

**DISEÑO DE UN SISTEMA DE ELEVACIÓN PARA TRANSPORTE DE
PERSONAL EN LA MINA PROVIDENCIA DE LA COMPAÑÍA
GRANCOLOMBIAGOLD**

ELABORADO POR:

PABLO ANDRÉS ANGARITA SANCHEZ

CÓDIGO: 1088004000

CORREO: paangarita@utp.edu.co

TELEFONO: 3162408731

SANTIAGO ALFONSO PALACIO HENAO

CÓDIGO: 1088325081

CORREO: santy@utp.edu.co

TELEFONO: 3215281311

MODALIDAD:

TRABAJO DE INVESTIGACIÓN FORMATIVA

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA

FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA

18 DE ENERO DE 2019

CONTENIDO

Introducción	8
I. Planteamiento Del Problema	8
li. Justificación	8
lii. Objetivos	9
OBJETIVO GENERAL	9
OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	9
iv. Estructura Del Trabajo	10
Capítulo I: Preliminares.....	11
1.1. PARTES CONSTRUCTIVAS DE ELEVADORES DE PERSONAL EN APLICACIONES MINERAS	11
1.2. PARAMETROS DE ENTRADA	15
1.3. VELOCIDAD DE ELEVACIÓN	16
1.4. SOLICITACIONES DE CARGA.....	21
Capítulo li: Diseño	23
2.1. CABLE DE ACERO	23
2.1.1. <i>Paso</i>	23
2.1.2. <i>Núcleo O Alma</i>	24
2.1.3. <i>Enrollamiento Del Cable</i>	24
2.1.4. <i>Factor De Seguridad</i>	26
2.1.5. <i>Diámetro De Un Cable</i>	26
2.2. TAMBORES, POLEAS Y RANURAS	27
2.2.1. <i>Distancia Entre El Tambor Y La Polea</i>	28
2.2.2. <i>Diámetro Del Tambor</i>	30
2.2.3. <i>Polea</i>	32
2.3. PAR MOTOR	35
2.3.1. <i>Potencia</i>	36
2.3.2. <i>Motor</i>	39
2.4. ÁRBOL.....	40
Capítulo lii: Selección De Accesorios.....	50
3.1. ACOPLÉS.....	50
3.1.1. <i>Rotex Bfn</i>	50
3.1.2. <i>Revolex Kx-D</i>	51
3.2. RODAMIENTOS	51

3.3.	FRENOS	52
3.3.1.	<i>Frenos De Servicio</i>	53
3.3.2.	<i>Frenos De Emergencia</i>	53
3.4.	SKIPS.....	54
Capítulo Iv: Fabricación, Ensamble Y Montaje.....		55
5.1.	COMPRA DE EQUIPOS Y ACCESORIOS	55
5.2.	FABRICACIÓN Y MANUFACTURA.....	56
5.3.	ENSAMBLE.....	57
5.3.1.	<i>Construcción De Cimientos Para La Instalación De Las Elevadoras.</i> 57	
5.3.2.	<i>Logística De Instalación Y Alineación De Los Equipos.</i>	59
5.3.3.	<i>Protocolos Y Tipos De Pruebas.</i>	59
5.3.4.	<i>Operación De Las Elevadoras.</i>	62
5.3.5.	<i>Entrega Del Proyecto.</i>	63
5.3.6.	<i>Mantenimiento De Los Equipos.</i>	64
Conclusiones, Aportes Y Trabajos Futuros		65
6.1.	CONCLUSIONES	65
6.2.	APORTES.....	66
6.3.	TRABAJOS FUTUROS	66
Anexos.....		68
	ANEXO A SECCIONES TÍPICAS DE CABLES Y TORONES DE ACERO.	68
	ANEXO B CARACTERÍSTICAS PLANOS DE TAMBOR ELEVADORA 3620	69
	ANEXO C CARACTERÍSTICAS PLANOS DE TAMBOR ELEVADORA 3860	69
	ANEXO D PESO POR METRO, METROS POR TONELADA Y PIES POR TONELADA PARA CABLES DE ALAMBRE DE ACERO	71
	ANEXO E PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DE LOS CABLES DE ACERO	72
	ANEXO F FICHA TÉCNICA DE LAS CARACTERÍSTICAS DEL MOTOR SELECCIONADO.....	73
	ANEXO G PROPIEDADES MECÁNICAS DEL ACERO SAE 4340.....	74
	ANEXO H FACTOR DE CORRECCIÓN POR SUPERFICIE O PORCENTAJE DEL LÍMITE DE FATIGA EN FUNCIÓN DE LA DUREZA BRINELL Y LA RESISTENCIA DE TRACCIÓN	75
	ANEXO I EJE DE SECCIÓN CIRCULAR CON CAMBIO DE SECCIÓN SOMETIDA A FLEXIÓN	76
	ANEXO J EPÓXICO HILTI RE	77
	ANEXO L ACOPLAMIENTOS.....	78
	1. <i>Acople Rotex</i>	78
	2. <i>Acople Revolex</i>	81
	ANEXO M FICHA TÉCNICA GRASA ARCANOL.....	85
	ANEXO N PLANOS	86

1. <i>Ensamble Elevadora 3620</i>	86
2. <i>Ensamble Elevadora 3860</i>	87
3. <i>Castillete De Polea</i>	88
4. <i>Polea</i>	89
5. <i>Puntos De Anclaje Elevadora 3860</i>	90
6. <i>Puntos De Anclaje Elevadora 3620</i>	91
7. <i>Eje Elevadora 3620</i>	92
8. <i>Skip</i>	93
ANEXO Ñ FACTOR DE SERVICIO FS	94
ANEXO O FACTOR DE MÁXIMO FF	95
ANEXO P TABLA DE SELECCIÓN REDUCTOR	96
ANEXO Q FRENOS SE SERVICIO.....	97
ANEXO R FRENOS DE EMERGENCIA	98
ANEXO S ANÁLISIS DE VIBRACIONES	99
Bibliografía	100
Jurisdicción	100
Libros	100
Sitios Web	102

LISTA DE ILUSTRACIONES

ILUSTRACIÓN 1. TAMBOR UTILIZADO PARA LA ELEVADORA 3860	12
ILUSTRACIÓN 2. CONJUNTO MOTOR-REDUCTOR EN PROCESO DE INSTALACIÓN EN CUARTO DE MÁQUINAS 3860	12
ILUSTRACIÓN 3. CONSOLA DE CONTROL ELEVADORA 3620	13
ILUSTRACIÓN 4. CABLE ENROLLADO EN EL TAMBOR	14
ILUSTRACIÓN 5. SKIPS DE PERSONAL UTILIZADOS PARA LAS ELEVADORAS 3620 Y 3860 EN BOCAMINA ANTES DE SU INSTALACIÓN	14
ILUSTRACIÓN 6. POLEA ELEVADORA 3860.....	15
ILUSTRACIÓN 7. CASTILLETE ELEVADORA SILENCIO	15
ILUSTRACIÓN 8. ESQUEMA DE LOS SISTEMAS ELEVADORES	16
ILUSTRACIÓN 9. ELEMENTOS CONSTRUCTIVOS DE UN CABLE DE ACERO [14].....	23
ILUSTRACIÓN 10. PASOS TÍPICOS DE UN CABLE DE ACERO [14].....	24
ILUSTRACIÓN 11. REGLA PRÁCTICA PARA EL ENROLLAMIENTO DE CABLES CON TORSIÓN IZQUIERDA O DERECHA [14]	25
ILUSTRACIÓN 12. MANERA CORRECTA DE DETERMINAR EL DIÁMETRO DE UN CABLE DE ACERO [14].....	26
ILUSTRACIÓN 13. CONSTRUCCIÓN DE CABLE DE ACERO 6X19 [14].....	27
ILUSTRACIÓN 14. CONFIGURACIÓN TAMBOR – POLEA [14].....	29
ILUSTRACIÓN 15. PERFIL TÍPICO DE GARGANTA DE POLEA [14].....	34
ILUSTRACIÓN 16. DESIGNACIÓN PARA REDUCTORES INDUSTRIALES DE LA SERIE MC [12]	37
ILUSTRACIÓN 17. ESQUEMA DEL TAMBOR DE LA ELEVADORA 3620.....	41
ILUSTRACIÓN 18. DIAGRAMA DE CUERPO LIBRE EN PLANOS XY Y XZ	42
ILUSTRACIÓN 19. MANTENIMIENTO REALIZADO A LAS CHUMACERAS ACOPLADAS AL ÁRBOL	52
ILUSTRACIÓN 20. FRENOS SIBRE DE SERVICIO	53
ILUSTRACIÓN 21. FRENO DE EMERGENCIA VULKAN 10C	54
ILUSTRACIÓN 22. ACCESORIOS IMPLEMENTADOS EN EL TÚNEL INCLINADO 3860.....	61

LISTA DE TABLAS

TABLA 1. CARGA DE ROTURA EN FUNCIÓN DEL DIÁMETRO DEL CABLE DE ACERO [14].	27
TABLA 2. DIÁMETRO MÍNIMO DE TAMBORES EN FUNCIÓN DEL NÚMERO DE CAPAS ENROLLADAS [14]	30
TABLA 3. DIÁMETROS DE POLEA RECOMENDADOS [14]	33
TABLA 4. TOLERANCIA EN POLEAS Y CANALES [14]	33
TABLA 5. PRESIÓN MÁXIMA DE CABLES SOBRE POLEAS [14]	35

LISTA DE GRÁFICOS

GRÁFICO 1. REPRESENTACIÓN DE UN CICLO COMPLETO DE LA ELEVADORA 3620.....	20
GRÁFICO 2. REPRESENTACIÓN DE UN CICLO COMPLETO DE LA ELEVADORA 3860.....	20
GRÁFICO 3. DIAGRAMA DE MOMENTO FLECTOR	41
GRÁFICO 4. DIAGRAMAS V_Y Y M_{XY}	43
GRÁFICO 5. DIAGRAMAS V_Z Y M_{XZ}	44
GRÁFICO 6. PAR TORSOR Y MOMENTO FLEXIONANTE RESULTANTES.....	45

INTRODUCCION

I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

GranColombiaGold es una compañía colombiana de inversionistas canadienses, dedicada a la exploración y producción de oro y plata, con operaciones enfocadas en Marmato, Segovia y Remedios. Estas últimas dos, se encuentran ubicadas al nordeste del departamento de Antioquia en un área aproximada de 9000 hectáreas, donde se cuenta con tres minas subterráneas: a) El Silencio, b) Providencia y c) Sandra K, las cuales han operado por más de 150 años, periodo en el cual han producido un estimado de 5 millones de onzas de oro.

La mina Providencia cuenta con 15 niveles subterráneos, donde los trabajadores desempeñan sus labores a temperaturas hasta de 36°C. El descenso del personal hasta los niveles inferiores se realiza actualmente en vagonetas de personal por el túnel inclinado 3620 hasta el nivel ocho, con una capacidad de 15 personas por cada viaje; luego se continúa bajando por escaleras hasta el nivel 11 y después caminando por rampas hasta el nivel 15. Los tiempos empleados para este desplazamiento llegan a ser de más de una hora, además el gasto físico que implica subir y bajar las escaleras ocasiona que el rendimiento y el tiempo efectivo de trabajo sea menor a cinco horas por turno de trabajo, siendo esto un 62,5% del tiempo.

En los últimos años, la compañía ha invertido en el desarrollo de caminos peatonales, mejorando las condiciones de estos. Sin embargo, a medida que se profundiza en la mina, se hacen más largos los desplazamientos; por lo anterior, se debe mejorar el sistema de transporte del personal en esta mina, haciendo necesario implementar un nuevo sistema de elevación, el cual aumente la capacidad a 30 personas por cada viaje, a una velocidad de 0,8 m/s. Esta propuesta requiere de un proceso de diseño que permita poner en marcha dos elevadoras para el transporte de personal hacia los niveles inferiores, utilizando y adaptando equipos presentes en la compañía. La primera que vaya desde el nivel cero hasta el nivel ocho por el túnel inclinado 3620 y la segunda que vaya desde el nivel ocho al nivel doce por el túnel inclinado 3860.

II. JUSTIFICACIÓN

Con la instalación de las elevadoras de personal, se espera disminuir los tiempos de traslado de los operarios a los niveles inferiores en la mina Providencia, lo que implica un beneficio para los trabajadores, ya que la actividad física para llegar a su lugar de trabajo será disminuida considerablemente. Esto se traduce a un mayor rendimiento en su labor operacional y se espera a mediano plazo una mayor producción en la compañía. Esto generará una mayor estabilidad financiera y solidez económica, los cuales permitirán a largo plazo, la necesidad de incursionar en nuevos proyectos que aporten al crecimiento continuo de la empresa, además de permitir una profundización en los niveles de extracción.

Por otro lado, el desarrollo del proyecto fortalece los lazos entre la industria y la académica, lo cual es indispensable para permitirle a los futuros egresados de la Universidad Tecnológica de Pereira y específicamente de los estudiantes de la Facultad de Ingeniería Mecánica, un acercamiento con el ambiente laboral, donde puedan enfrentarse a problemas reales de la industria en los cuales, para llegar a la solución, deban aplicar y poner en práctica los conocimientos adquiridos durante el proceso formativo como potenciales ingenieros mecánicos.

III. OBJETIVOS

Objetivo general

Diseñar un sistema de elevación para transporte de personal, que permita mejorar las condiciones de ingreso de los trabajadores de la mina Providencia hacia los niveles inferiores.

Objetivos específicos

- Definir los aspectos del diseño de elevadores de tambor en aplicaciones mineras para el transporte de personal, con el fin de conocer la relación entre las dimensiones geométricas y la transferencia de energía del sistema de transmisión de potencia.
- Diseñar el sistema de elevación para transporte de personal, teniendo en cuenta los parámetros de operación, las solicitaciones de carga, las condiciones de seguridad y los aspectos relacionados con la integridad estructural del sistema.
- Establecer las especificaciones técnicas requeridas para la selección de componentes estandarizados y el sistema de potencia las cuales garanticen el correcto funcionamiento del dispositivo.
- Generar planos de diseño e información técnica con el fin de obtener la información necesaria para un futuro proceso de fabricación, contemplando las memorias de cálculo.
- Definir los aspectos y consideraciones técnicas, tenidas en cuenta en el proceso de diseño, que permitan una correcta fabricación, montaje e instalación del sistema de elevación para el personal.

IV. ESTRUCTURA DEL TRABAJO

Con la intención de dar un breve resumen a los elementos mecánicos y estructurales que componen los sistemas elevadores, el capítulo 1 ilustrará al lector y le dará la información básica que le permita familiarizarse con los términos que encontrará en el desarrollo del documento. Dado que el ambiente minero es apenas explorado para estudiantes de ingeniería mecánica, se hace un breve glosario que explica los componentes de elevadoras de personal para aplicaciones mineras, luego de esto se hace un estimado de los ciclos de operación del sistema elevador y finalmente se expondrán las solicitaciones de carga que debe soportar el sistema.

