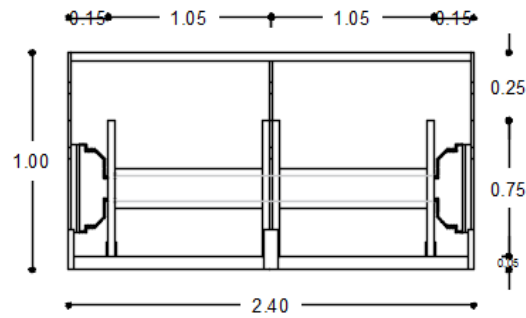
El tipo de tambor que se va utilizar es de superficie lisa, ya que este es más económico que el tambor acanalado, y su desempeño es equivalente.



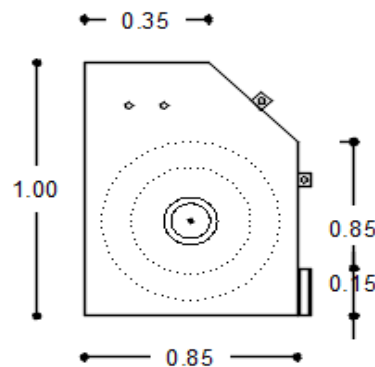
**Fig. N° 32.** Diseño de carrete

### 2.8.1. Dimensionamiento de carrete

Las dimensiones del carrete han sido especificadas de acuerdo a la longitud del cable motriz, la cual se enrollara en este dispositivo.



**Fig. N° 33.** Vista perfil de carrete



**Fig. N° 34.** Vista perfil de placa de carrete

### 2.8.2. Cálculo de rotación de carrete

El carrete experimenta un movimiento rotacional; es decir, realiza su movimiento en torno a un eje. Consideraremos para el análisis del movimiento circunferencial los siguientes elementos:

- Radio de giro
- Ángulo de giro
- Longitud de cable a enrollar

#### A. Cálculo del número de vueltas de carrete

$$\# \text{ de vueltas} = \frac{L}{2\pi R} \quad [\text{Ec. 2.29}]$$

Donde:

$L$ : Longitud total de cable, en m.

$R$ : Radio de eje de carrete, en m.

Las unidades según el sistema internacional para el número de vueltas serán las revoluciones o ciclos.

Conociendo el valor de la longitud del cable tractor del presente sistema de transporte que es 528.60 m. y el radio del eje de carrete que es 0.075 m.

$$\# \text{ de vueltas} = \frac{528.60}{2\pi 0.075}$$

$$\# \text{ de vueltas} = 1121.72 \text{ rev.}$$

Por lo tanto, la cantidad de vueltas que realizará el tambor en enrollar el cable tractor, en el traslado de jaulas de la estación de carguío y descarga será de 1121.72 rev.

## B. Cálculo de la frecuencia

Es un magnitud escalar que nos expresa el número de vueltas, revoluciones o ciclos que se realiza, por cada unidad de tiempo. La frecuencia se determina así:

$$f = \frac{\# \text{ de vueltas}}{\text{tiempo total en dar "n" vueltas}} \quad [\text{Ec. 2.30}]$$

Donde:

$f$ : Frecuencia, en Hz,  $s^{-1}$  o RPS

Mediante esta ecuación encontraremos la frecuencia con la que recorrerá el carrete.

$$f = \frac{1121.72 \text{ rev}}{35.21 \text{ s}} = 31.86 \text{ RPS}$$

En consecuencia, el carrete girará 31.86 rev por cada segundo.

### C. Cálculo del periodo

Esta magnitud mide la rapidez con la que se lleva a cabo el giro de una vuelta, una revolución o un ciclo del carrete en el enrollamiento del cable tractor.

$$T = \frac{1}{f} \quad [\text{Ec. 2.31}]$$

Donde:

$T$ : Periodo, en segundos.

$f$ : Frecuencia, en Hz,  $s^{-1}$  o RPS

$$T = \frac{1}{31.86 \text{ Hz}} = 0.03 \text{ s}$$

El tiempo en dar una vuelta es de 0.03 segundos.

### D. Calculo de la velocidad angular

Es una magnitud vectorial que indica la rapidez y el sentido de giro del sistema por cada unidad de tiempo.

$$\omega = \frac{2\pi}{T} = 2\pi f = \frac{V}{R} \quad [\text{Ec. 2.32}]$$

Donde:

$\omega$ : Velocidad angula, en rad/s

$T$ : Periodo, en segundos.

$f$ : Frecuencia, en Hz,  $s^{-1}$  o RPS

$V$ : Velocidad tangencial o lineal, en m/s

$R$ : Radio de carrete, en metros.

$$\omega = \frac{2\pi}{0.03}$$

$$\omega = 66.67\pi \text{ rad/s}$$

### E. Cálculo de la velocidad lineal o tangencial

Se denomina velocidad tangencial porque es tangente al recorrido es decir al giro de carrete o del sistema estudiado. Para el cálculo de esta magnitud se aplicara la siguiente ecuación:

$$V = 2\pi Rf = \frac{2\pi R}{T} = \omega R \quad [\text{Ec. 2.33}]$$

Donde:

- $\omega$ : Velocidad angular, en rad/s
- $T$ : Periodo, en segundos.
- $f$ : Frecuencia, en Hz,  $s^{-1}$  o RPS
- $V$ : Velocidad tangencial o lineal, en m/s
- $R$ : Radio de carrete, en metros.

$$V = \frac{2\pi 0.075}{0.03}$$

$$V = 15.71 \text{ m/s}$$

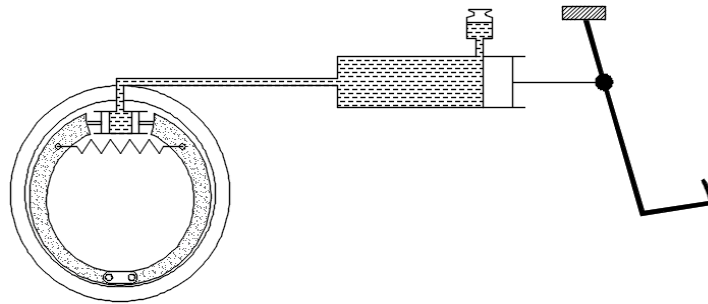
## 2.9. DISEÑO DEL SISTEMA DE FRENO

EL sistema de frenado resulto uno de los aspectos fundamentales, dentro del sistema de transporte por cable carril; debido a que dicho dispositivo de freno, será el encargado de disipar la energía cinética generada durante el descenso de jaulas con carga.

Según Chimal (2012) en su trabajo de investigación “Barreras dinámicas y control de rocas” define al sistema de frenado como:

*“(...) Para frenar un vehículo se necesita absorber la energía cinética producida en su desplazamiento. Esto se realiza por fricción entre dos piezas de elevado coeficiente de adherencia, una de ellas fija, como son las zapatas o pastillas de freno, y la otra móvil, que pueden ser los tambores o los discos de freno, según se empleen frenos de tambor o frenos de disco o la combinación de ambos. El frotamiento entre sí de estos dos elementos detiene el movimiento (...)” (Chimal, 2012)*





**Fig. N° 35.** Diseño de sistema de mando de freno

El sistema principal de frenos es activado por un pedal situado en el exterior del sistema de transporte, que dirige el conductor con el pie derecho.

El esfuerzo sobre el pedal es transmitido a los frenos por medio de una instalación hidráulica, en la que se dispone un cilindro maestro o bomba de frenos donde se genera la presión en el líquido, que es transmitida por las canalizaciones a los cilindros de rueda que accionan los frenos.

### **2.9.1. Freno de tambor**

Este tipo de freno está constituido por un tambor, que es el elemento móvil, montado sobre el buje de la rueda por medio de unos tornillos o espárragos y tuercas, del cual recibe movimiento, y un plato de freno, elemento fijo sujeto al puente o la mangueta. En este plato van instalados los elementos de fricción, llamados ferodos, y los mecanismos de accionamiento para el desplazamiento de las zapatas.

#### **A. Tambor**

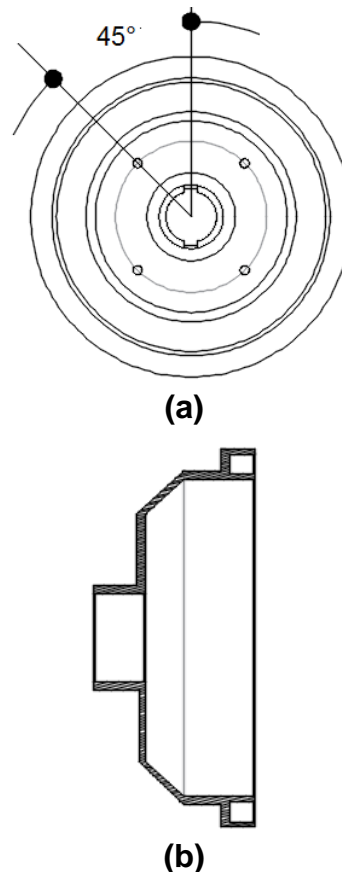
El tambor es la pieza que constituye la parte giratoria del freno y que recibe la casi totalidad del calor desarrollado en el frenado.

Se fabrica en fundición gris perlítica con grafito esferoidal, material que se ha impuesto por su elevada resistencia al desgaste y menor costo de fabricación y que absorbe bien el calor producido por el rozamiento en el frenado. Cabe destacar

también, para ciertas aplicaciones, las fundiciones aleadas, de gran dureza y capaces de soportar cargas térmicas muy elevadas.

El tambor va torneado interior y exteriormente para obtener un equilibrado dinámico del mismo, con un mecanizado fino en su zona interior o de fricción para facilitar el acoplamiento con los ferodos sin que se produzcan agarrotamientos. En la zona central lleva practicados unos taladros donde se acoplan los espárragos de sujeción a la rueda y otros orificios que sirven de guía para el centrado de la rueda al buje.

El diámetro de los tambores, según las características del vehículo, esta normalizado según la norma UNE 26 019.

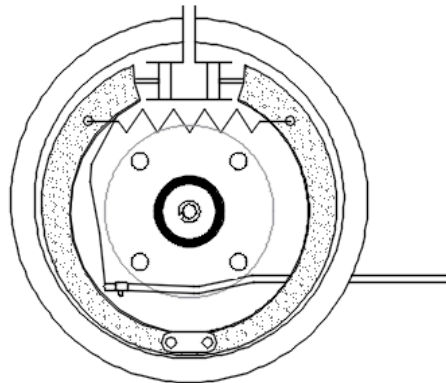


**Fig. N° 36.** (a) y (b) Vistas de tambor de freno

## B. Plato de freno

El plato de freno está constituido por un plato portafrenos o soporte de chapa embutida y troquelada, sobre el que se monta el bombín o bombines de accionamiento hidráulico y las zapatas de freno y demás elementos de fijación y regulación.

Las zapatas se unen por un extremo al bombín y por el otro a un soporte fijo o regulable; a su vez, se mantienen unidas al plato por medio de un sistema elástico de pasador y muelle, que permite un desplazamiento de aproximación al tambor y las mantiene fijas en su desplazamiento axial. El muelle, que une las dos zapatas, permite el retroceso de las mismas a su posición de reposo cuando cesa la fuerza de desplazamiento efectuada por el bombín.



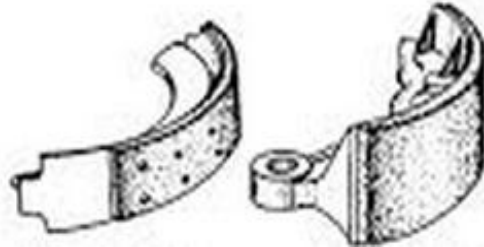
**Fig. N° 37.** Plato de freno

## C. Forma y características de las zapatas

Las zapatas de freno están formadas por dos chapas de acero soldadas en forma de media luna y recubiertas en su zona exterior por los ferodos o forros de freno, que son los encargados de efectuar el frenado por fricción con el tambor.

Los forros de freno se unen a la zapata metálica por medio de remaches embutidos en el material hasta los 3/4 de espesor del forro para que no rocen con el tambor, o bien pegados con colas

de contacto. El encolado favorece la amortiguación de vibraciones y, como consecuencia, disminuyen los ruidos que éstas ocasionan durante el frenado.



**Fig. N° 38.** Modelo de zapatas

### **2.9.2. Componentes del sistema de freno**

Está diseñado para que a través del funcionamiento de sus componentes se pueda detener el vehículo a voluntad del conductor. La base del funcionamiento del sistema de frenos es la transmisión de fuerza a través de un fluido que amplía la presión ejercida por el conductor, para conseguir detener el coche con el mínimo esfuerzo posible.

#### **A. Pedal de freno**

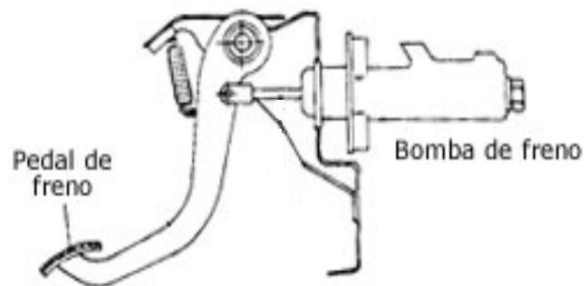
Pieza metálica que transmite la fuerza ejercida por el conductor al sist hidráulico con el pedal conseguimos hacer menos esfuerzo a la hora de transmitir dicha fuerza. El pedal de freno forma parte del conjunto “pedalera”, donde se sitúan 2 o 3 palancas de accionamiento individual que nos permiten manejar los principales sistemas del vehículo.

#### **B. Bomba de freno**

Es la encargada de crear la fuerza necesaria para que los elementos de fricción frenen el vehículo convenientemente. Al presionar la palanca de freno, desplazamos los elementos interiores de la bomba, generando la fuerza necesaria para frenar el vehículo; Básicamente, la bomba es un cilindro con

diversas aperturas donde se desplaza un émbolo en su interior, provisto de un sistema de estanqueidad y un sistema de oposición al movimiento, de tal manera que, cuando cese el esfuerzo, vuelva a su posición de reposo.

Los orificios que posee la bomba son para que sus elementos interiores admitan o expulsen líquido hidráulico con la correspondiente presión.



Fuente: Mecánicas online

**Fig. N° 39.** Cilindro principal o bomba de frenos

### C. Canalizaciones

Las canalizaciones se encargan de llevar la presión generada por la bomba a los diferentes receptores, se caracterizan por que son tuberías rígidas y metálicas, que se convierten en flexibles cuando pasan del bastidor a los elementos receptores de presión. Estas partes flexibles se llaman “latiguillos” y absorben las oscilaciones de las ruedas durante el funcionamiento del vehículo. El ajuste de las tuberías rígidas o flexibles se realiza habitualmente con acoplamientos cónicos, aunque en algunos casos la estanqueidad se consigue a través de arandelas deformables (cobre o aluminio).

### D. Bombines (frenos de expansión interna)

Es un conjunto compuesto por un cilindro por el que pueden desplazarse uno o dos pistones, dependiendo de si el bombín es ciego por un extremo o tiene huecos por ambos lados (los dos

pistones se desplazan de forma opuesta hacia el exterior del cilindro.

### **E. Líquido de freno**

Es un líquido hidráulico que hace posible la trasmisión de la fuerza ejercida sobre el pedal de freno a los cilindros de freno en las ruedas de automóviles, motocicletas, camionetas y algunas bicicletas.