El capítulo 2 expone el diseño de sistemas de elevación, de acuerdo con los parámetros de operación mencionados en el capítulo anterior. Esto es, a) la selección de un cable que soporte las solicitaciones de carga, b) validar las dimensiones del tambor y la polea, dada la topografía del lugar de instalación, c) selección del sistema de potencia (motor-reductor), los cuales suplan la necesidad de par motor y velocidad y, finalmente, d) diseño del eje del tambor, el cual garantice seguridad e integridad estructural durante todo el ciclo de vida del sistema elevador.

El tercer capítulo presenta la metodología utilizada para la selección de componentes menores, tales como frenos de servicio, frenos de emergencia, acoples y rodamientos. Los planos de los componentes estructurales se encuentran en los anexos, así como las fichas técnicas de cada uno de los componentes seleccionados.

En el cuarto capítulo, se detalla la experiencia adquirida en el proceso de manufactura, selección e instalación de los componentes del sistema elevador. La logística aplicada al proceso de ensamble y el protocolo de pruebas realizadas para dar el visto bueno y realizar la entrega y cierre del proyecto.

Finalmente, el quinto capítulo expone las conclusiones, aportes y recomendaciones que dejaron este proceso investigativo-formativo, los cuales van en función de los objetivos definidos inicialmente en el capítulo.

CAPÍTULO I: PRELIMINARES

1.1. PARTES CONSTRUCTIVAS DE ELEVADORES DE PERSONAL EN APLICACIONES MINERAS

Los sistemas elevadores, también conocidos como winches o malacates, son máquinas utilizadas para levantar, bajar, empujar o tirar carga de mineral. Bajo determinadas exigencias de seguridad también pueden ser utilizados para bajar e izar personal al interior de la mina. Estos sistemas se desplazan a lo largo de túneles subterráneos lineales (también conocidos como apiques, galerías, pozos), los cuales son excavaciones verticales o con fuerte inclinación para ventilación, paso de mineral o personal.

En vista de que actualmente no existe una norma que rijan el diseño de elevadores de tambor para aplicaciones mineras, con el fin de encontrar una solución de diseño para el sistema propuesto, se encuentra apoyo en normas internacionales enfocadas a sistemas similares (ASME A17.1, Safety Code for Elevator and Escalators; ASME B30.7, Base-Mounted Drum Hoist; ANSI A10.5; Safety Requirements for material Hoists; EN 81.1, Safety rules for the construction and installation of lifts). Las cuales se centran en diseño de sistemas para transporte de personal y/o materiales, a través del enrollamiento de un cable en un tambor, como lo son los ascensores, elevadores eléctricos, hidráulicos o neumáticos, grúas móviles, puentes grúa o tecles, entre otros.

Dependiendo de las dimensiones y necesidad, un sistema elevador integra los siguientes componentes:

- **Tambor:** Es un cilindro o rodillo giratorio, mediante el cual se enrolla y desenrolla el cable, dependiendo del sentido de las revoluciones del motor, transmitidas mediante acoplamientos (ver ilustración 1). En el tambor debe existir el enrollamiento activo y el de reserva. El primero, es el que trabaja a plena carga y el segundo es el encargado de reducir el esfuerzo ejercido por el cable a la unión con el tambor (fuerza de aplastamiento) y sirve para compensar los cortes reglamentarios (dispuestos por el decreto 1886. *Reglamento de seguridad en las labores mineras subterráneas*. Pg 72. septiembre 21 de 2015 [1]) que se deben realizar a medida que aumenta la elongación del cable de acero, al vencer el límite de fluencia, desarrollando una deformación permanente, recuperando sólo la deformación de la zona correspondiente a la elástica. Los tambores pueden ser lisos, estirados, ranurados o cónicos. En la ilustración 1.a se aprecia el tambor utilizado para el elevador de personal del túnel inclinado 3860 antes de su restauración, la cual se explica en detalle en el capítulo 4. En la ilustración 1.b se muestra el mismo tambor restaurado.



a) Tambor antes de su recuperación



b) Tambor después de su recuperación

Ilustración 1. Tambor utilizado para la elevadora 3860

- **Motor-Reductor:** Es el propulsor del sistema, cuyas características se eligen de acuerdo al requerimiento, la capacidad de carga que se desea izar, las dimensiones y modelo del apique. La capacidad del sistema de elevación es una combinación entre el par del motor y el tren de engranajes de reducción de la relación de transmisión. En la ilustración 2 se presenta el conjunto motor reductor en el proceso de instalación del sistema elevador 3860.



Ilustración 2. Conjunto motor-reductor en proceso de instalación en cuarto de máquinas 3860

- **Sistema preventivo de control:** Es el dispositivo encargado de regular la velocidad, este actúa en caso de una súbita aceleración o desaceleración de la velocidad, ocasionado por una posible falla mecánica. Normalmente situado en un cuarto aparte, justo con todos los transformadores, PLC arrancadores y variadores de frecuencia.

- **Palancas de control:** Es la consola desde donde se maneja y controla el sistema elevador. Este debe ser manipulado solo por un operario o maquinista autorizado. La ilustración 3 muestra la consola de control de la elevadora 3620, la cual es igual para la elevadora 3860.



a) Consola de control



b) Actuadores de la consola de control

Ilustración 3. Consola de control elevadora 3620

- **Cables:** Los cables de transmisión empleados pueden ser de fibra vegetal, sintética textil o de acero [18]. Estos últimos son los comunes para el enrollamiento en tambores de sistemas elevadores, los cuales están compuestos por una determinada cantidad de torones o trenzas, en forma helicoidal alrededor de un núcleo o alma que los soporta. Cada uno de los torones está conformado por cierta cantidad de alambres los cuales también se encuentran colocados en forma helicoidal alrededor de un alambre central del torón. Los alambres en el torón están colocados en una forma geométrica definida y predetermined. La ilustración 4 muestra el cable enrollado en el tambor de la elevadora 3620.



Ilustración 4. Cable enrollado en el tambor

- **Skips:** También llamados jaulas, baldes, cubetas o vagón, es donde se deposita el material o, en aplicaciones para transporte de personal, los pasajeros (ver ilustración 5).



Ilustración 5. Skips de personal utilizados para las elevadoras 3620 y 3860 en bocamina antes de su instalación

- **Poleas:** Es una rueda acanalada que gira alrededor de un eje central, por el cual pasa el cable, en uno de sus extremos se encuentra sujeto al skip y en el otro se encuentra sujeto al tambor. La ilustración 6 muestra la polea usada para la elevadora 3860, la cual es idéntica en la elevadora 3620.



Ilustración 6. Polea elevadora 3860

- **Estructura de desplazamiento:** También denominado castillo, es la cúspide de la estructura del pozo, desde su cima, se soporta la caseta donde se encuentra instalada la polea que dirige el movimiento del cable. Está compuesto de una estructura vertical y una estructura inclinada, que sirve para sostener la torre vertical y contrarrestar la tensión de los cables. Esta estructura puede ser de madera o acero y debe respetar los reglamentos de seguridad existentes en la compañía [10]. La ilustración 7 muestra el castillete de una de las elevadoras utilizadas en la mina El Silencio.



Ilustración 7. Castillete elevadora Silencio

1.2. PARAMETROS DE ENTRADA

El objetivo principal del presente proyecto es aumentar el rendimiento y tiempo útil de trabajo de los colaboradores, para esto se propone transportar, de manera segura, 60 empleados entre los niveles 0 y 8, y 40 pasajeros entre los niveles 8 y 12, cada hora. El recorrido del sistema elevador entre el nivel 0 y 8 se realizará a través del túnel inclinado 3620. Mientras que el recorrido entre los niveles 8 y 12 se

realizará a través del túnel inclinado 3860. El túnel 3620 tiene una trayectoria $L=500$ m de con una inclinación $\alpha = 37^\circ$. Mientras que el túnel 3860 tiene una longitud $L=300$ m y una inclinación $\alpha = 35^\circ$ (ver ilustración 8). Los sistemas elevadores de los túneles 3620 y 3860 se llamarán a partir de ahora elevadora 3620 y elevadora 3860, respectivamente.

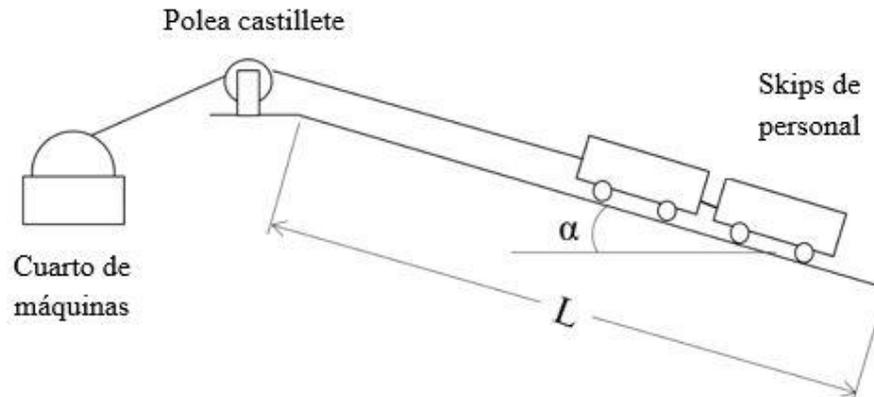


Ilustración 8. Esquema de los sistemas elevadores

Con el fin de determinar el ciclo de trabajo, las necesidades eléctricas, potencia consumida, dimensiones, capacidad y tamaño de los componentes mecánicos, se deben tener en cuenta determinados criterios básicos, los cuales son:

- Velocidad de elevación, incluyendo la aceleración, desaceleración y velocidad máxima.
- Peso máximo a izar
- Diámetro del cable de elevación

1.3. VELOCIDAD DE ELEVACIÓN

La velocidad del recorrido está dada por el “Reglamento de Seguridad en las Labores Mineras Subterráneas”:

“Los medios de transporte utilizados para la movilización del personal no deben desplazarse a una velocidad superior a tres kilómetros por hora (3 km/h) o cincuenta metros por minuto (50m/min)” (Decreto 1886, 2015, artículo 94 [1]).

Este valor se convierte en el punto de partida para el diseño, ya que con este se pueden calcular los ciclos de trabajo, los cuales describen el tiempo total necesario para transportar a los pasajeros desde el punto de partida hasta la estación final del recorrido de cada elevadora. Se entiende como ciclo completo el ascenso y descenso del montacargas (skip), teniendo en cuenta los periodos de ingreso, aceleración, velocidad plena, desaceleración y evacuación de los pasajeros.

En la experiencia que ha adquirido la compañía en distintos sistemas elevadores [10], la aceleración a , y desaceleración r , en los periodos de arranque y frenado, respectivamente, equivalen a:

$$a = r = 0,72 \frac{m}{s^2}$$

Teniendo en cuenta que la aceleración es la derivada de la velocidad v respecto al tiempo t , y que velocidad es la derivada del desplazamiento x , se tiene que

$$v = a \cdot t \tag{1.1}$$

Así, el tiempo de aceleración t_a y desaceleración t_r es,

$$t_a = t_r = \frac{0,72 \frac{m}{s^2}}{0,833 \frac{m}{s}}$$

$$t_a = 0,864 \text{ s}$$

La distancia que recorre en este intervalo de tiempo está dada por la ecuación 1.2,

$$x_a = \frac{v \cdot t}{2} \tag{1.2}$$

Despejado t de (1.1) y reemplazando en (1.2) se tiene,

$$x_a = \frac{v^2}{2 \cdot a} \tag{1.3}$$

De esta manera, reemplazando el valor de la velocidad dada por el decreto 1886 y la aceleración dada como parámetro de entrada, se tiene,

$$x_a = \frac{0,833^2 \frac{m^2}{s^2}}{2 \cdot 0,72 \frac{m}{s^2}}$$

$$x_a = 0,481 \text{ m}$$

El tiempo a plena velocidad t_p equivale al tiempo a velocidad constante durante todo el recorrido, menos el tiempo que demora en acelerar y desacelerar, esto es,

$$t_p = \frac{L}{v} - v \cdot \left(\frac{1}{a} + \frac{1}{r} \right) \quad (1.4)$$

En este caso particular, donde la aceleración es igual a la desaceleración,

$$t_p = \frac{L}{v} - \frac{2v}{a} \quad (1.5)$$

Para la elevadora 3620 se tiene un tiempo a plena velocidad de

$$t_{p3620} = \frac{500 \text{ m}}{0,833 \frac{\text{m}}{\text{s}}} - \frac{2 \cdot 0,833 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{0,72 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}}$$

$$t_{p3620} = 597,926 \text{ s}$$

Con el mismo procedimiento, para la elevadora 3860, se obtiene

$$t_{p3860} = 357,830 \text{ s}$$

El recorrido a velocidad plena está dado por el recorrido total L , menos el recorrido de aceleración y desaceleración,

$$x_p = L - 2 \cdot x_a \quad (1.6)$$

$$x_{p3620} = 500\text{m} - 2 \cdot 0,481\text{m}$$

$$x_{p3620} = 499,038 \text{ m}$$

$$x_{p3860} = 299,038 \text{ m}$$

El tiempo de un ciclo completo será,

$$t_c = 2 \cdot (2 \cdot t_a + t_p + t_s) \quad (1.7)$$

Donde t_s es el tiempo de reposo.

Reemplazando en la ecuación 1.7 se tiene

$$t_{c3620} = 2 \cdot (2 \cdot 0,864 \text{ s} + 597,926 \text{ s} + t_s)$$

Teniendo en cuenta que para la elevadora 3620, se esperan movilizar 60 personas por hora y trayecto, y que esta tendrá capacidad para 30 pasajeros (tres skips acoplados en serie con capacidad de 10 pasajeros cada uno), se obtiene que deben realizar dos viajes completos en una hora. Para la elevadora 3860 se requieren 40 pasajeros por hora, por trayecto, y esta espera tener capacidad para 20 pasajeros por viaje (dos skips acoplados en serie idénticos a los de la elevadora 3620) de esta manera se determina que ambas elevadoras deben realizar por lo menos dos viajes completos en cada hora, lo que es lo mismo a un viaje cada media hora. En otras palabras, un ciclo completo equivale a 1800 s.