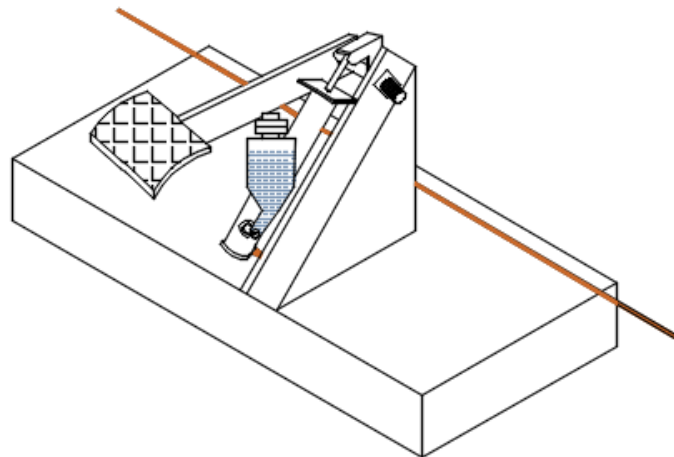
Se compone normalmente de derivados de poliglicol. En casos extraordinarios (ej. coches antiguos, ejército) se usan líquidos de silicona y aceites minerales.

El punto de ebullición del líquido de frenos ha de ser elevado ya que las aplicaciones de frenos producen mucho calor, además la formación de burbujas puede dañar el freno, y la temperatura de congelación ha de ser también muy baja, para que no se congele con el frío. Los líquidos de frenos convencionales tienen, según el *Department of Transportation, DOT* (del inglés Departamento de Transportes) temperaturas de ebullición de 205 °C (DOT 3), 230 °C (DOT 4) o 260 °C (DOT 5.1). Como puede observarse, cuanto mayor es el índice DOT mayor es la temperatura de ebullición.

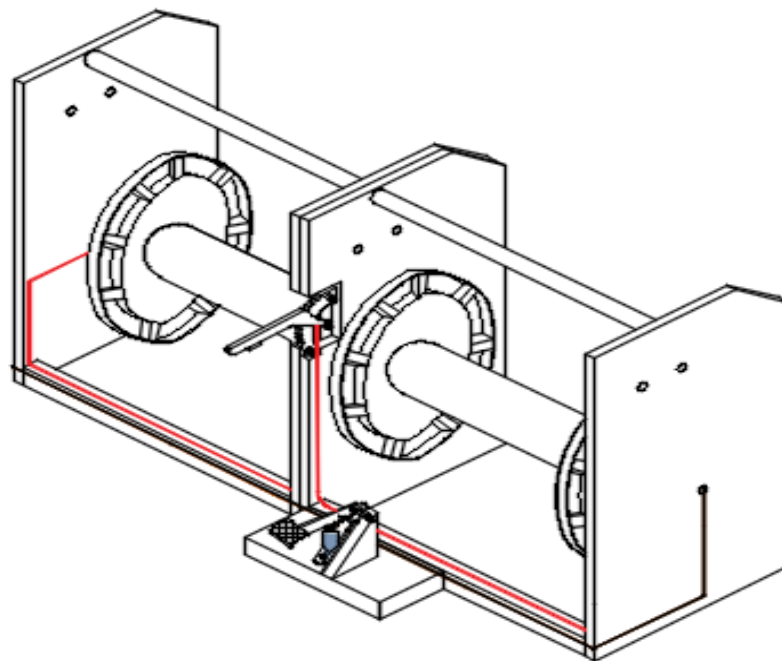
## **2.10. DISEÑO ACTUAL DE FRENO**

### **2.10.1. Freno pedal**

Esta diseñado con línea de cañería para cada lado del tambor del freno tal como esta diseñado con las líneas de color marron en la parte inferior del carretel, en donde este diseño nos permitira tener mayor seguridad para el pisado del freno. Pieza metálica que transmite la fuerza ejercida por el conductor al sist hidráulico. Con el pedal conseguimos hacer menos esfuerzo a la hora de transmitir dicha fuerza.



**Fig. N° 40.** Freno hidráulico.

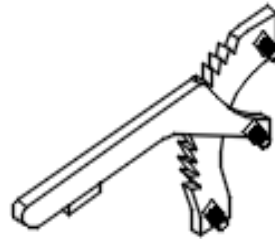


**Fig. N° 41.** Diseño freno de mano e hidráulico.

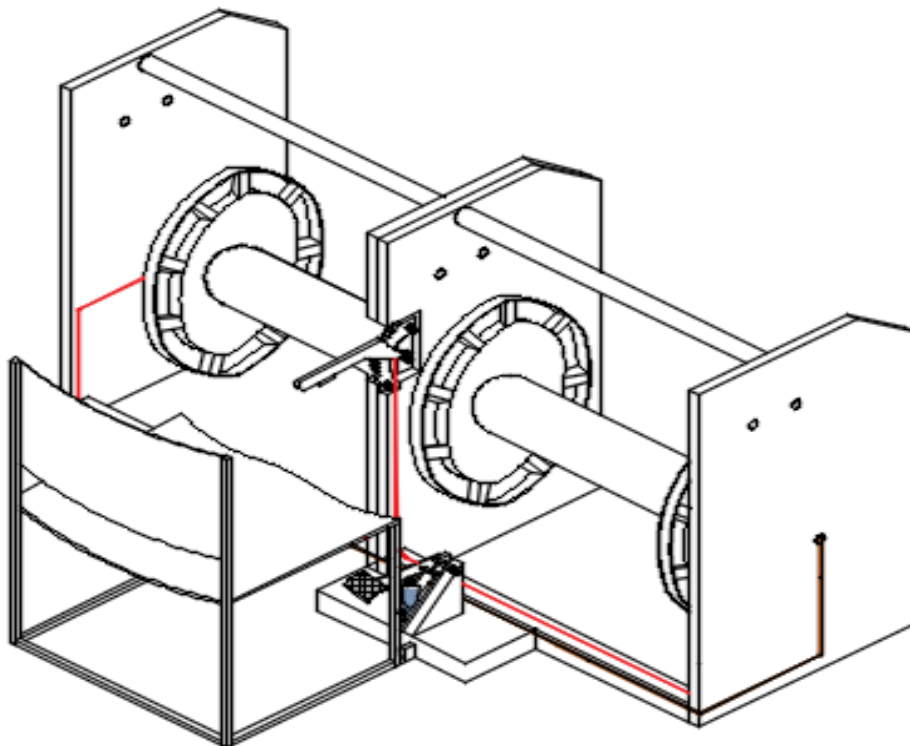
### 2.10.2. Freno de mano

La función de este sistema de freno se encuentra en los soportes del centro del sistema de los carretel con el fin de dar una facilidad para su manejo, encontrándose con cables de freno conectados en ambos costados del tambor de freno tal como se muestra en la imagen de color rojizo, por lo que al tirar la palanca hacia arriba

permitirá presionar en ambos tambores permitiendo el frenado en su totalidad y al soltar el freno se realizara presionando el botón que se encuentra en la parte inferior de la palanca.



**Fig. N° 42.** Diseño freno de mano.



**Fig. N° 43.** Diseño completo de sistema de freno.



## 2.11. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS

- **Alambre carril o aéreo carril:** Es un medio de transporte en la cual une dos puntos inaccesibles ya sea para transporte de personas o mercancías; denominado también transporte por cable carril.
- **Cable tensor:** Es conocido como cable motriz o tractor cuya función es controlar el movimiento ya sea de jaula con carga o sin ella.
- **Vaivén:** Es el recorrido de un objeto sobre una línea recta que en un tiempo dado cambia el sentido volviendo a su posición inicial siguiendo la misma dirección.
- **Deflexión:** Consiste en la deformación que sufre un elemento o cuerpo rígido por el efecto de las fuerzas internas que pueden ser fuerzas de compresión o de tensión llamadas fuerzas (fuerzas axiales)
- **Pilotes:** Tipo de cimentaciones para dar resistencia y estabilidad a estructuras de grandes dimensiones, esta es utilizada cuando la capacidad portante del suelo no es la adecuada o es mínima.
- **Fuerza cortante:** El esfuerzo cortante, de corte, de cizalla o de cortadura es el esfuerzo interno o resultante de las tensiones paralelas a la sección transversal de un prisma mecánico como por ejemplo una viga o un pilar.
- **Mortero o resina:** Es un compuesto de conglomerados inorgánicos tanto de agregados finos, agua como otros aditivos que sirven para pegar elementos de construcción.
- **Lechada:** Es la mezcla de cemento, arena fina y agua que se utiliza para sellar fisuras o grietas.
- **Cargas de viento:** Es una carga muy importante en el diseño de estructuras altas o muy flexibles, como los puentes colgantes,

teleféricos o de gran superficie lateral, como las bodegas o grandes cubiertas.

- **Deflexión:** Consiste en la deformación que sufre un elemento por el efecto de las flexiones internas.
  
- **Flecha:** Es la deflexión del cable producto de su peso propio y/o de un agente externo, como puede ser cargas que actúan sobre el cable grúa o carril.
  
- **Factor seguridad:** Es la capacidad resistente de cualquier elemento o cosa contra el esfuerzo actuante, normalmente debe ser mayores a la unidad, tal como especifica la norma.
  
- **Concreto ciclópeo:** Es la combinación de concreto con boques de piedra las cuales no tienen mucha resistencia y son utilizadas mayormente en estructuras de pequeñas dimensiones.
  
- **Muros en Ménsula:** Muro de sostenimiento construido de hormigón armado, resistente al vuelco y al deslizamiento gracias a la zapata en voladizo sobre la que se apoya.
  
- **Suncho:** dispositivo de tensión y anclaje que transmite la fuerza de tensión que se ejerce en el cable hacia la base de concreto y esta hacia el suelo.
  
- **Desbroce:** Es la eliminación de obstáculos o impedimentos que dificulten la acción de trabajo.
  
- **Horst:** También llamado pilar tectónico, es una región elevada limitada por dos fallas normales, paralelas.

## CAPÍTULO 3

## HIPÓTESIS

### 3.1. FORMULACIÓN DE LA HIPÓTESIS

Mediante el estudio del transporte por cable carril actual, nos permite proponer un sistema BICABLE para optimizar esta operación unitaria en la Concesión Juana.

### 3.2. VARIABLES

#### 3.2.1. Variable independiente

Diseño del sistema de transporte Cable Carril.

#### 3.2.2. Variable dependiente

Tiempo y tonelaje transportado, consumo de energía.

### 3.3. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES.

VARIABLE INDEPENDIENTE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DIMENSIONES	INDICADORES
El Transporte cable carril	Reducción del costo, al equipo una Jaula y un cable carril más.	Equipos de transporte bien calibrados y óptimas condiciones de funcionamiento.	Calidad de la física de los cables de transporte. Mejora en su producción.
		Trabajo de campo teniendo en cuenta el diseño de transporte, incluyendo el desempeño del operador.	Tonelaje por hora.
		Las Jaulas y Cables según tiempo de vida útil.	Costo de Transporte.

VARIABLE DEPENDIENTE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DIMENSIONES	INDICADORES
<b>Tonelaje transportado</b>	<b>Transporte en operación</b>	Características del nuevo diseño	Distancia entre soportes del cable.
		Elementos económicos	Gastos Ganancias
		Análisis financiero.	Análisis costo beneficio.

## **CAPÍTULO 4**

## **MATERIALES Y MÉTODOS**

### **4.1. TIPO DE DISEÑO DE INVESTIGACIÓN.**

- Descriptivo.

### **4.2. MATERIAL DE ESTUDIO.**

#### **4.2.1. Unidad de estudio.**

La unidad de estudio y análisis: El Transporte de cable carril en la concesión minera Juana en el área de producción de carbón, Hualgayoc, Cajamarca.

#### **4.2.2. Población.**

Constituido por la Concesión Minera Juana, Cajamarca y sus respectivas áreas de operación, específicamente el área de Carguío y acarreo transportando a la actualidad 5.94 Tn/h de mineral no metálico (Carbón).

#### **4.2.3. Muestra.**

En el estudio realizado se tomara como muestra 6.5 Tn/h en el área de transporte de carbón en la concesión Juana, Hualgayoc, Bambamarca, Cajamarca en el año 2015.

### **4.3. MÉTODOS**

#### **4.3.1. De recolección de información.**

Análisis documental: Se realizará el acopio de información del área de estudio para su descripción, análisis e interpretación de un conjunto de fuentes bibliográficas tanto físicas como electrónicas (estadísticas, libros, investigaciones, manuales, brochure, tesis, conferencias, etc.) publicadas por instituciones internacionales, nacionales y a nivel local e industrias relacionadas con la fabricación de cable carril y accesorios.

#### **4.3.2. De análisis de información.**

En el periodo de investigación, el procesamiento y análisis de la información se realizará mediante procesos lógicos para la obtención de conocimientos válidos. Las tablas y figuras mostrarán las evidencias cuantitativas del Transporte en cable carril al incrementar la capacidad de producción para operaciones en la concesión Juana, Hualgayoc, Cajamarca.

#### **4.3.3. Las técnicas utilizadas en el estudio.**

- El análisis directo relacionado con cada una de las variables de estudio.
- Equipo topográficos para el reconocimiento de la geomorfología, en donde se llevara a cabo la construcción e implementación del nuevo diseño de transporte por cable carril (cable aéreo)
- Análisis de hojas de cálculo de las dimensiones, factor de seguridad con respecto a cables (cable motriz, cable carril o cable grúa), tensiones producidas en soportes, capacidad máxima de jaula, tiempo de traslado y cargas de viento producidas en su recorrido.
- Cálculo y análisis de la densidad del carbón explotado mediante instrumentos de masa y volumen en laboratorio UPN.

## CAPÍTULO 5

## RESULTADOS

### 5.1. UBICACIÓN Y ACCESIBILIDAD

#### 5.1.1. Ubicación

##### A. Ubicación política

**Cuadro N.º 10.** Cuadro de ubicación concesión Juana

<b>CASERÍO</b>	Piñipata
<b>DISTRITO</b>	Bambamarca/Chalamarca
<b>PROVINCIA</b>	Hualgayoc/Chota
<b>DEPARTAMENTO</b>	Cajamarca
<b>REGIÓN</b>	Cajamarca

##### B. Ubicación Geográfica

La concesión se ubica en el departamento de Cajamarca la cual se localiza en el norte del país, presenta una superficie aproximada de 33,317.5 km<sup>2</sup>.

Cajamarca limita por el Norte, con la República de Ecuador; por el Este, con el departamento de Amazonas; por el Sur, con el departamento de La Libertad y por el Oeste, con los departamentos de Piura y Lambayeque.

Asimismo en un ámbito más específico, la concesión está dentro de la provincia de Hualgayoc, distrito de Bambamarca, la cual tiene las siguientes características geográficas:

**Altitud:** 2580 msnm

**Latitud:** 06°40'43" Sur.

**Longitud:** 78°31'27" Oeste.

**Superficie:** 451.38 Km<sup>2</sup>.

El área de la concesión Juana es de 28.02 hectáreas y está

delimitada entre las siguientes coordenadas UTM (PSAD 56 - 17S):

**Cuadro N.º 11.** Coordenadas UTM de concesión Juana.

VÉRTICE	NORTE	ESTE
VNE	9 272 341. 14	781 924. 58
VSE	9 270 953. 48	781 736. 28
VSW	9 270 980. 38	781 538. 04
VNW	9 272 368. 04	781 726. 34
Área Total	28.02 Hectáreas	

Fuente: cuadrángulo de Celendín Hoja 14 - g.