Analíticamente,

$$n^\circ \left[\frac{\text{viajes}}{h} \right] = \frac{3600 \left[\frac{s}{h} \right]}{\text{ciclos} [s]} \quad (1.8)$$

Despejando ciclos, se tiene

$$\text{ciclos} = \frac{3600 \frac{s}{h}}{n^\circ \frac{\text{viajes}}{h}} = \frac{3600 \frac{s}{h}}{2 \frac{\text{viajes}}{h}}$$

$$\text{Ciclos} = 1800 \frac{s}{\text{viaje}} = t_c$$

Reemplazando en la ecuación 1.7 y despejando t_s , se tiene

$$\frac{t_c}{2} - 2 \cdot t_a - t_p = t_s$$

$$t_{s3620} = \frac{1800 \text{ s}}{2} - 2 \cdot 0,864 \text{ s} - 597,926 \text{ s}$$

$$t_{s3620} = 300,346 \text{ s} = 5 \text{ min}$$

Así mismo, para la elevadora 3860

$$t_{s3860} = 540,442 \text{ s} = 9 \text{ min}$$

Esto significa que, para alcanzar las metas propuestas por la mina, los pasajeros tendrán máximo 5 minutos para evacuar los skips de personal al terminar el trayecto en la elevadora 3620, mientras que los pasajeros de la elevadora 3860 tendrán un máximo de 9 minutos para evacuar el sistema.

Los gráficos 1 y 2 ilustran los ciclos de trabajo de ambas elevadoras, en un diagrama tiempo vs velocidad.

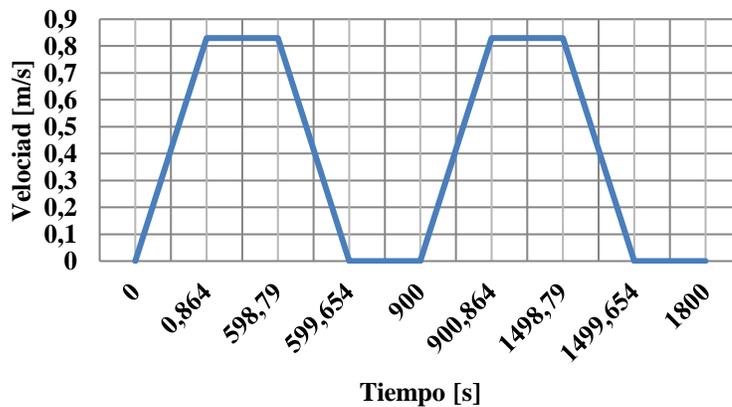


Gráfico 1. Representación de un ciclo completo de la elevadora 3620

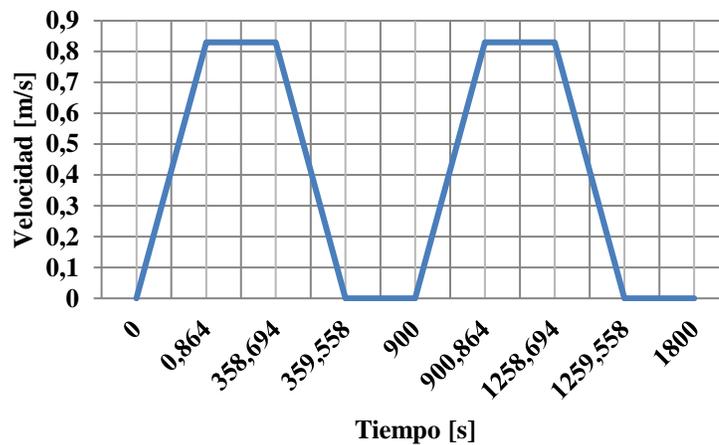


Gráfico 2. Representación de un ciclo completo de la elevadora 3860

Los gráficos 1 y 2 muestran el comportamiento esperado para ambas elevadoras en sus recorridos de aceleración, velocidad de crucero, desaceleración, evacuación e ingreso de pasajeros, aceleración, velocidad de crucero, desaceleración y evacuación en ingreso de personal. Esto equivale a un ciclo completo de las elevadoras, donde la elevadora 3620, transportará 30 pasajeros en cada recorrido

o viaje, con lo que, en un ciclo completo, que dura media hora, transportará 30 pasajeros desde el nivel 0 al nivel 8, en el recorrido de descenso, y 30 pasajeros desde el nivel 8 al nivel 0, en el recorrido de ascenso. Con lo que se lograrán movilizar en total 120 pasajeros por hora.

De manera similar ocurre con la elevadora 3860, a diferencia que esta transportará 80 pasajeros por hora, lo que equivale a 40 pasajeros por ciclo, 20 en recorrido de descenso y 20 en recorrido de ascenso entre los niveles 8 y 12. En ambos casos, cumpliendo con las metas proyectadas de la compañía.

1.4. SOLICITACIONES DE CARGA

Las solicitudes de carga del sistema básicamente son el peso de los pasajeros, de los skips y el cable de acero; para el peso de los pasajeros se recurre al área de talento humano, la cual hace en chequeo médico a cada colaborador al momento de ingresar en la compañía y han encontrado que los trabajadores de la empresa tienen una masa promedio de 100 kg.

La masa de los skips es dada por el fabricante y equivale a 135 kg (en los anexos se pueden encontrar sus características y planos).

La selección del cable se estudiará más a fondo en el siguiente capítulo, por ahora se utilizará un valor típico para este tipo de aplicaciones, el cual equivale a un cable de 7/8 in (22 mm), con una construcción 6x19 (en el capítulo 2.1.5., se explicará esta nomenclatura), el cual tiene una masa por metro de 2,11 kg.

De esta manera las solicitudes de carga para las elevadoras serán,

$$W_T = W_{pasajeros} + W_{skips} + W_{cable} \quad (1.9)$$

Donde W representa el peso.

$$W_{T3620} = W_{pasajeros} + W_{skips} + W_{cable}$$

Sabiendo que el peso equivale al producto de la masa por la aceleración de la gravedad, y asumiendo una gravedad promedio en el sitio de instalación, de $9.81 \frac{m}{s^2}$, se tiene

$$W_{T3620} = 9,81 \frac{m}{s^2} \cdot \left(100 \frac{kg}{pasajero} \cdot 10 \frac{pasajeros}{skip} \cdot 3 skips + 135 \frac{kg}{skip} \cdot 3 skips + 2,11 \frac{kg}{m} \cdot 500 m \right)$$

$$W_{T3620} = 43752,6 N$$

$$W_{T3860} = 9,81 \frac{m}{s^2} \cdot \left(100 \frac{kg}{pasajero} \cdot 10 \frac{pasajeros}{skip} \cdot 2 skips + 1300 \frac{kg}{skip} \cdot 2 skips \right. \\ \left. + 2,11 \frac{kg}{m} \cdot 300 m \right)$$

$$W_{T3860} = 28478,43 N$$

De esta manera se determinan las sollicitaciones de carga que debe soportar el sistema

CAPÍTULO II: DISEÑO

2.1. CABLE DE ACERO

Como se mencionó anteriormente, los cables de acero están compuestos de una determinada cantidad de torones, los cuales están compuestos por alambres. Ambos se encuentran colocados en forma helicoidal alrededor de un núcleo, o alma que los soporta (ver ilustración 9).

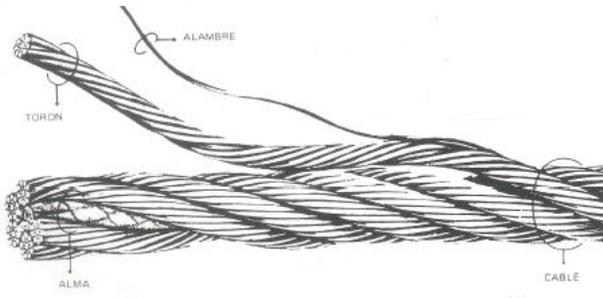
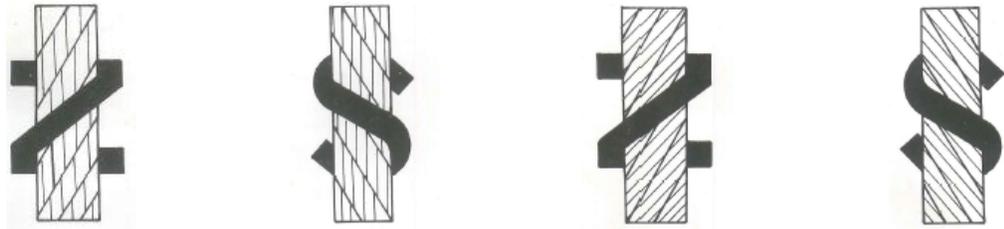


Ilustración 9. Elementos constructivos de un cable de acero [18]

2.1.1. PASO

Los cables de acero se clasifican por su torsión y el paso [18]. La torsión hace referencia a los torones, y puede ser derecha o izquierda. Una torsión derecha indica que los torones forman una hélice hacia la mano derecha, mientras que, en la torsión izquierda, los torones van colocados de manera helicoidal hacia la mano izquierda. El paso hace referencia a los alambres en los torones y puede ser de paso regular y paso lang. En el paso regular, la dirección de los alambres en los torones es opuesta a la dirección de los torones en el cable, mientras que en el paso lang los alambres se encuentran colocados en la misma dirección a la tienen sus torones en el cable. En la ilustración 10 se muestran algunos ejemplos del enrollamiento de los cables. El paso lang tienen excelente resistencia a la fatiga por flexión, y la angularidad de los alambres respecto al eje principal del cable resulta en una reducción de fatiga o doblamiento cuando este tipo de cable es usado sobre poleas o enrollado en un cilindro, por lo que se hace el cable ideal para el tipo de aplicación del presente proyecto.



a) Paso regular
derecho

b) Paso regular
izquierdo

c) Paso Lang
derecho

d) Paso Lang
izquierdo

Ilustración 10. Pasos típicos de un cable de acero [18]

2.1.2. NÚCLEO O ALMA

El propósito de la alama de un cable es permitir la colocación adecuada de los torones, de manera que les permita moverse libremente y así, cada torón asumirá la parte de carga proporcional que le corresponde en condiciones normales de trabajo. Los núcleos pueden ser de alma de fibra o de alma de acero [18]. El alma de fibra puede ser de fibra natural o sintética.

El alma de fibra es usada principalmente en aplicaciones donde se requiere alta flexibilidad y facilidad para recobrar su forma original. El alma de acero encuentra sus aplicaciones donde se requiere un grado máximo de resistencia, cuando se encuentren sometidos al aplastamiento y cuando el ambiente de trabajo sea bajo calor extremo [18].

2.1.3. ENROLLAMIENTO DEL CABLE

Una regla práctica para realizar un correcto enrollamiento del cable en un tambor es aplicando la regla de la mano derecha e izquierda, como se muestra en la ilustración 11. Para cables con torsión derecha, utilice la mano derecha y para cables con torsión izquierda, utilice la mano izquierda. La posición del dedo índice con respecto al puño indicará el lugar donde se debe anclar el cable en el tambor.

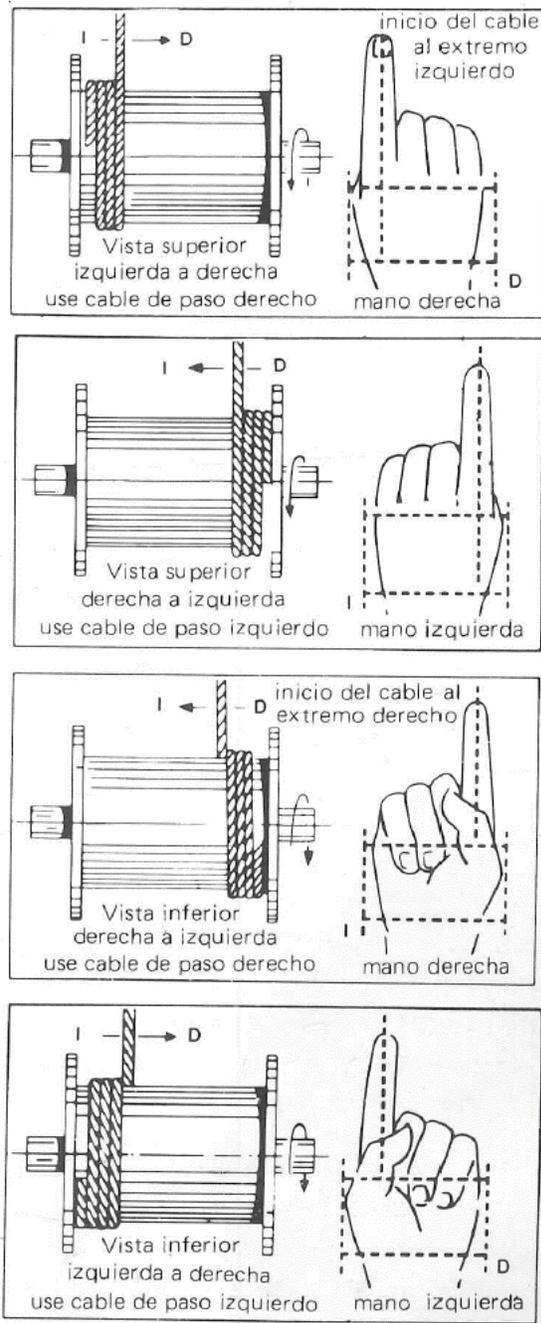


Ilustración 11. Regla práctica para el enrollamiento de cables con torsión izquierda o derecha [18]

2.1.4. FACTOR DE SEGURIDAD

Es el número por el cual se debe multiplicar la carga de trabajo para determinar la carga de rotura mínima del cable. Como se ha mencionado, no existe una norma que defina el diseño de elevadores para transporte de personal sobre planos inclinados. Sin embargo, la norma ASME A 17.1 [8] establece que el factor de seguridad para cables de elevadores verticales debe ser de 10, mientras que la norma AMSE B30.7 [2], la cual rige el diseño de winches, recomienda un factor de seguridad de 3,5 para cables sin resistencia al giro y de 5 para cables con resistencia al giro. Para la construcción de ascensores, la norma BS EN81-1 [6] exige un factor de seguridad igual a 12. Y la norma ANSI A10.5 [4] para diseño de cables para grúas y montacargas, indica que el factor de seguridad debe ser de 7. Por experiencia de la compañía en la instalación de este tipo de sistemas, se ha establecido en los Procedimientos Estándares de Trabajo Seguro, PETS [10] que el factor de seguridad para los cables usados para izaje no debe ser menor a 7, por lo cual, los diseños deben cumplir mínimo con este factor estándar de la compañía.

2.1.5. DIÁMETRO DE UN CABLE

En la ilustración 12 se muestra la manera correcta de determinar el diámetro de un cable con un pie de rey o calibrador; en el anexo A se muestran las secciones típicas de cables y torones de acero. La nomenclatura de los cables de acero está dada por dos números, donde el primero indica el número de torones y el segundo el número de alambres que conforman el torón. De esta manera un cable 6x7 está conformado por 6 torones de 7 alambres cada uno.

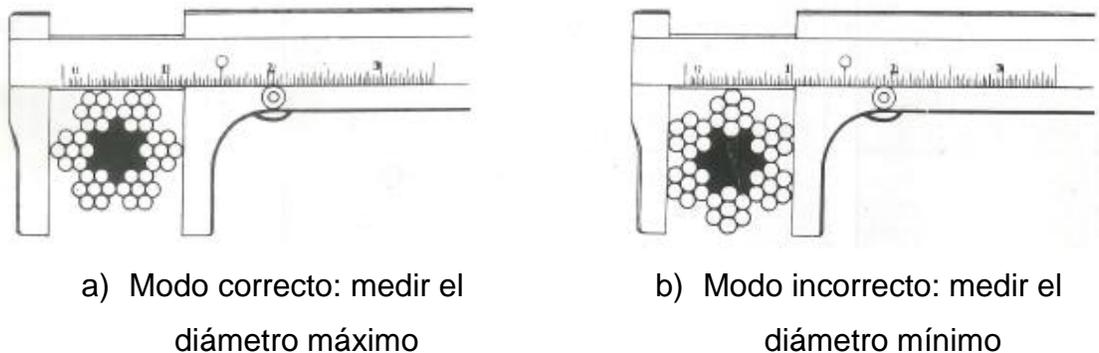


Ilustración 12. Manera correcta de determinar el diámetro de un cable de acero [18]

Según el catálogo “Cables: manejo, clasificación, factores de seguridad, usos y recomendaciones” de Emcocables [18], empresa dedicada a la fabricación de cables de acero, para la aplicación del presente proyecto, la construcción 6x19 es la recomendada (ver ilustración 13).

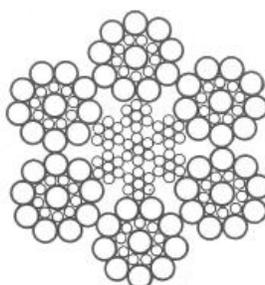


Ilustración 13. Construcción de cable de acero 6x19 [18]

Teniendo en cuenta las solicitaciones de carga que debe soportar el cable, calculadas en el capítulo anterior (43,7526 kN para la elevadora 3620 y 28,47842 kN para la elevadora 3860), y el factor de seguridad de 7 calculado en el ítem anterior, se tiene que el cable debe soportar mínimo 306,27 kN para la elevadora 3620 y 199,35 kN para la elevadora 3860. La tabla 1 muestra la carga de rotura nominal para distintos diámetros de cable con construcción 6x19. De esta manera se selecciona un cable de 7/8 in (22 mm) con carga de rotura nominal igual a 354 kN, obteniendo un factor de seguridad de 8 para la elevadora 3620 y 12 para la elevadora 3860. El proceso de diseño que se describe a continuación busca validar que las propiedades mecánicas de estos cables satisfagan las solicitaciones a las que será confinados.

Tabla 1. Carga de rotura en función del diámetro del cable de acero [18]

Diámetro Cable		Carga de Rotura Nominal					
		Alma de Acero			Alma de Fibra		
Pulg.	mm.	U.S. Tons.	Ton. Métrica	KN	U.S. Tons.	Ton. Métrica	KN
1/4	6,35	3,40	3,08	30	2,95	2,68	26
5/16	8	5,27	4,78	47	4,58	4,15	41
3/8	9,5	7,55	6,85	67	6,56	5,95	58
7/8	11	10,2	9,25	91	8,89	8,06	79
1/2	13	13,3	12,1	118	11,5	10,4	102
9/16	14,5	16,8	15,2	149	14,5	13,2	129
5/8	16	20,6	18,7	183	17,9	16,2	159
3/4	19	29,4	26,7	262	25,6	23,2	228
7/8	22	39,8	36,1	354	34,6	31,4	308
1	26	51,7	46,9	460	44,9	40,7	399
1 1/8	29	65,0	59,0	578	56,5	51,2	503

2.2. TAMBORES, POLEAS Y RANURAS

Mientras el tambor gira en uno y otro sentido, el cable se enrolla y desenrolla alrededor de este, pasando por una polea fija, alineada con el apique o centro el túnel inclinado, hasta su amarre en el skip. Al enrollarse y desenrollarse a lo ancho

del tambor, la alineación del cable se desvía hacia uno y otro lado, formando ángulos mayores o menores, según la anchura del tambor y la distancia de éste con la polea (ver ilustración 14), este ángulo se denomina ángulo de enrollamiento o de desviación, y se recomienda que sea lo menor posible con el objeto de evitar el rozamiento excesivo entre la polea y el cable [18].

2.2.1. DISTANCIA ENTRE EL TAMBOR Y LA POLEA

Con referencia a la ilustración 14, el cable ejerce una fuerza lateral F , cuya magnitud depende de la tracción T en el cable, y del ángulo de desviación. Al diseñar una instalación, se debe garantizar que este ángulo se mantenga en ambos lados del tambor, dentro de los límites que permiten el enrollamiento suave y normal, de manera que, al enrollarse el cable desde la pestaña del tambor, pueda terminar de formar una capa sobre el mismo.

La experiencia, según Emcocables, ha demostrado que el ángulo mínimo debe ser de $0,5^\circ$ y no se deben exceder los $1,5^\circ$. Esto significa que, por cada 10 m de distancia entre el tambor y la polea, el tambor no debe exceder los 0,262 m de anchura [18].

En los anexos B y C se muestran las características de los tambores usados en las elevadoras 3620 y 3860, los cuales tienen diámetros de 1400 mm y 1460 mm, respectivamente. Sus longitudes o el ancho de los tambores son 1025 mm y 700 mm, respectivamente. Dada la topografía del lugar, la distancia entre el sitio donde se desea instalar el castillete de la polea y el lugar donde se instalará el tambor (con su centro transversal alineado a la polea y al centro del apique) es de 36 m y 20 m para las elevadoras 3620 y 3860, respectivamente.

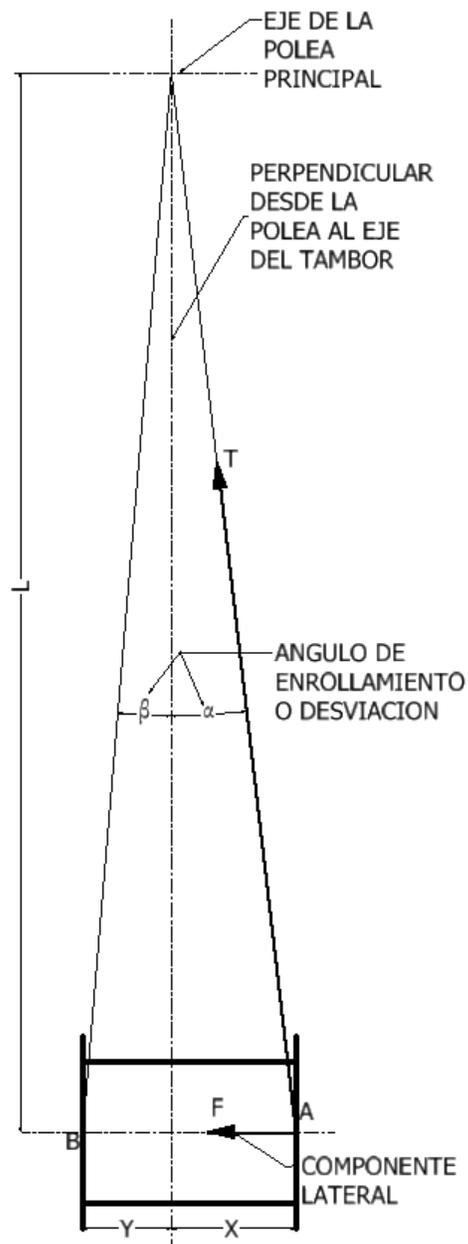


Ilustración 14. Configuración tambor – polea [18]

Utilizando la ecuación trigonométrica,

$$\sin \alpha = \frac{x}{L} \quad (2.1)$$

Donde L es la distancia entre la polea y tambor, x la mitad del ancho del tambor y α el ángulo de desviación. Se tiene que para la elevadora 3620 el ángulo de desviación es de $0,82^\circ$ y para la elevadora 3860 es de 1° , los cuales son menores a $1,5^\circ$.

2.2.2. DIÁMETRO DEL TAMBOR

En la tabla 2 se exponen los diámetros mínimos recomendados para tambores de malacates, de acuerdo con el número de capas del cable puestas sobre este.

Tabla 2. Diámetro mínimo de tambores en función del número de capas enrolladas [18]

Diámetro del cable en pulgadas	No. De capas de cable				
	1	2	3	4	5
	Diámetro del tambor (mínimo) pulg.				
1/2	12	16	21	28	38
5/8	15	20	27	35	45
3/4	18	24	32	42	54
7/8	21	28	37	49	63

Para determinar el número de capas, se tiene en cuenta la longitud total del cable que será enrollado y el ancho y diámetro del tambor. La longitud del cable enrollado es igual a la suma de la longitud del apique y la longitud equivalente a dos capas de enrollamiento en el tambor, las cuales son reglamentarias para evitar los esfuerzos de aplastamiento en el tramo útil del cable y para suplir los cortes de inspección.

De esta manera, la longitud de la primera capa será:

$$L_1 = \pi \cdot D \cdot N \quad (2.2)$$

Donde N corresponde al número de hilos que caben a lo ancho del tambor y D al diámetro del tambor.

Para la segunda capa,

$$L_2 = \pi \cdot (D + 2d) \cdot N \quad (2.3)$$

Donde d es el diámetro del cable.

Hasta aquí, las primeras dos capas reglamentarias o de respeto. Las siguientes capas serán el equivalente a la longitud del túnel inclinado. De esta manera se tiene:

$$L_3 = \pi \cdot (D + 4d) \cdot N,$$

$$L_4 = \pi \cdot (D + 6d) \cdot N$$

y así sucesivamente hasta completar la longitud de la trayectoria del elevador.

Para la elevadora 3620, con un diámetro del tambor de 1400 mm y un ancho de 1025 mm, con el cable 6x19 de 22 mm, se tiene que el número de hilos de cable que caben en el tambor es,

$$N = \frac{a}{d} \quad (2.4)$$

Donde a es el ancho del tambor y d el diámetro del cable. Así,

$$N_{3620} = \frac{1025}{22} = 46,59 \text{ hilos}$$

El número de hilos se aproxima por debajo (46 hilos), y el sobrante se cuenta como el primer hilo de la siguiente capa, ya que este es el que ayuda a que el cable se enrolle.

Para la elevadora 3860,

$$N_{3860} = \frac{700}{22} = 31,81 \text{ hilos} = 31 \text{ hilos}$$

De esta manera, con las ecuaciones 2.2 y 2.3

$$L_{1-3620} = \pi \cdot 1400 \cdot 46 = 202318,5669 \text{ mm} = 202,32 \text{ m}$$

$$L_{2-3620} = \pi \cdot (1400 + 2 \cdot 22) \cdot 46 = 208677,1504 \text{ mm} = 208,68 \text{ m}$$

A partir de ahora, las siguientes capas las conformarán la longitud del túnel, que en el caso del elevador 3620 es de 500 m.

$$L_{3-3620} = \pi \cdot (1400 + 4 \cdot 22) \cdot 46 = 215035,734 \text{ mm} = 215,04 \text{ m}$$

$$L_{4-3620} = \pi \cdot (1400 + 6 \cdot 22) \cdot 46 = 221394,3175 \text{ mm} = 221,39 \text{ m}$$

La suma de $L_{3-3620} + L_{4-3620} = 436,43 \text{ m}$, por lo que el tambor tendrá cuatro capas completas y un determinado número de hilos en la quinta capa, los cuales equivalen a la diferencia de la longitud del túnel inclinado y la suma del cable que conforman

L_{3-3620} y L_{4-3620} , así:

$$500 \text{ m} - 436,43 \text{ m} = 63,57 \text{ m}.$$

El número de hilos en la quinta capa está dado por la siguiente expresión,

$$N_5 = \frac{63,57 \text{ m}}{\pi \cdot (8d) \cdot 46} = \frac{63,57 \text{ m}}{\pi \cdot (8 \cdot 0,022\text{m}) \cdot 46} = 2,5 \text{ hilos}$$

De la tabla 2, se tiene que para un diámetro de 22 mm (7/8 in) y cuatro capas completas, el diámetro del tambor debe ser mínimo 49 veces el diámetro del cable [18], esto es,

$$D_{\text{tambor}} = 49 \cdot 22\text{mm} = 1078 \text{ mm}$$

Dado que el tambor disponible para instalar en la elevadora 3620 tiene un diámetro de 1400 mm, cumple con las dimensiones requeridas.

El mismo procedimiento se aplica para la elevadora 3860, teniendo en cuenta que el diámetro $D=1460$ mm, el ancho del tambor $a=700$ mm y la longitud del túnel $L=300$ m:

$$L_{1-3860} = \pi \cdot 1460 \cdot 31 = 142188,4835 \text{ mm} = 142,19 \text{ m}$$

$$L_{2-3860} = \pi \cdot (1460 + 2 \cdot 22) \cdot 31 = 146473,6159 \text{ mm} = 146,47 \text{ m}$$

$$L_{3-3860} = \pi \cdot (1460 + 4 \cdot 22) \cdot 31 = 150758,7483 \text{ mm} = 150,76 \text{ m}$$

$$L_{4-3860} = \pi \cdot (1460 + 6 \cdot 22) \cdot 31 = 155043,8806 \text{ mm} = 155,04 \text{ m}$$

La suma de $L_{3-3860} + L_{4-3860} = 305.8 \text{ m}$, de esta manera serán enrolladas 4 capas completas. Así, según la tabla 2, el diámetro del tambor debe ser mínimo 49 veces el diámetro del cable, lo que corresponde a 1078 mm; de esta manera, el diámetro del tambor disponible (1460 mm) cumple los requerimientos.

2.2.3. POLEA

La tabla 3 muestra los tamaños recomendados para poleas, según su tipo de cable. Siendo el cable seleccionado, un 6x19 de 22 mm de diámetro (7/8 in), se recomienda un diámetro de la polea igual a 63 veces el diámetro del cable. Aunque, según las condiciones de servicio, los diámetros recomendados pueden variar. Por ejemplo, en grandes distancias de elevación se emplean diámetros de polea iguales a 96 veces el diámetro del cable, para cables de 6x7, y para cables de 6x19, poleas con diámetro 90 veces el del cable. Así mismo, Emcocables asegura que en determinados servicios es aceptable usar diámetros de polea menores a los recomendados en la tabla 3, pero en ningún caso se recomienda que sea menor a los mínimos mostrados en la dicha tabla.