### C. Accesibilidad

Para llegar a la concesión Juana, lo hacemos mediante tramos; el primer tramo inicia en la ciudad de Cajamarca hasta el distrito de Bambamarca.

**Cuadro N.º 12.** Accesibilidad de accesos hacia la concesión Juana.

VÍAS DE ACCESO AL ÁREA DE LA CONCESIÓN MINERA			
Lugar	Distancia (Km)	Estado de vías	Tiempo de horas
Cajamarca – Hualgayoc	80	Asfaltado	2
Hualgayoc – Bambamarca	25	Afirmada	1
Bambamarca - Piñipata	15	trocha	0.40
<b>total</b>	120		3.4

#### 5.1.2. Historia del yacimiento y propiedad minera

Esta área de la concesión ha sido explorada y explotada como minería artesanal en el presente siglo.

La propiedad de la concesión Juana es de 28.02 hectáreas El Yacimiento No Metálico del cual se está extrayendo el recurso, son mantos de carbón, que están emplazados en la Formación Geológica



Carhuaz, Grupo Goyllarisquisga, compuesta de areniscas rojizas y cuarcitas blancas intercaladas con lutitas grises, algunas lutitas han sido metamorfizadas debido a altas condiciones de presión y temperatura de propiedad de la Empresa Carbojholay, dedicada a la extracción, explotación y comercialización de carbón de piedra.

### **5.1.3. Clima y vegetación**

El clima de Bambamarca presenta una precipitación promedio anual de 750 mm, con dos épocas marcadas una lluviosa que va desde el mes de noviembre hasta abril y la estación seca que va desde el mes de mayo a octubre.

Posee una temperatura promedio de 16 °C y una dirección de vientos cuya dirección predominante es NE.

## **5.2. FISIOGRAFÍA**

Las características fisiográficas del área de trabajo son del orden que van desde colinas bajas, colinas moderas, montaña alta hasta un acantilado en la parte alta.

## **5.3. GEOLOGÍA**

Las operaciones de explotación subterráneo de carbón “Juana”, se encuentra localizado en una zona caracterizada por la presencia del grupo Gollayrisquizga:

- Suelos
- Riesgos naturales
- Deslizamiento de tierras
- Huaycos
- Sismicidad
- Clima/meteorología

### **5.3.1. Geología regional**

Está formado por un grupo de rocas metamórficas de composición variada, sobre las cuales yacen discordantemente las rocas mesozoicas. Consiste principalmente en esquistos micáceos, filitas, pizarras, cuarcitas y arcosas de origen sedimentario, también gneises granodioríticos asociados con rocas graníticas que muestran un grado considerable de metamorfismo; todas estas rocas son cortadas por vetas de cuarzo y anfibolitas de dimensiones pequeñas.

La mineralogía frecuente de las rocas gneisicas consiste en cuarzo, plagioclasa, ortosa, biotita, sericita clorita y epidota, mientras que en los cuerpos anfibolíticos asociados abunda la hornblenda con accesorios de esfena, apatito y zircón. Por lo tanto es posible afirmar que el grado de metamorfismo de estas rocas corresponde a facies anfibolita y granulita, cuyo nivel corresponde a la mesozona profunda y posiblemente a la catazona.

Sin embargo la presencia de metasedimentos con un grado de metamorfismo bajo a moderado, evidencian niveles de metamorfismo de epizona de facies de esquistos verdes.

### **5.3.2. Geología local**

Las operaciones de explotación subterráneo de carbón se encuentra localizado en una zona caracterizada por la presencia del grupo Goyllarisquizga; el manto de carbón tienen un espesor de 2 metros y se emplaza entre las Formaciones Geológicas Carhuaz y Farrat.

Durante la extracción de Carbón se ha encontrado pequeñas capas de Pizarra, producto de la interacción de presión y temperatura de las lutitas de la Formación Carhuaz convirtiéndola en una roca Metamórfica.

## **5.4. ESTRATIGRAFÍAS**

### **5.4.1. Grupo Gollayrisquizga**

Se distribuye como una franja de orientación similar a la Cordillera de los Andes, esencialmente en la margen izquierda del río Llaucano a la altura del caserío Piñipata; litológicamente está constituida por una secuencia de areniscas cuarzosas blancas de grano medio a grueso.

### **5.4.2. Formación Carhuaz**

En esta Formación yace concordantemente sobre la Formación Santa y está constituida litológicamente por limoarcillitas grises a gris verdosas. En algunas zonas presenta calizas y areniscas ferruginosas.

### **5.4.3. Formación Farrat**

Esta formación representa el nivel superior de la parte clástica del Cretáceo Superior, consta de Cuarzitas y Areniscas blancas de grano medio a grueso, tiene un grosor promedio de 500 m, aumentando en el sector Suroeste. En algunos lugares se observa estratificación cruzada y marcas de oleaje.

La formación Farrat suprayace con aparente concordancia a la Formación Carhuaz y subyace, con la misma relación, a la Formación Inca.

## **5.5. GEOLOGÍA ESTRUCTURAL**

Regionalmente, todo parece indicar que los movimientos tectónicos, en algunos sectores han sido de mayor intensidad que en otros. Es así que las ondulaciones suaves de algunos niveles estratigráficos pasan a ser estructuras principales. Por tanto en el departamento de Cajamarca se encuentran evidencias de varias etapas de deformación, las cuales corresponden a los movimientos del Ciclo Andino. Estas fases de

deformación están evidenciadas por discordancias, pliegues, fallas y demás estructuras, materializadas en zonas de deformación (fajas o provincias estructurales).

Aproximadamente, a principios del Jurásico Superior, empezaron a formarse la cuenca occidental peruana y el Alto del Marañón, probablemente influenciados por fuerzas de distensión con desarrollo de dos grandes elementos: un horst y un graben, relacionados en forma directa a movimientos del zócalo que empezó la subsidencia (occidente) y el levantamiento (oriente). Como es lógico, la sedimentación marina empezó a acumularse en la cuenca en forma continua y esta a su vez, se hundía lentamente a medida que recibía más sedimentos.

Finalizado el ciclo de sedimentación marina en el Senoniano, cuando el mar aun cubría la zona andina y parte de la hoya amazónica, en el Santoniano temprano, toda la cuenca y el Alto del Marañón fueron afectados por movimientos epirogenéticos levantándose grandes regiones de la cuenca y algunas de la plataforma, iniciándose así una acumulación clástica en las partes bajas (fm- Chota).

## **5.6. GEOLOGÍA ECONÓMICA**

Está conformado por las franjas metalogenéticas, las cuales representan épocas de mineralización que se extienden a lo largo de sistemas de fallas regionales y litologías que han favorecido la mineralización de depósitos minerales.

La mayoría de los sistemas de fallas que controlan las franjas metalogenéticas en el centro y sur del Perú, tienen orientaciones principalmente NO-SE. Su origen se les asocia con la disgregación cortical del rift Permo-Triásico, caracterizado por actividad magmática alcalina del Grupo Mitu y presencia de granitoides de la misma edad en su eje axial.

Otros sistemas de fallas de igual categoría son los que se extienden a lo largo del Batolito de Pataz, relacionados con la tectónica eoherciniana, así

como, los sistemas de fallas Punre-Canchis-Magistral y Cordillera Blanca, en el Norte del Perú. En el sector central occidental destacan los sistemas de fallas Chonta, Churín-San Mateo, Tapacocha y Conchao-Cocachacra. Mientras que en el sur del Perú se tienen a los sistemas de fallas Ica-Islay-Ilo, Cincha-Lluta, Incapuquio, Abancay-Condorama-Caylloma y Cusco-Lagunillas-Mañazo.