Tabla 3. Diámetros de polea recomendados [18]

Construcción del cable	Sujetos solamente a doblamiento	Recomendado	Mínimo
6 X 7	72	63	42
18 X 7	51	54	40
6 X 17 Seale	56	49	33
6 X 19 Seale	51	45	30
6 X 21 Filler Wire	45	39	26
6 X 25 Filler Wire	41	36	24
6 X 31	38	33	22
8 X 19 Seale	36	31	21
6 X 37	33	27	18
6 X 19 Warrington	31	27	18
6 X 42 Tiller	20	18	12

En este caso, se trabaja con el diámetro recomendado en la tabla 3, el cual es, para ambas elevadoras:

$$D = 63d = 63 \cdot 22 \text{ mm} = 1386 \text{ mm}$$

Las poleas deben contar con canales provistos de manera tal, que los cables se adapten fácilmente a la ranura, evitando que estos se encajen y agarren, provocando una reducción considerable en su vida útil. Por tal razón, y dado que los cables son fabricados con un diámetro ligeramente mayor al nominal, dichos canales deben estar provistos de tolerancias, las cuales se muestran en la tabla 4, con sus dimensiones indicadas.

Tabla 4. Tolerancia en poleas y canales [18]

Diámetro de cable (in) Máximo	Sobre tamaño diámetro del canal mínimo (in)	
0-3/4	+1/32	+1/16
7/8 - 1.1/8	+3/64	+3/32
1.1/4 - 1.1/2	+1/16	+1/8
1.9/16 - 2.1/4	+3/32	+3/16
2.3/6 y mayor	+1/8	+1/4

En la ilustración 15 se presenta un perfil típico de garganta de polea, formado por un arco de circunferencia, ligeramente mayor al diámetro del cable que va a instalarse, con un ángulo de contacto de 135° , el cual se enlaza con dos rectas tangentes, las cuales forman ángulos de 45° , obteniendo un perfil de entre 1,5 a 2 veces el diámetro del cable.

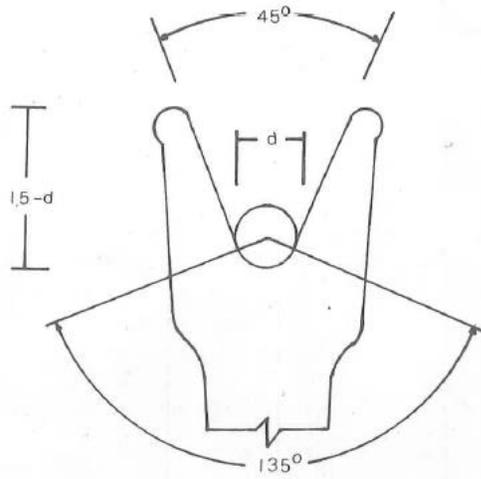


Ilustración 15. Perfil típico de garganta de polea [18]

El diseño de la polea (diámetro y material) está seriamente ligado a la carga que debe soportar el cable. Una mala selección del diámetro y material de la polea puede ocasionar una vida útil menor, tanto para el cable como para la polea misma. La ecuación 2.5, representa la presión unitaria p (en *psi*), en función de la tensión del cable T (en *libras*), el diámetro de la polea D y el diámetro del cable d (ambos en *pulgadas*)

$$p = \frac{2T}{Dd} \quad (2.5)$$

Así, para la elevadora 3620, con un diámetro de polea de 1,386 m (54,56 in), una tensión del cable de 43,75 kN (9831,46 lb) y un diámetro del cable de 7/8 in (22 mm), se tendrá una presión unitaria de

$$p_{3620} = \frac{2 \cdot 9831,46}{54,56 \cdot (7/8)} = 411,875 \text{ psi}$$

Para la elevadora 3860, se escoge la misma tiene una tensión en el cable de 6400 lb. Con un mismo diámetro de polea y de cable se tiene,

$$p_{3860} = \frac{2 \cdot 6400}{54,56 \cdot (7/8)} = 268,12 \text{ psi}$$

Observando la tabla 5 donde se presentan las presiones máximas de cables sobre poleas, se encuentra que para una construcción 6x19, paso *lang*, el material acero fundido tienen una presión máxima de 600 psi, la cual satisface la presión unitaria de la elevadora 3620. El material caucho duro satisface la elevadora 3860 con una presión de 2,58 MPa (375 psi). Sin embargo, por

practicidad y economía, se selecciona el mismo material con el fin hacer fabricar las dos poleas iguales, por esta misma razón se escogió el mismo diámetro para ambas poleas, con el fin de utilizar el mismo molde para la fabricación. De igual manera el diámetro del cable se escogió el mismo para ambos sistemas. Y como se verá en el desarrollo del proyecto, el sistema de frenos, acoples, motor y reductor serán los mismos para ambas.

Tabla 5. Presión máxima de cables sobre poleas [18]

Material del canal	Presión máxima sobre poleas (lb/in ²)										Observaciones		
	6 X 7		6 X 19 Seale				6 X 19 FW Warr.		6 X 37			8 X 19 Seale	
	Reg.	Lang.	Reg.	Lang.	Reg.	Lang.	Reg.	Lang.	Reg.	Lang.			
Caucho y cuera	60				100							Cable pasa sobre los bordes del laminado puesto en el canal de la polea	
Lona Comprimida	120				200								
Cuero	150				250								
Madera	150	165	200	220	250	275	300	330	350	385		Contra el grano	
Hierro gris fundido	285	315	380	425	475	525	570	625	665	730			
Caucho duro	340	375	450	500	560	615	670	740				Caucho mecánico 0.3 a 0.4 % carbono Debe ser de dureza uniforme Canal esmerilado templado	
Acero fundido	540	600	720	800	900	1000	1080	1200	1260	1400			
Hierro blanco	660	725	880	970	1100	1210	1320	1450	1540	1700			
Acero al manganeso	1500	1650	2000	2200	2500	2750	3000	3300	3500	4000			
Acero al cromo					4000								

En los anexos D y E, se muestran las propiedades físicas y mecánicas de los cables de acero.

2.3. PAR MOTOR

El par motor está dado por el producto de la fuerza o tensión (F) que genera el sistema y el radio del tambor (R), así:

$$\tau = F \cdot R \quad (2.6)$$

De esta manera,

$$\tau_{3620} = 43752,6 \text{ N} \cdot \frac{1,4}{2} \text{ m} = 30,63 \text{ KN} \cdot \text{m}$$

$$\tau_{3860} = 28478,43 \text{ N} \cdot \frac{1,46}{2} \text{ m} = 20,79 \text{ KN} \cdot \text{m}$$

2.3.1. POTENCIA

Como se mencionó anteriormente, el propósito es usar los mismos equipos a ambos sistemas, con el fin de disminuir costos al momento de la compra. Para esto se seleccionará el equipo para el sistema de mayores solicitudes de carga, el cual suplirá al otro. En este orden de ideas, el sistema que tiene mayor requerimiento es la elevadora 3620. Por lo que el elevador 3860 quedará un poco sobre diseñado, lo cual es conveniente para, en un futuro, continuar su trayectoria hasta el nivel 15 de la mina.

De igual manera, el proceso de diseño descrito a continuación es el mismo que se le aplicaría a la elevadora 3860.

El sistema de potencia se compone de un conjunto motor-reductor, los cuales serán los encargados de vencer las sollicitaciones de carga del sistema. Para la selección del reductor es necesario determinar el factor de servicio y el rendimiento.

El factor de servicio toma en cuenta los impactos de carga generados por el motor y las máquinas propulsadas. Los valores recomendados con respecto al campo de operación, máquinas propulsadas y periodos de operación son provistos en el anexo Ñ, el cual se aplica y es válido para motores eléctricos usados como máquinas de conducción. Para motores de combustión interna se aplican otros valores de corrección. Para elevadores de pasajeros, el catálogo recomienda contactarse con los ingenieros de SEW-EURODRIVE, los cuales han recomendado un factor de servicio de 4.

El rendimiento de los reductores se determina por la fricción de engranajes y rodamientos. La eficiencia de partida de la unidad es siempre menor que su eficiencia en la velocidad de operación. La eficiencia de los reductores helicoidales y cónico-helicoidales de la serie MC varía dependiendo el número de etapas de engranes. Basados en la potencia nominal, el rendimiento es aproximadamente:

- MC2P: 97%
- MC3P: 95.5%
- MC2R: 97%
- MC3R: 95.5%

Donde los dígitos MC hacen referencia a la serie del reductor, el tercer dígito hace referencia al número de etapas de reducción y el cuarto dígito hace referencia al tipo de reductor, siendo P ejes paralelos y R cónico de ángulo recto. La designación del reductor la componen otros 4 dígitos. En la ilustración 16 se explica detalladamente.

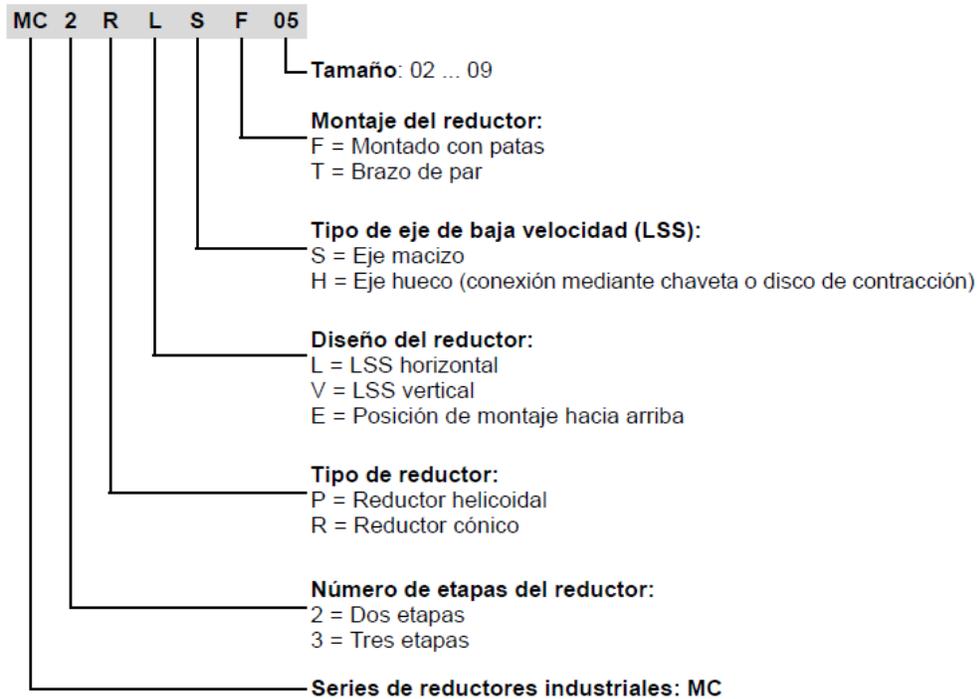


Ilustración 16. Designación para reductores industriales de la serie MC [14]

El tipo de reductor usado en distintos montajes de la compañía es de la designación MC3P, por lo que el rendimiento del reductor es de 95.5%.

El primer paso para la selección del reductor es calcular la relación de transmisión del reductor. Para esto se parte de que los motores de altos par motor trabajan a una velocidad de 1800 rpm, la cual viene siendo la velocidad angular a la entra del reductor. Sabiendo que la velocidad lineal del skip es de 0,8333 m/s, es posible conocer la velocidad angular del tambor, la cual viene siendo la velocidad a la salida del reductor. Basados en la siguiente expresión, se tiene:

$$n_2 = \frac{60 \cdot V}{\pi \cdot D} \quad (2.7)$$

Donde V corresponde a la velocidad lineal en m/s y D al diámetro del tambor, se tiene la velocidad angular en revoluciones por minuto (rev/min ó rpm).

$$n_2 = \frac{60 \cdot 0,8333}{\pi \cdot 1,4} = 11.322 \frac{rev}{min}$$

De esta manera, la relación de transmisión es,

$$i = \frac{n_1}{n_2} \quad (2.8)$$

$$i = \frac{1800 \text{ rpm}}{11.322 \text{ rpm}} = 158.98$$

Este valor de teórico se usa para seleccionar una relación de transmisión nominal en el anexo P, aproximando por el más cercano. En esta tabla se encuentra que no hay relación de transmisión nominal para este valor de i , por lo que se utiliza la potencia nominal como factor determinante para la selección. De igual manera, en la práctica se utilizará un variador de frecuencia en el motor, el cual permite obtener las relaciones de transmisión necesarias para operar el sistema.

El segundo paso es el cálculo de la potencia de operación o potencia de entrada del reductor, la cual está dada por la expresión,

$$P_{K1} = \frac{M_{K2} \cdot n_2}{9.550 \cdot \eta} \quad (2.9)$$

Donde M_{K2} representa el par motor a la salida del reductor, y η la eficiencia del reductor.

Reemplazando en 2.9 se tiene:

$$P_{K1} = \frac{30,63 \text{ kN} \cdot \text{m} \cdot 11,322 \frac{rev}{min}}{9,550 \cdot 0,955} = 38,02 \text{ kW}$$

El tercer paso es especificar el tamaño del reductor y la relación de transmisión. Así, la potencia nominal requerida por el reductor P_{N1} , se calcula utilizando la potencia de entrada P_{K1} y el factor de servicio $Fs=2$, utilizando la siguiente expresión,

$$P_{N1} \geq P_{K1} \cdot Fs \quad (2.10)$$

Reemplazando, se tiene

$$P_{N1} \geq 38,02 \text{ kW} \cdot 2 = 76,04 \text{ kW}$$

Se hace necesario conocer el par motor nominal, el cual debe ser mayor al troque de diseño con base a las solicitaciones de carga a la salida del reductor, para hacer la correcta selección del reductor. El par motor nominal se determina por medio de la siguiente expresión,

$$M_{N2} = \frac{P_{N1}}{n_2} \quad (2.11)$$

$$M_{N2} = \frac{76.04 \text{ kW}}{11.322 \text{ rpm}} \cdot 9.55 = 64,14 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

Con este valor, se busca en el catálogo del fabricante, un reductor que satisfaga las condiciones de operación, las cuales son,

$$n_1 = 1800 \text{ rpm}$$

$$M_{N2} = 65 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

Tipo de montaje del reductor: a piso (L)

Con estos datos, en el anexo P se muestra la sección del catálogo que cumple estos requerimientos, con lo cual se selecciona un reductor que satisfaga la potencia nominal P_{N1} . El reductor seleccionado es un MC3PLSF09, el cual tiene una relación de transmisión nominal $i_n = 100$, una relación de transmisión exacta $i_{ex} = 93,94$, a una potencia nominal $P_{N1} = 134 \text{ kW}$ y un par motor nominal $M_{N2} = 64,2 \text{ kN} \cdot \text{m}$.