Dada la escala regional del mapa metalognético, las 23 franjas metalogenéticas no incluyen depósitos particulares como Tarpuy (Fe alojado en el Complejo Basal de la Costa), Huancapayac (depósitos de Cu-Ni en secuencias del Complejo Marañón), Tapo (Cr-Ni hospedado en rocas ultrabásicas Precámbricas?), Negra Huanusha (Cu-V alojado en capas rojas del Grupo Mitu) y depósitos de uranio (Macusani, Vilcabamba, Chaullay y otros).

## **5.7. TECTÓNICAS**

Su origen se remonta a los inicios de la Era Terciaria o Cenozoica aproximadamente 60 a 70 millones de años, caracterizada por grandes movimientos tectónicos. Posteriormente en el Mioceno (35 millones de años) se produjo el proceso de mineralización y formación de Los Andes Peruanos con intensa actividad y deyecciones volcánicas. Finalmente en el Holoceno hace 25,000 años se producen desglaciaciones, intensas precipitaciones fluviales y relaves de arena que erosionan las rocas volcánicas adoptando a través del tiempo formaciones pétreas que oscilan entre 3 y 10 m.

## **5.8. CANCHAS DE CARGUÍO Y DESCARGA DEL CARBÓN**

Son plataformas en donde se realizara el acopio del carbón para luego ser transportado a través del cable carril hasta la descarga que se encuentra a 560m de distancia Ubicada en las coordenadas en donde tendrá una capacidad de almacenamiento de 20 Tm.

Esta infraestructura será la encargada de transportar el mineral extraído

desde la cancha de Almacenamiento hasta la cancha de Acopio y Carguío que distan una de otros aproximadamente 420 metros.

## **5.9. TRANSPORTE DE MINADO POR CABLE CARRIL**

### **5.9.1. Recurso humano**

La importancia que posee el capital humano en el sector de la industria minera es esencial, ya que con ello se realizará el trabajo de carguío del mineral no metálico desde el piso en donde se encuentran acumuladas los sacos llenos de carbón hacia la jaula transportadora del carbón y como de la misma manera para la descarga se utilizara personal capacitado y experimentado en dicho trabajo.

Dentro del área de transporte de mineral se utilizará cuatro personas en el carguío y tres personas en la descarga.

### **5.9.2. Equipos y herramientas**

Las herramientas a utilizarse son:

- Guantes de cuero.
- Casco de seguridad.
- Zapatos de punta de acero.
- Lentes contra el polvo.
- Respirador

### **5.9.3. Cálculo de producción actual**

A través de este sistema de transporte actualmente operativa, en el cual se emplea una jaula con una capacidad máxima de 540 Kg, especificada y calculada anteriormente en la ecuación 2.5; al mismo tiempo se emplea el motor de moto con la cual se realiza el traslado de la jaula sin carga desde la estación de descarga hacia la estación de carguío.

Aplicaremos definiciones físicas para calcular el trabajo mecánico que realiza el motor.

$$W = mg(h_1 - h_2) \quad [\text{Ec. 2.27}]$$

Donde:

W: Trabajo realizado por el motor, en N.m(Joule)

m: Capacidad máxima de jaula, en Kg.

g: Aceleración gravitatoria, en m/s<sup>2</sup>.

h<sub>1</sub> y h<sub>2</sub>: Diferencia de alturas entre estaciones, en m.

$$w = 540 \times 9.81(139.84)$$

$$w = 740\,788.416 \text{ J}$$

La velocidad con la cual jala el motor a la jaula sin carga, es de 13m/s; conociendo este valor, realizamos el cálculo para encontrar el tiempo estimado de traslado de jaula. Según la ecuación 2.3, y conociendo la longitud del cable de 528.14 m. tenemos lo siguiente:

$$t = \frac{528.14}{13}$$

$$t = 40.63 \text{ s} \approx 0.68 \text{ min}$$

Conociendo el valor del trabajo realizado por el motor, calcularemos la potencia con la cual funciona en dicho sistema.

$$P = \frac{W}{t} = F \cdot V \cdot \cos \theta \quad [\text{Ec. 2.28}]$$

Donde:

P: Potencia de motor, en watt.

w: Trabajo mecánico de motor en, N.m (Joule).

t: Tiempo, en segundos.

F: fuerza, en N.

V: Velocidad, en m/s.

θ: Angulo de inclinación del sistema, en grados sexagesimales.

$$P = \frac{740\,788.416}{40.63}$$

$$P = 18232.55 \text{ watt}$$

Y teniendo la siguiente equivalencia:

$$1 \text{ H.P} = 746 \text{ watt}$$

Por lo tanto  $18\,232.55 \cong 24.44 \text{ H.P}$

En este sistema de transporte actualmente operativo, el tiempo total de traslado del material explotado, la cual comprende la etapa de carguío (estación 1), traslado propiamente dicho (mediante el cable carril), descargue (estación 2) y el regreso de jaula vacía o sin carga (jalada por motor); donde:

- Tiempo de carguío 1:  $2 \text{ min}$
- Tiempo de traslado por cable carril de estación 1 hacia estación 2, con carga capacidad máxima:  $0.59 \text{ min}$
- Tiempo de descarga en estación 2:  $2 \text{ min}$
- Tiempo de regreso de jaula por cable carril de estación 2 hacia estación 1, sin carga:  $0.68 \text{ min}$

Tiempo total de recorrido de jaula desde el carguío hasta la llegada para carguío es de:  $5.27 \text{ min}$

Al haber obtenido el tiempo total, calcularemos la cantidad de recorridos realizados en una hora de trabajo:

$$\#R = \frac{60}{5.27} = 11.39$$

Por lo tanto en una hora de trabajo se realizaran un total de 11 recorridos; y la cantidad de material trasladado será de:



$$X = 0.540 \times 11$$

$$X = 5.94 \text{ Ton/h}$$

X: cantidad de carga trasladada por hora, en Ton/h

#### 5.9.4. Cálculo de tiempo de traslado del mineral no metálico

Mediante la ecuación 2.3 se calculó el tiempo de traslado del material explotado (carbón), desde el inicio del carguío (estación de carguío), hasta la descarga (estación de descarga); obteniendo un tiempo de 2.59 min.

En una hora de trabajo se realizara 23 recorridos como fue calculado anteriormente. La cantidad de carga en toneladas en cada recorrido es de 540Kg la cual es equivalente a 0.540 Toneladas.

Mediante estos resultados podemos calcular la cantidad de tonelaje por unidad de tiempo; es decir Ton/h.

$$X = 0.540 \times 23$$

$$X = 12.42 \text{ Ton/h}$$

Donde:

X: Cantidad de carga trasladada por hora, en Ton/h

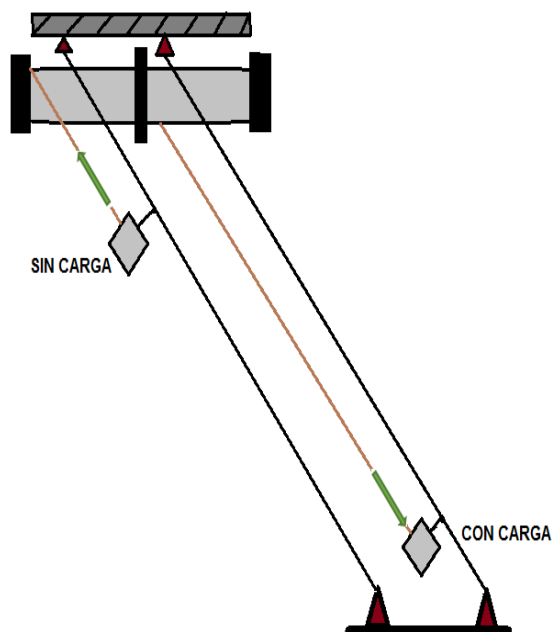
#### 5.9.5. Ciclo de traslado de transporte

El inicio de funcionamiento del sistema comienza en la estación de carguío (estación N° 1), lugar donde se almacena el carbón explotado; en este lugar se realiza el carguío de jaula; mientras esto ocurre, en la estación N°2 se encuentra otra jaula vacía esperando ser arrastrada por la jaula con carga. Esto ocurre porque existe una pendiente favorable para el deslizamiento de una de ellas que tenga cargas y al mismo tiempo se encuentre en la estación de carguío.

### 5.9.6. Rentabilidad del nuevo diseño de transporte cable carril

Mediante el resultado obtenido anteriormente, calcularemos la rentabilidad del nuevo diseño; la cual, se eliminó el motor y se adicionó una jaula, en donde el nuevo diseño funcionará por gravedad; es decir, la jaula que se encuentre con carga jala a la jaula que se encuentra sin carga.

Este nuevo sistema funcionará por encontrarse unido los tambores y el cable motriz de uno se enrolla, en cambio el siguiente se desenrolla; generando de esta manera el traslado de jaulas en sentidos contrarios.



**Fig. N° 44.** Esquema de funcionamiento por gravedad

La rentabilidad de nuevo diseño viene dado por la diferencia de tonelaje transportado por cada unidad de tiempo:

**Cuadro N.° 13.** Tonelaje de cada diseño

<b>Tonelaje de diseño operativo actual (Ton/h)</b>	<b>Tonelaje de nuevo diseño implementado (Ton/h)</b>
5.94 Ton/h	12.42 Ton/h

En donde la diferencia de tonelaje tanto del nuevo diseño implementado y del diseño actual operativo es de:

$$12.42 \text{ Ton/h} - 5.94 \text{ Ton/h} = 6.48 \text{ Ton/h}$$

$$\%X = \frac{6.48 \text{ Ton/h} \times 100}{5.94 \text{ Ton/h}} \%$$

$$\%X = 109.09\%$$

Mediante este resultado podemos afirmar que el nuevo diseño es rentable y optimo en el traslado de material explotado (carbón mineral), que comparado con la cantidad de carbón explotado con el diseño inicial la producción aumentaría en un 109.09%.

## 5.10. COMPARACIÓN DE COSTOS DE MANTENIMIENTO DEL SISTEMA OPERATIVO ACTUAL CON EL NUEVO DISEÑO

**Cuadro N.º 14.** Costo del sistema actual

<b><u>COSTO DEL SISTEMA ACTUAL DE TRANSPORTE</u></b>				
<b>ITEM</b>	<b>ACTIVIDADES</b>	<b>FRECUENCIA</b>	<b>COSTO</b>	<b>COSTO/AÑO</b>
<b>1</b>	Consumo de combustible	1 día	S/. 15.00	S/. 5,475.00
<b>2</b>	Mantenimiento de motor	20 días	S/. 85.00	S/. 1,551.25
<b>3</b>	Cambio de accesorios de motor	1 mes	S/. 20.00	S/. 240.00
<b>4</b>	Mantenimiento del cable carril	7 días	S/. 12.00	S/. 625.71
<b>5</b>	Cambio de sistema de arrastre	3 meses	S/. 150.00	S/. 600.00
<b>6</b>	Cambio de zapatas de freno(carrete)	1 año	S/. 50.00	S/. 50.00
<b>7</b>	Cambio de carburador	1 año	S/. 250.00	S/. 250.00
<b>8</b>	Cambio de batería	6 meses	S/. 220.00	S/. 440.00
<b>9</b>	Reparación de motor	1 año	S/. 1,000.00	S/. 1,000.00
			<b>COSTO TOTAL:</b>	<b>S/. 10,231.96</b>

**Cuadro N.º 15. Costo del nuevo diseño**

<b><u>COSTO CON EL NUEVO DISEÑO DE TRANSPORTE</u></b>				
<b>ITEM</b>	<b>ACTIVIDADES</b>	<b>FRECUENCIA</b>	<b>COSTO</b>	<b>COSTO/AÑO</b>
<b>1</b>	Mantenimiento del cable carril	7 días	S/. 12.00	S/. 1,251.43
<b>2</b>	Cambio de zapatas de freno(carrete)	1 año	S/. 50.00	S/. 50.00
			<b>COSTO TOTAL:</b>	<b>S/. 1,301.43</b>

**DIFERENCIA DE COSTOS**

S/. 10,231.96 → 100%  
S/. 1,301.43 → x

$$\Rightarrow x = \frac{1301.43 \times 100}{10231.96}$$

**87.28%**

$$\Rightarrow x = 12.72\%$$

### 5.11. VIDA ÚTIL DEL NUEVO DISEÑO

La vida útil se fija en el proyecto por las propiedades de los materiales con la cual ha sido construida; según la noma E. 060 de concreto armado, sostiene que las construcciones de acero, cubiertas y entresijos de perfiles acero o losas de hormigón armado tendrán una vida útil de 80 años, aunque esto depende de cómo se realice el mantenimiento de la estructura.

#### 5.11.1. Durabilidad.

La durabilidad es la capacidad de una estructura para soportar, durante la vida útil para la que fue proyectada. Durante ese tiempo la estructura debe mantener la idoneidad en su uso. Pasado ese plazo, se admite que no compense reparar ya que es de elevado coste, y su posible deterioro puede exigir la demolición del mismo.

Los agentes que pueden disminuir la durabilidad del hormigón son muchos, pero se clasifican en agentes mecánicos (sobrecargas,

vibraciones), físicos (temperatura, fuego), biológicos (microorganismos, vegetación), químicos (terrenos de sulfatos, productos químicos industriales).

Dentro del diseño del sistema de transporte se diseñara muros de concreto armado para soportes, los cuales según sus propiedades la vida útil o vida de diseño será de 50 años. Sin embargo, existen agentes que degradan el hormigón y/o corroen las araduras de la estructura.

Una de la formas para conseguir que la estructura alcance la duración de vida útil es elegir una forma estructural adecuada, evitando diseños que sean sensibles a la acción del agua. Otra forma es adoptar soluciones para facilitar el mantenimiento y la sustitución de elementos.

## CAPÍTULO 6

## DISCUSIÓN

- Visitando y observando sobre el sistema de transporte por cable carril, lugar en donde tomamos una decisión, teniendo en cuenta que el lugar de trabajo presta las facilidades para realizar trabajos de mayor producción con un nuevo diseño tal como se ha desarrollado, en donde se tendrá mayor ahorro tanto económico como de tiempo de traslado del mineral explotado.
- La planificación de transporte, basado en la concesión Juana, permitió el incremento de la producción de traslado del mineral explotado, lugar donde realiza las operaciones la empresa Carbojholay, obteniendo un alto rendimiento ya sea en el avance de tiempo de traslado como también una mayor producción bien económica. Por lo que la empresa indicada permitieron hacer realidad este planteamiento dentro de los tiempos mostrados.
- El análisis y desarrollo de la operatividad del transporte nos permitió realizar el nuevo diseño de todo el sistema de transporte en el cable carril, debido que se cuenta con una pendiente desde el punto de carguío hasta el punto de descarga, en donde es muy factible aprovechar la gravedad de la geografía, tal como se plasmó en el nuevo diseño.
- Al eliminarse el motor generador del movimiento de la jaula nos permitió reducir los costos de operación del motor y mantenimiento de la misma, en donde ahora con el nuevo diseño se trabajara con dos jaulas en diferentes líneas de cable carril para que así mientras una de las jaulas transporta el mineral explotado la otra regrese sin carga al punto de carguío, entonces la jaula que se encuentre cargada jala a la que se encuentre vacía. Por lo que el análisis descrito en la operación y el seguimiento de las actividades nos permitieron demostrar que el nuevo diseño del Sistema de Transporte por Cable Carril, permite generar rentabilidad y aumentar en gran magnitud.