Así, se tiene que el variador de frecuencia debe regular la velocidad del motor de la siguiente manera, despejando de la expresión 2.8 el termino n_1 , así:

$$n_1 = i_{ex} \cdot n_2$$

$$n_1 = 93,94 \cdot 11,322 \frac{\text{rev}}{\text{min}} = 1063,589 \frac{\text{rev}}{\text{min}}$$

2.3.2. MOTOR

Para la selección del motor, se tiene en cuenta la potencia nominal del reductor, la cual en caballos de vapor equivale a 179,56 HP. Se escoge un motor comercial, aproximando por encima, el cuál es de 200 HP. Luego se verifica que esta potencia sea menor a la máxima permitida por el reductor, para que no vaya a verse afectada la vida útil del equipo. Así, la potencia máxima permitida P_{k1zul} , viene dada por la siguiente expresión,

$$P_{k1 zul} = \frac{2 \cdot P_{N1}}{F_F} \quad (2.12)$$

Donde F_F representa el factor máximo y depende de la frecuencia de carga máxima por hora. En el anexo O, para una frecuencia de 4 recorridos por hora, el factor máximo $F_F = 1,0$. Así,

$$P_{k1 zul} = 2 \cdot P_{N1} = 2 \cdot 134 = 268 \text{ kW} = 240,6 \text{ HP}$$

Por lo tanto, el motor nunca alcanzará estos valores. En el anexo F se muestran las especificaciones técnicas del motor.

2.4. ÁRBOL

Cada uno de los tambores disponibles en la empresa, para utilizar en las elevadoras de personal, vienen ensamblados a un árbol. El procedimiento que se expone a continuación busca validar que las dimensiones de dichos arboles satisfacen las condiciones del sistema, teniendo en cuenta su material. En caso de que los cálculos muestren una deficiencia en el sistema, se deberá mandar a fabricar un nuevo árbol de un material con mejores propiedades mecánicas, ya que modificar la geometría implica modificar el diseño de los tambores.

Teniendo en cuenta que la elevadora 3620 soportará mayores esfuerzos, que su diámetro es menor al de la elevadora 3860 y que el material de ambos arboles es el mismo, basta con verificar que el árbol de la elevadora 3620 cumple los requerimientos exigidos para demostrar que el árbol de la elevadora 3860 también satisface estas condiciones. En todo caso, el análisis de diseño que se utilizó para la elevadora 3620, y que se expone a continuación, fue el mismo que se utilizó para la elevadora 3860, pero que se obvia en el presente escrito para dar mayor brevedad a lo expuesto.

La ilustración 17 muestra un esquema de la elevadora 3620, donde en el plano A actúa el momento torsor que transmite el reductor por medio de un acople Vulkan. En el plano B actúan dos reacciones producto del anclaje fijo de la chumacera. La tensión a la que se ve sometido el tambor actúa a lo ancho de este, para efectos de cálculo se estudia el momento en el que el cable se sitúa en el centro del tambor, el cual se ha denominado plano C. En el plano D se encuentra la segunda chumacera, la cual genera dos reacciones.

El sistema cuenta con una entrada y una salida, por lo que una sumatoria de momentos muestra que ambos torques son iguales, los cuales fueron calculados anteriormente y equivalen 30,63 kN·m, en el gráfico 3 se muestra este fenómeno.

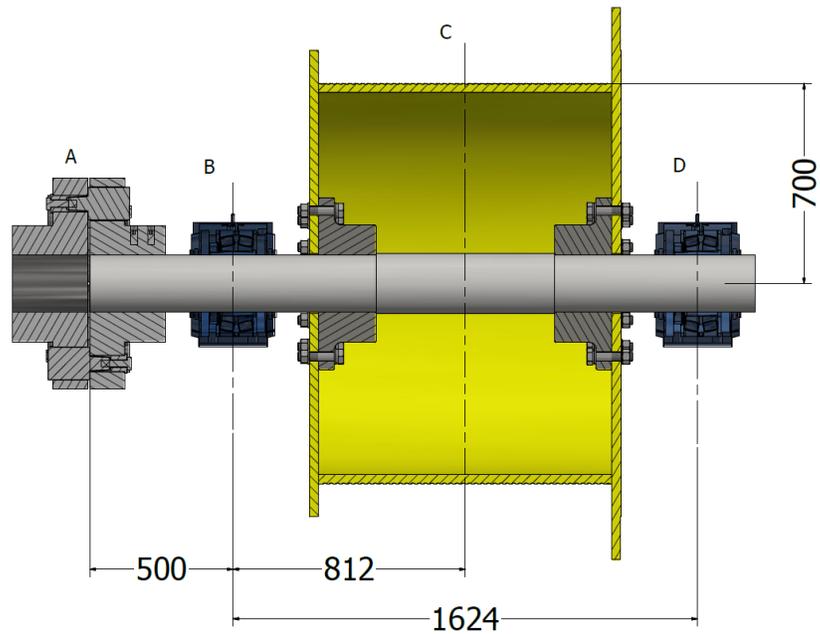


Ilustración 17. Esquema del tambor de la elevadora 3620

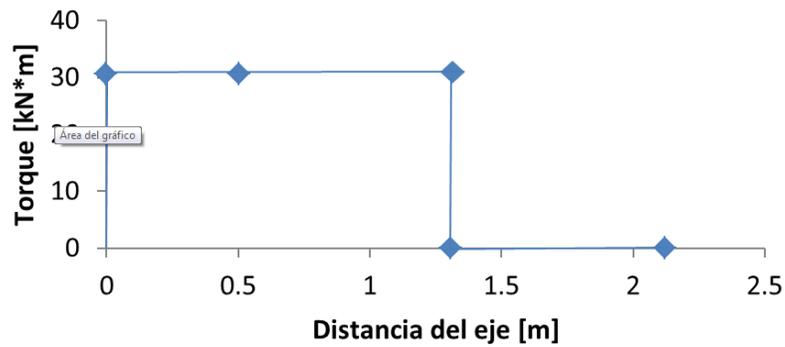


Gráfico 3. Diagrama de momento flector

En el plano B , se definen las dos reacciones como R_{By} y R_{Bz} ; La tensión en el plano C se descompone en T_y y T_z ; Y las reacciones en el plano D se descomponen en R_{Dx} y R_{Dy} . A continuación, se ilustran los diagramas de cuerpo libre en cada árbol.

Dados los diagramas de fuerza y momento, se sacan las ecuaciones de equilibrio y sus relaciones.

$$\Sigma F_x = 0;$$

$$\Sigma F_y = 0; \quad R_{By} + R_{Dy} - T_y = 0,$$

$$\Sigma F_z = 0; \quad R_{Bz} + R_{Dz} - T_z = 0,$$

$$\Sigma M_{Bxy} = 0; \quad 1,624 \cdot R_{Dy} - 0,812 \cdot T_y = 0,$$

$$\Sigma M_{Bxz} = 0; \quad 1,624 \cdot R_{Dz} - 0,812 \cdot T_z = 0,$$

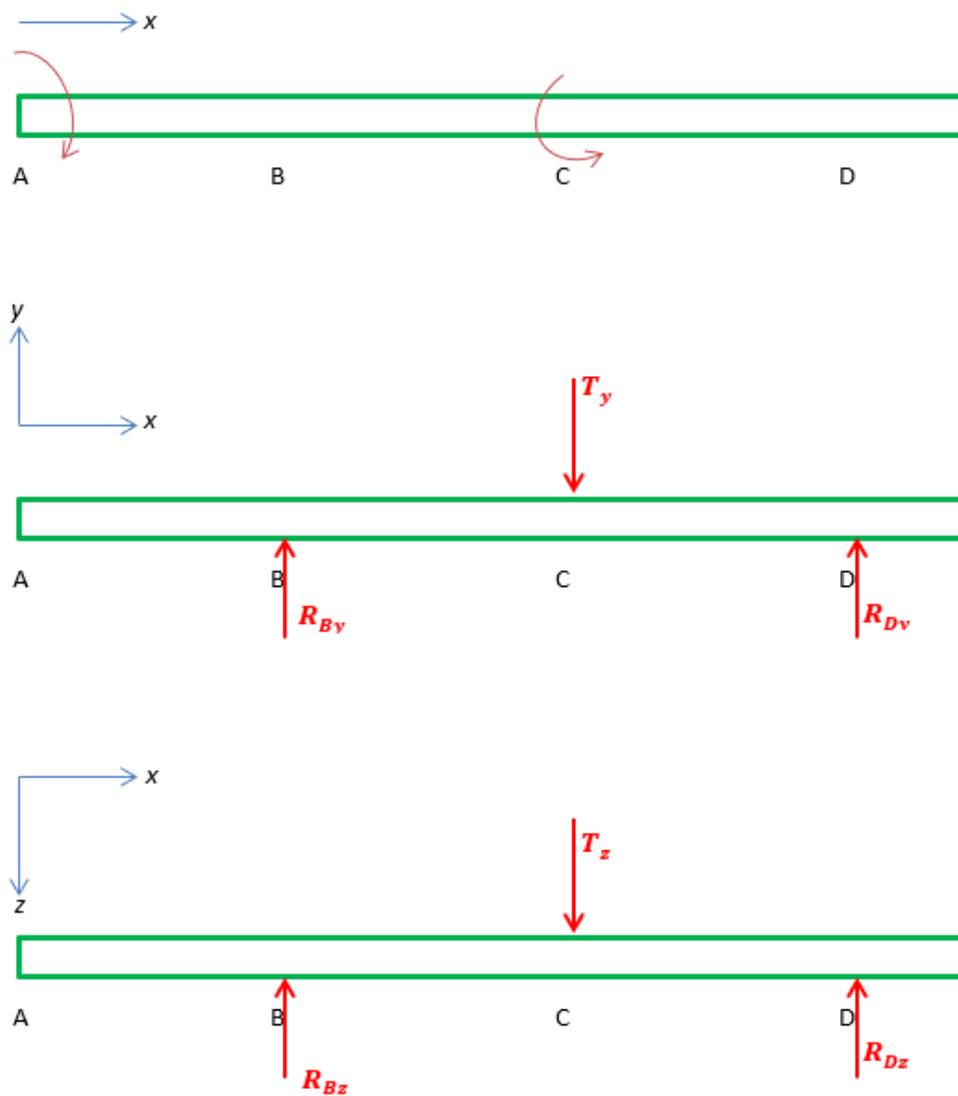


Ilustración 18. Diagrama de cuerpo libre en planos xy y xz

Sabiendo que la fuerza T se aplica con un ángulo de 10° , se resuelve el sistema de ecuaciones obteniendo:

$$T_z = 43,085 \text{ kN} \quad T_y = 7,597 \text{ kN}$$

$$R_{Bz} = 21,543 \text{ kN} \quad R_{By} = 3,798 \text{ kN}$$

$$R_{Dz} = 21,543 \text{ kN} \quad R_{Dy} = 3,798 \text{ kN}$$

Una vez calculadas todas las reacciones, se realizan los gráficos 4 y 5, los cuales corresponden a los diagramas de fuerza cortante y momento flector, sabiendo que el momento flector equivale al área bajo la curva de fuerza cortante, siendo la base la distancia en el eje x y la altura la fuerza cortante v :

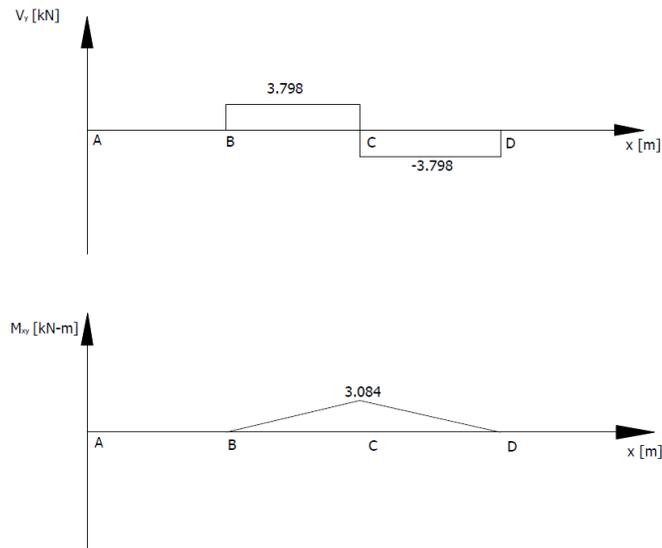


Gráfico 4. Diagramas V_y y M_x

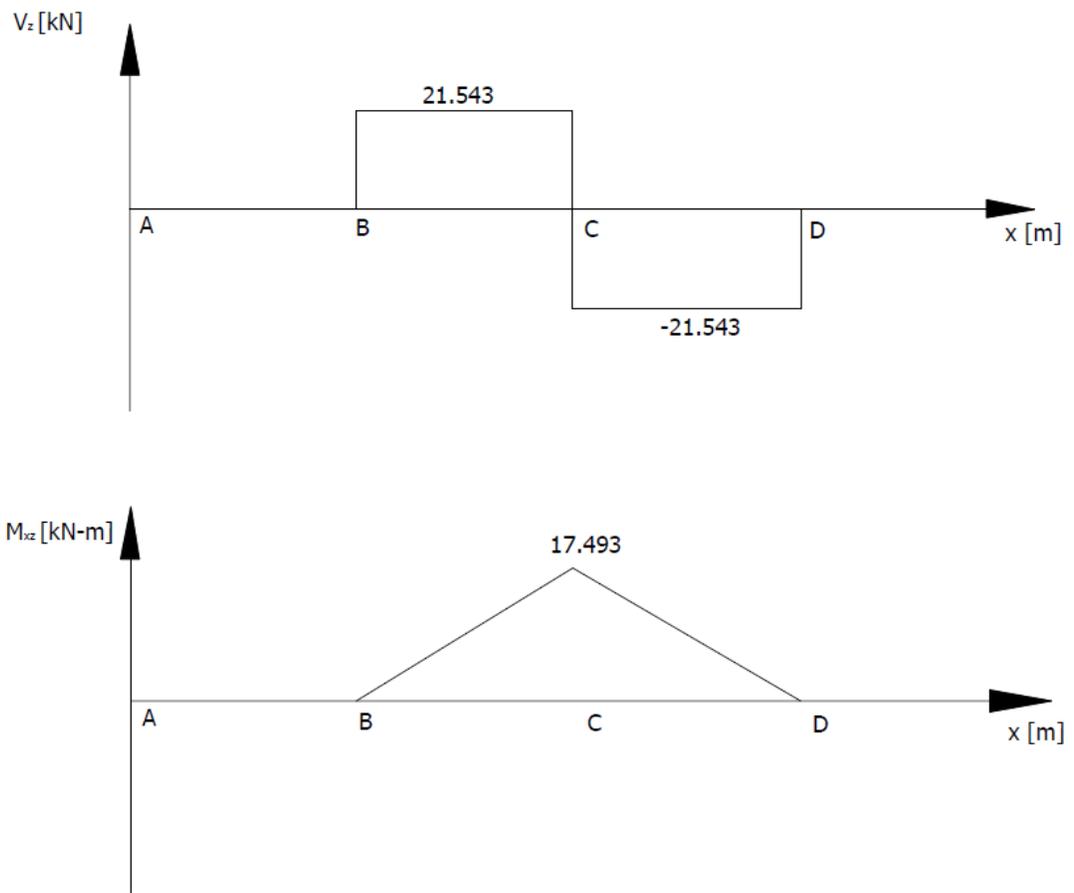


Gráfico 5. Diagramas Vz y Mxz

En el gráfico 6 se muestran los diagramas de par torsor T y momento flector resultante M_R , el cual equivale a

$$M_R = \sqrt{M_{xy}^2 + M_{xy}^2} \quad (2.13)$$

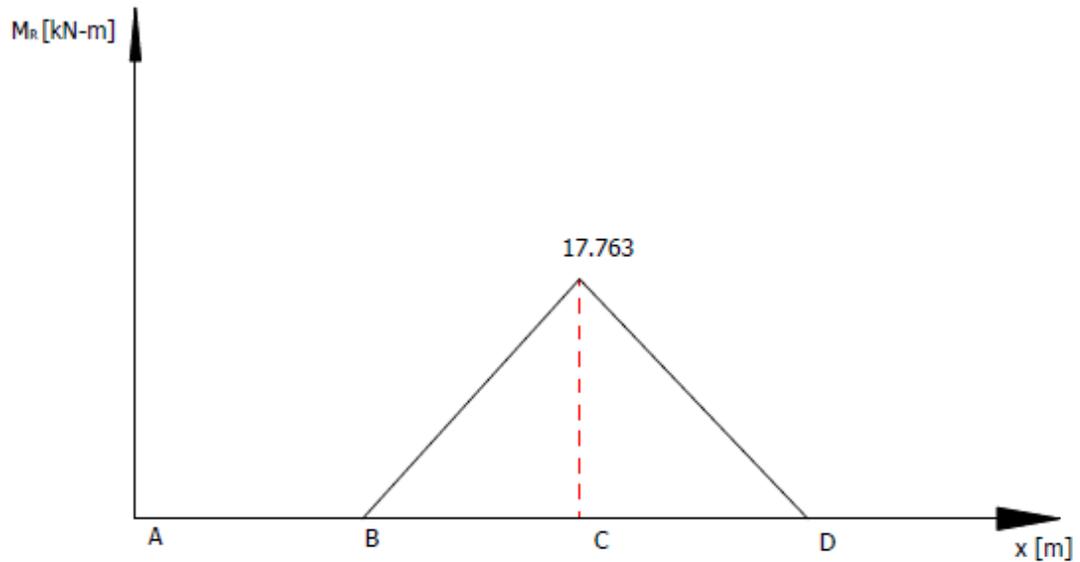
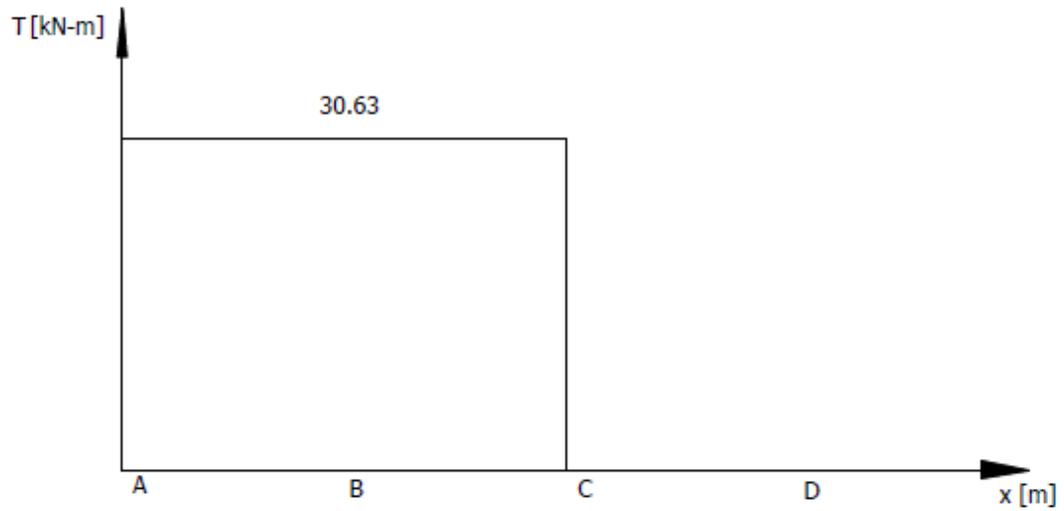


Gráfico 6. Par torsor y momento flexionante resultantes

Observando los diagramas, se concluye que el punto carga pico en el eje, ocurre en la sección C. Partiendo de la teoría de falla por distorsión de la energía (Teoría de Von Mises [12]), se tiene la siguiente ecuación:

$$\frac{1}{N} = \left[\left(\frac{S_{ea}}{S_{na}} + \frac{S_{ef}}{S_{nf}} \right)^2 + \left(\frac{S_{es}}{S_{ns}} \right)^2 \right]^{1/2} \quad (2.14)$$

donde

S_{ef} : Esfuerzo equivalente de a Flexión.

S_{ea} : Esfuerzo equivalente a Tracción.

S_{es} : Esfuerzo equivalente a Torsión.

$$S_{ef} = \frac{S_{nf}}{S_y} S_{mf} + K_f \cdot S_{af} \quad (2.15)$$

$$S_{ea} = \frac{S_{na}}{S_y} S_{ma} + K_f \cdot S_{aa} \quad (2.16)$$

$$S_{es} = \frac{S_{ns}}{S_{ys}} S_{ms} + K_{fs} \cdot S_{as} \quad (2.17)$$

donde

S_n : Resistencia a la fatiga.

S_y : Punto de fluencia del material.

S_{ys} : Punto de fluencia del material a torsión. $S_{ys} = 0.6 \cdot S_y$.

S_m : Esfuerzo medio a flexión. S_{ms} : Esfuerzo medio a torsión.

S_a : Esfuerzo alterno a flexión. S_{as} : Esfuerzo alterno a torsión.

K_f : Factor de concentración de esfuerzos a flexión. K_{fs} : Factor de concentración de esfuerzos a torsión.

N : Factor de seguridad.

Teniendo en cuenta que el par motor es constante y que no hay presencia de fuerzas axiales en el sistema, el esfuerzo alterno a torsión es cero, al igual que el esfuerzo equivalente a tracción. Por otro lado, el esfuerzo de flexión es variable e invertido, por lo tanto, el esfuerzo medio de flexión es cero.

De esta manera, reemplazando en la ecuación 2.14, se tiene que,

$$\frac{1}{N} = \left[\left(\frac{K_f \cdot S_{af}}{S_{nf}} \right)^2 + \left(\frac{S_{ms}}{0.6 \cdot S_y} \right)^2 \right]^{1/2} \quad (2.18)$$

Donde el esfuerzo alterno a flexión equivale al esfuerzo máximo a flexión menos el esfuerzo mínimo a flexión sobre dos. Pero, al ser el esfuerzo mínimo a flexión igual en magnitud al esfuerzo máximo, pero en sentido contrario, se tiene que:

$$S_{af} = S_{max}$$

$$\text{donde } S_{max} = \frac{M_{max}}{Z}$$

Donde Z equivale al módulo de la sección a analizar. Siendo esta circular, se tiene

$$Z = \frac{\pi \cdot D^3}{32} \quad (2.19)$$

De manera similar, el esfuerzo medio a torsión (en este caso esfuerzo constante), equivale al par motor máximo en el punto a analizar sobre el módulo polar de la sección circular $Z'=2 \cdot Z$.

Reemplazando estos términos en la ecuación 2.18,

$$\frac{1}{N} = \left[\left(\frac{K_f \cdot 32 \cdot M_{max}}{S_{nf} \cdot \pi \cdot D^3} \right)^2 + \left(\frac{32 \cdot T}{0.6 \cdot 2 \cdot \pi \cdot D^3 \cdot S_y} \right)^2 \right]^{1/2} \quad (2.20)$$

Despejando el diámetro de la ecuación 2.20,

$$D = \left[10.19 N \left[\left(\frac{k_f \cdot M_{max}}{S_{nf}} \right)^2 + 0.694 \left(\frac{T}{S_y} \right)^2 \right]^{1/2} \right]^{1/3} \quad (2.21)$$

La resistencia por fatiga se ve afectada por distintos factores de la siguiente manera,

$$S_n = C_b \cdot C_s \cdot C_r \cdot C_o \cdot S'_n \quad (2.22)$$

Estos factores corresponden a factor de corrección de temperatura C_b , el factor de corrección de superficie C_s , el factor de confiabilidad funcional C_r , el factor de corrección de esfuerzos residuales C_o , el límite de fatiga del material S'_u , y el factor de concentración de esfuerzos k_f . La teoría de cada uno de estos factores se puede consultar en el libro de Norton [12] o cualquier otro libro de diseño de máquinas y/o

resistencia de materiales; En los anexos se pueden encontrar las tablas usadas para seleccionar cada uno de estos factores.

$$S'_u = 0.5 \cdot S_u \quad (2.23)$$

Donde S_u representa el esfuerzo último en tracción. En el anexo N, se presentan distintos planos de las elevadoras, entre ellos se encuentran los planos del árbol de la elevadora 3620, el cual está diseñado en acero AISI/SAE 4340. En el anexo G se muestra la ficha dada por el fabricante de estos acero, los cuales tienen un tratamiento térmico que consiste en temple y revenido entre los 1000 °C y 1200 °C, obteniendo una dureza Brinell entre 280 HB y 340 HB, resistencia de fluencia en tracción $S_y = 725 \text{ MPa}$, el esfuerzo último en tracción $S_u = 1030 \text{ MPa}$, la elongación en 2 in es del 18%.

Reemplazando en la ecuación 2.23,

$$S'_u = 515 \text{ MPa}$$

$C_b = 1$, para trabajo a temperatura ambiente.

C_s Se obtiene del anexo H y equivale al 77% con una dureza Brinell de 310 *HP* (promedio).

$$C_r = 1 - A \cdot B \quad (2.24)$$

donde $A=0,076$ para acero y $B=2,3$ para una confiabilidad del 99%, luego

$$C_r = 0,8252$$

El factor de corrección de esfuerzos residuales se toma igual a 1 para aceros con tratamientos térmicos.

Reemplazando en la ecuación 2.22 se tiene

$$S_n = 1 \cdot 0.77 \cdot 0,83 \cdot 1 \cdot 515$$

$$S_n = 329,14 \text{ MPa}$$

Para calcular el factor de concentración de esfuerzos, el anexo I muestra que, para un árbol sometido a flexión, con un diámetro mayor $D = 210 \text{ mm}$, un diámetro menor $d = 200 \text{ mm}$ y un redondeo de $r = 10 \text{ mm}$, se tiene un $K_f=1,78$.

Para efectos de diseño, se asumirá un factor de seguridad $N=7$.

Reemplazando todos los factores en la ecuación 2.21 se tiene,

$$D = \left[10,19 \cdot 7 \cdot \left[\left(\frac{1,78 \cdot 17,763}{329140} \right)^2 + 0,694 \cdot \left(\frac{30,63}{725000} \right)^2 \right]^{1/2} \right]^{1/3}$$

$$D = 0,19398 \text{ m} = 193,98 \text{ mm}$$

Por lo tanto, el diámetro mínimo con un factor de seguridad de 7 debe ser mínimo de 194 mm. De esta manera, el eje disponible en el tambor de la elevadora 3620, de 200 mm, cumple para esta aplicación. Cabe resaltar que 7 es un factor de seguridad muy alto.

CAPÍTULO III: SELECCIÓN DE ACCESORIOS

3.1. ACOPLES

Las elevadoras están provistas de dos acoples, el primero es el encargado de transmitir el movimiento, desde el árbol a la salida del motor, hacia el árbol de entrada del reductor (Rotex BFN). El segundo transmite el movimiento desde el árbol a la salida del reductor, hacia el árbol del tambor. Los acoples deben enviarse a maquinar y a ensamblar en sus respectivos árboles, en una empresa especializada en manufactura, antes de iniciar su montaje en campo. La tolerancia entre los acoples y los arboles es de H7/m6, según la Norma UNE-EN ISO 286-2 para tolerancias en dimensiones lineales [5]. Este ajuste lleva juego, lo que permitirá hacer modificaciones y futuros mantenimientos en caso de requerirlos.

3.1.1. ROTEX BFN

Se escoge un acople Rotex, basado en su pequeño tamaño, bajo peso y bajo momento de inercia, con una elevada transmisión de par de fuerzas. Son acoples flexibles, lo cual reduce considerablemente las vibraciones, incrementando la vida útil del equipo, logrando transmitir las fuerzas con amortiguación de rotación y absorbiendo los impactos de fuerzas irregulares. Estos acoples permiten un fácil montaje, además de ser fácil de detectar su mantenimiento con inspecciones visuales.

Estos acoples se suministran de fábrica con una estrella o corona dentada, resistente a altas temperaturas y con tres materiales diferentes para distintos grados de dureza.

A diferencia de los acoplamientos elásticos, cuyos elementos internos están sometidos a sollicitaciones flectoras, lo que ocasiona desgaste con mayor rapidez, los acoples revolex están expuestos a una sollicitación a compresión. De este modo, el acoplamiento tiene capacidad de carga mayor a los dentados individuales.

Los elastómeros se deforman ante cargas y revoluciones elevadas, por lo que se debe de cuidar el espacio de dilatación. En el anexo L puede encontrar toda la información técnica para el montaje y cuidado de este acople.

Estos acoples cuentan con un ángulo de torsión máximo de 5° y pueden ser montados horizontal o verticalmente.

El material del elastómero es poliuretano, y están clasificados en los colores naranja, lila y verde pálido, los cuales soportan durezas de 92, 98 y 64 Shore A, respectivamente. El seleccionado en las elevadoras es el de color lila.

3.1.2. REVOLEX KX-D

De acuerdo al tipo de operación al que va a estar sometido es necesario instalar un acople robusto que cumpla con las sollicitaciones de momento, se selecciona un acople revolex de pines flexible, que reduce considerablemente las vibraciones por medio de elastómeros instalados en cada uno de los pines; además permite que el montaje sea realizado de forma axial y cuenta con altas tolerancias de alineación las cuales brindan mayor libertad a la hora del ensamble de la elevadora.