### Conclusiones

- ✓ Se encontró un déficit en el tiempo de transporte del material explotado al utilizar un motor de 24.4 HP; por ello, se implementará el sistema de transporte adicionando una jaula, en la cual el funcionamiento es por gravedad. El nuevo diseño implementado es muy favorable por las condiciones del terreno; en donde la optimización en el transporte del carbón explotado es de 109.09% con respecto al diseño actual operativo.
- ✓ El costo de mantenimiento del nuevo diseño de transporte cable carril se reducirá en un 87.28% con respecto al sistema actual operativo, debido que ya no será necesario el uso de motor además el personal que labora no podrá estar en stanby durante todo el tiempo de descarga de la jaula transportador del mineral hasta que llegue a su origen de carguío tal como sucede a la actualidad, en donde con este nuevo diseño el trabajo de carguío y descarga será más continuo por razones que mientras una de las jaulas es cargada mientras que la otra descarga al mismo tiempo, teniendo como resultado la reducción de costos operativos y horas hombre aprovechadas.

### **Recomendaciones**

- ✓ Tomando en cuenta la seguridad del personal en el área de carguío del mineral (carbón) y con fin de evitar posibles accidentes en la concesión Juana, se recomienda implementar malla de seguridad en el perímetro de la plataforma del área de carguío.
  
- ✓ Se recomienda implantar como estándar la capacitación de los operadores del sistema de transporte cable carril.
  
- ✓ Se recomienda no exceder la capacidad máxima del sistema de transporte cable carril.

### **REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS**



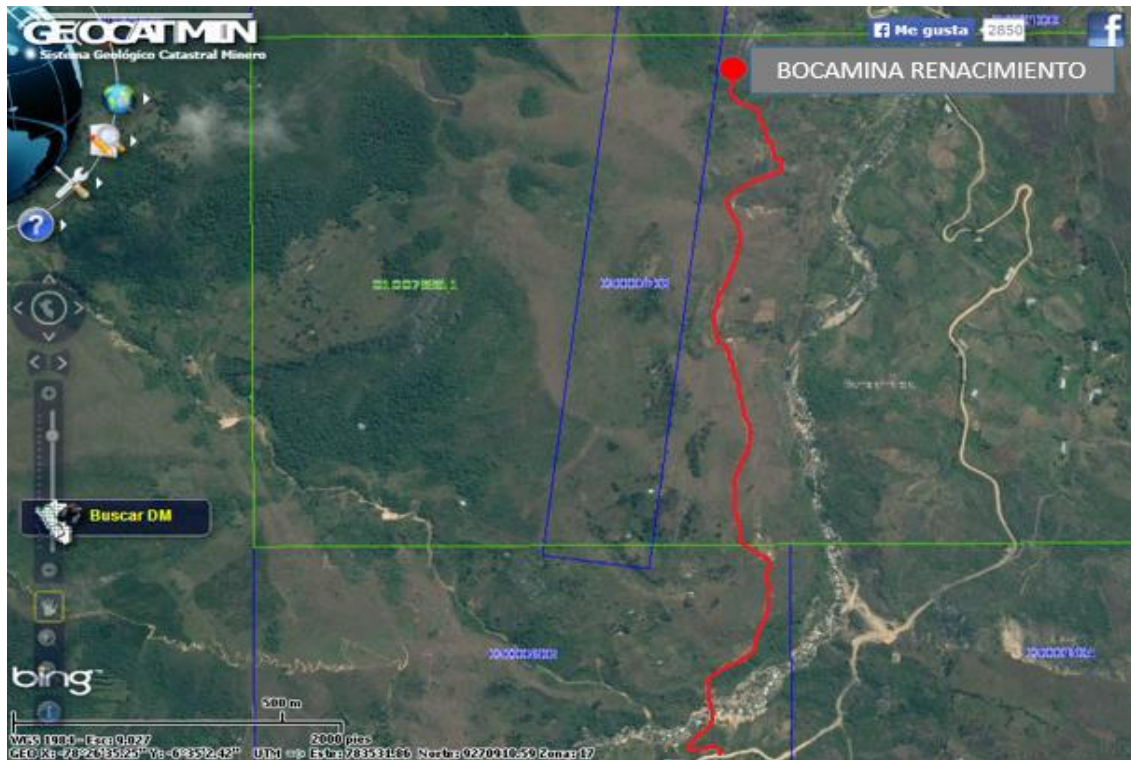
1. Arcay, A. O. (Setiembre de 2003). *Transporte por Cable*. España: Tórculos Artes Gráficas.
2. Arcay, A. O., & Miguel D. Rodríguez Bugarín, N. (2003). *Adecuación de los sistemas de transporte por cable*. España.
3. Armijos, M., & Ramírez, R. (2009). *Diseño de un teleferico turístico*. Quito.
4. Beer, F. P. (1996). *Meanica de Materiales*. Paris - Francia: MgGraw-Hill.
5. Carranza, J. M. (2012). *Remodelación area recreativa, operación y mantenimiento del teleférico amatitlán*. Guatemala.
6. Chimal, L. (2012). *Barreras dinámicas y control de rocas*. México.
7. Code of Practice on the Design, M. a. (2002). The Gvemment of the Hong Kong Special Administrative Region. En EMSD. Hong Kong.
8. Díaz, A. G (2007). *Elemetos de diseño para cálculo de flexibilidad en tuberias y aplicación de compensadores de dilatación*. Barcelona - España: coraci sa.
9. Gianni, A. R. (2005). *Estudio de pre factibilidad técnica y económica del transporte por cable aéreo*. Chile.
10. L., C. A. (s.f.). *Maquinas cálculo de taller*. España: Hispanoamericana.
11. Larburu. (1999). *Maquinas Protuario*. Madrid - España: Paraninfo.
12. Lassheras, J. M. (1999). *Asensores Y Escaleras Mecánicas*. Cevilla - España: Cedel.
13. McCormac, J. (1885). *Analisis de Estructuras*. Guatemala - Panama: Alfa y Omega.
14. Mejía,V. A (2011). *diseño y construccion de un sistema de transporte de carga por medio de cables para topograia de gran pendiente*. medellin.
15. Miravete. (1996). *Transportadores y Elevadores*. Zaragoza - España: Editorial Hispanoamericana.
16. Norton, R. (s.f.). *Diseño de Maquinas*. España: Prentice.

17. Novitsky, A. (1966). *Transporte y extraccion en minas a cielo abierto*. Buenos Aires: unversitaria.
18. P., F., E., R., & R., E. (2007). *Mecánica para ingenieros* . México: McGraw-Hill.
19. Pinedo, M. H. (2012). *Diseño estructural de un edificio de vivienda de albañilería confinada*. Lima: PUC.
20. SLIN PERÚ. S.A.C. (25 de Julio de 2015). [http://www.slinperu.com/productos\\_cabos.html](http://www.slinperu.com/productos_cabos.html). Obtenido de Productos industriales: [http://www.slinperu.com/productos\\_cabos.html](http://www.slinperu.com/productos_cabos.html)
21. Uribe, J. (s.f.). *Analisis de estructuras*. Colombia: Escuela de Ingenieria.

# ANEXOS

## ANEXO N° 1: FOTOGRAFÍAS

**FOTO 01:** Satelital (área de trabajo de la concesión Juana)



Fuente: Geocatmin

**FOTO N° 2:** Toma de datos del área de investigación



**FOTO N° 3:** Toma de datos con GPS



**FOTO N° 4:** Sistema de soporte de tensión de carguio



**FOTO N° 5: Sistema de operación con motor actual**



**FOTO N° 6: Diseño de carretel actual**



**FOTO N° 6:** toma de datos en el sistema de soporte de descarga



**FOTO N° 7:** cancha de descarga del mineral no metalico (carbon)



# **ANEXOS**

## **ANEXO N° 2: Diseño y Planos**