Este acople consta de dos partes idénticas, en su diámetro primitivo se encuentran los pernos o pines alternados por las perforaciones en donde se alojaran los pines de su contraparte, para realizar la transmisión de par motor desde el reductor hacia el tambor, basados en el par motor necesario a transmitir y el diámetro del árbol se selecciona el acople KX-D 240 que permite perforaciones en el centro del acople de 140 mm a 250 mm y su par máximo de 92030 Nm. En el anexo L puede encontrar toda la información técnica para el montaje y cuidado de este acople.

3.2. RODAMIENTOS

El conjunto de la sala elevadora cuenta con dos chumaceras ubicadas entre los apoyos del eje del tambor, fabricadas en fundición de hierro gris, bajo pedido. La vida útil de los rodamientos instalados en las chumaceras es de 811433 horas (92,6 años), calculado en la condición más extrema del sistema. Es de aclarar que este sistema no va a operar con el par motor máximo porque las sollicitaciones del sistema sólo llegarían a consumir 105 kW de 224 kW. Estas chumaceras se enviaron a inspeccionaron antes de su instalación en la elevadora 3860, con ayuda de cámara microscópica, observando lo siguiente:

- Visualmente los rodamientos no presentan ninguna anomalía en sus caminos de rodadura y en el empalme de elementos rodantes y canastilla (ilustración 19).
- Las canastillas visualmente no presentan señales de desgaste anormal.
- Se ven las marcas de rectificado original en los flancos laterales de los elementos rodantes lo que denota ausencia de cargas axiales.
- Se realizó el cálculo de la vida útil según datos de potencia y rpm. brindados por el Ingeniero Roberth Rodriguez, del cual se obtuvo que, para el trabajo que se está realizando, los rodamientos están sobredimensionados sin afectar su operación y garantizando que están libres de deslizamiento, cumpliendo con la carga radial mínima de funcionamiento (23,2 kN) .

Se recomienda lubricación con grasa FAG ARCANOL LOAD 400 (ver anexo M). La ilustración 20 muestra cómo se realizó este proceso. Los rodamientos y soportes se pueden llenar al 100% pues el factor dinámico calculado es menor de $50.000 \text{ mm}^{-1} \cdot \text{min}$ ($FD= 15.000 \text{ mm}^{-1} \cdot \text{min}$).

Se calcula vida de la grasa mayor a 36 meses para estas condiciones de operación por tal razón se recomienda cambio de grasa cada 18 meses.

No está por demás recordar seguir todas las recomendaciones de alineación necesarias al momento del montaje en sitio.

La grasa LOAD400, es una grasa especial para rodamientos de bolas y rodillos, con aplicaciones en maquinaria para minería y construcción. Es adecuada para altas temperaturas y bajas velocidades y equipos propensos a vibraciones, ya que tiene propiedades obturadoras y alta aptitud para lubricar nuevamente. En el anexo M se encuentra la ficha técnica de la grasa usada para lubricar el rodamiento.



a) Rodamientos de la chumacera



b) Proceso de lubricación de los rodamientos en la chumacera

Ilustración 19. Mantenimiento realizado a las chumaceras acopladas al árbol

3.3. FRENOS

Según el Reglamento de seguridad en las labores mineras subterráneas, (decreto 1886 del 21 de septiembre de 2015 [1]): “Todos los malacates utilizados en minería subterránea deben poseer sistemas de freno independientes: uno que actúe sobre el tambor y el otro sobre el motor. En todo caso debe garantizarse que el cable se detenga aún en movimiento del motor”. Así pues, se le denominará frenos de

servicio al sistema de frenos que actúa sobre el motor y frenos de emergencia al sistema de frenos que actúa sobre el tambor.

3.3.1. FRENOS DE SERVICIO

Los frenos de servicio son los que se accionan cada vez que el maquinista detiene la marcha de la elevadora. Estos trabajan continuamente, ya que cuando de inicia la operación, el maquinista debe dar marcha y detenerse entre niveles para descargar pasajeros o permitir el ingreso. Estos se sitúan en el árbol de entrada del reductor y se cuenta con uno a cada lado de este, el cual se acciona alrededor de un tambor que gira solidario con el árbol. Cada uno de los frenos debe estar en la capacidad de detener todo el sistema. El proveedor del reductor recomienda un freno electrohidráulico tipo zapata, con compensador de desgaste, con un par de trabajo de 1500 Nm y un diámetro del tambor de 315 mm (ver ilustración 20). Las características técnicas y el plano se encuentran en el anexo Q [22].



Ilustración 20. Frenos Sibre de servicio

3.3.2. FRENOS DE EMERGENCIA

A diferencia de los frenos de servicio, estos se activan cuando hay una parada de emergencia, cuando hay un corte de energía o cuando se apaga la elevadora. Se encuentran ubicados en la pestaña de mayor diámetro del tambor (uno en la parte frontal y otro en la parte trasera) y al igual que los frenos de servicio, cada uno está en la capacidad de detener todo el sistema con carga. Estos frenos son de la marca Vulkan del tipo 10C, electromagnéticos, con compensador de desgaste (ilustración 21). El par de trabajo es de 63600 N para un tambor de pestaña mayor de 2300 mm. La alimentación es de 440 V a 60 Hz y cuenta con protección IP55

con resistencia a la deshumidificación. Las características técnicas y sus planos constructivos se encuentran en la ficha adjunta en el anexo R [24].



Ilustración 21. Freno de emergencia Vulkan 10C

3.4. SKIPS

Para la elaboración de los skips, se contrata a la empresa *Enlace e Ingeniería Ltda*, la cual es especializada en consultoría e interventoría ingenieril. El objetivo de ellos fue diseñar de nuevo el skip que tenía la compañía, con capacidad para 15 personas, para que se pudiera transportar un total de 30 personas divididas en 3 skips (para la elevadora 3620), los cuales tuvieran la posibilidad de ser enganchados y desenganchados de forma segura.

Enlace e Ingeniería planteó un diseño que facilita el ingreso y salida de personal conservando las dimensiones máximas, dadas por la Gran Colombia Gold, con barandas laterales cuevas (en la ilustración N.8 del anexo N se muestran los planos de este diseño). Se envió a fabricar una unidad de esta propuesta en la empresa *Tecno Dimo SAS*, con el fin de poner a prueba. Una vez puesto a prueba el skip, se notó que dada la topología de la mina y el ambiente al que se ven sometidos los componentes, las barandas curvas no cumplen con los requerimientos dando a entender la poca funcionalidad de este. Por esta razón, se planteó una modificación en el diseño, cambiando sólo las barandas laterales, como se muestra en el plano N.8b. Este nuevo diseño salió satisfactorio en las pruebas y por lo tanto se fabricaron los tres skips para la elevadora 3620, con un adicional para tener en stock y los dos skips para la elevadora 3860, también con una unidad adicional para tener en stock, teniendo un total de siete unidades fabricadas.

CAPÍTULO IV: FABRICACIÓN, ENSAMBLE Y MONTAJE

5.1. COMPRA DE EQUIPOS Y ACCESORIOS

Una vez realizados los cálculos necesarios para determinar el par motor y las potencias requeridas para el funcionamiento de las elevadoras, se procede con la búsqueda en el mercado de los equipos y accesorios comerciales que cumplen con los requerimientos. Para esto, se consulta con las marcas líderes en el mercado, que ofrecen productos de alta calidad y confiabilidad, por ejemplo:

- En motores eléctricos se consulta con la marca líder WEG.
- En reductores con marcas como SEW, NORD, WEG entre otros.
- En acoplamientos con marcas como Flender, Vulkan, KTR, etc.
- Para los frenos de servicio y emergencia se consultan marcas como Sibre y Vulkan.
- El cable se manda a fabricar directamente con Emcocables.
- Para los accesorios del cable el líder es el fabricante Crosby.

Aunque la calidad de los productos es uno de los factores para la selección de los equipos, no es el hito más determinante. La compañía cuenta con una extensa variedad de maquinaria, la cual, intencionalmente está compuesta por equipos y accesorios similares, buscando que en el escenario en que se presente una emergencia, por falla de algún componente o equipo, este pueda ser reemplazado a la brevedad posible. Cada máquina cumple una función indispensable para la empresa, y es de vital importancia que cada equipo y accesorio tenga un “stand by” o reemplazo. Por lo tanto, siempre se debe tener equipos iguales en las máquinas con el fin de tener un solo equipo de “stand by” que pueda ser utilizado en cada una de las máquinas sin ningún problema. De no haber “stand by” se prioriza el trabajo desempeñado por las máquinas, y se utiliza para sustituir, el equipo que presente un menor impacto en la producción con una parada no programada, mientras el equipo que presenta falla es reparado. Además de esto, se debe tener en el almacén de la compañía un stock o inventario mínimo de equipos o activos.

Definidos los equipos a utilizar, se procede a hacer contacto con sus representantes en Colombia, esto se debe a que muchas organizaciones no tienen venta directa en el país. Después de hacer el contacto con los proveedores, se realiza una reunión con cada uno de ellos y se les expone cuál es la necesidad y las aplicaciones que se requieren, para las cuales ellos deben presentar sus mejores ofertas en equipos y precios; una vez se recibe cada una de las ofertas solicitadas se procede a hacer una matriz de análisis donde se comparan las características de cada equipo, los precios, las ventajas y desventajas que generan la adquisición de los mismos a la compañía y se procede a tomar la mejor decisión sobre que equipos se deben utilizar para cada máquina.

El proceso de selección de equipos y accesorios es un proceso largo y por ende, debe ser ejecutado de acuerdo al cronograma de actividades, debido a que este puede poner en riesgo la fecha de entrega del proyecto; de la matriz se obtienen los resultados de los equipos que se deben comprar, en muchas ocasiones los equipos y accesorios se compran a diferentes proveedores lo que genera tiempos de entrega distintos, teniendo en cuenta que muchos de estos son importados y no cuenta con un inventario en Colombia; los tiempos de importación deben incluir el tiempo envío, el tiempo de nacionalización y una holgura en tiempo para cualquier tipo de imprevistos.

5.2. FABRICACIÓN Y MANUFACTURA

En el proceso de diseño es muy importante definir todos los equipos y accesorios que se van a utilizar en el montaje. Se pide a los proveedores los archivos CAD de estos componentes con el fin de realizar un modelo en Inventor, en el cual, se construyen los elementos a maquinar con las medidas reales, de manera que se ajusten a las dimensiones y tolerancias de los elementos importados. De esto depende que los equipos y accesorio que van a ser importados, al momento de llegar y ser ensamblados, no presenten ninguna interferencia y no generen reprocesos en el montaje. Es decir, por los tiempos tan ajustados, no se puede esperar a tener en sitio todos los equipos de importación para iniciar los procesos de manufactura y maquinados.

Una actividad muy importante dentro del proceso de fabricación y manufactura es la intervención de los elementos que se van a recuperar y reutilizar de máquinas existentes y que se encuentran inoperativas. En este caso en particular se recuperaron los tambores completos de dos elevadoras que se encontraban fuera de servicio; para desarrollar el proceso de recuperación lo primero que se debe hacer es realizar el desensamble de los tambores e identificar cada una de las piezas que los componen. Se debe realizar una inspección detallada a cada pieza en busca de averías o desgastes que puedan tener debido a la operación a la que estuvieron sometidos; se debe realizar la adecuada metrología para realizar el modelamiento CAD.

Realizada la identificación de cada pieza se debe realizar la lista de actividades o intervenciones que se requieren para dejar operativos nuevamente los tambores. Estas actividades pueden ser: maquinados de los árboles, alojamientos de los ejes o manzanas, rectificación y fabricación de cuñas y cuñeros. Dependiendo del estado de cada uno de estos, verificación, mantenimiento y lubricación de los rodamientos, inspección y verificación de los tornillos que ensamblan los tambores o fabricación de estos en caso de que se encuentren averiados o por las condiciones de los equipos no se encuentren instalados en el momento del desensamble; concluidos todas las actividades se procede a realizar un proceso de pintura.

La compañía, por el tipo de actividad económica a la que se dedica, no posee los equipos necesarios, ni el recurso humano calificado, para realizar el proceso de

manufactura y ensamble de este tipo de equipos. Por tal motivo, se buscan empresas que se especialicen en la fabricación de maquinaria.

Para la manufactura de las elevadoras se solicitaron tres cotizaciones para cada una. A los contratistas se les suministran los planos de detalle de las elevadoras, el tiempo de llegada de cada equipo y las especificaciones técnicas de los materiales que se deben usar. Para la selección del contratista que ejecutaría los trabajos para cada elevadora se tuvieron en cuenta los siguientes parámetros:

- Tiempo de entrega y disponibilidad.
- Calidad del producto o servicio, basados en la trayectoria de trabajos realizados en la compañía.
- Costos del servicio y forma de pago.
- Recursos humanos y perfil técnico.
- Equipos especializados y área de trabajo idónea.

Una vez finalizado el proceso de selección se le notifica a cada contratista, con el objetivo de iniciar el proceso administrativo necesario, el cual, por tratarse de contratos de mayor cuantía, se les debe generar un contrato que cuente con ciertas pólizas de garantía (cumplimiento, buen manejo del anticipo, seguro por pérdida o daño en los equipos y accesorio, garantía de un año por defectos en la manufactura, entre otros que la parte jurídica requiera para celebrar el contrato). Una vez firmado el contrato, se inicia con las labores y se les solicita a los contratistas presentar un informe semanal en el que se indiquen los avances y estados de las labores, además de evidencias fotográficas. También se realizan visitas de inspección con el fin de garantizar que todas las piezas cumplan con las medidas y estándares solicitados.

5.3. ENSAMBLE

Este proceso tiene como finalidad garantizar que todas las piezas y equipos se acoplen correctamente, y si es el caso de necesitar ajustes estos se puedan realizar en el sitio de fabricación con los equipos adecuados y antes del ingreso de las elevadoras en la mina; otro objetivo de este proceso es identificar y documentar los pasos necesarios para el armado de las elevadoras; de esta forma, una vez finalizado el ensamblaje podemos identificar en cuantos subensambles debemos desarmar las elevadoras para realizar el traslado e ingreso, esto se debe a que en la mina las secciones típicas para los túneles de ingreso son de 2,5 metros de ancho por 2,5 metros de alto.

5.3.1. Construcción de cimientos para la instalación de las elevadoras.

Para instalar las elevadoras en la sala de elevadoras es necesario construir lozas de acuerdo con la necesidad de cada máquina, estos cimientos o lozas se construyen en concreto reforzado con acero, son diseñadas por el área de obras civiles y deben soportar el peso de la elevadora y las cargas generadas por el peso

de la operación, en su diseño también es importante definir la ubicación y cantidad de puntos de anclaje; el anclaje se puede realizar de dos formas:

- Diseñando la malla de anclajes y dejándola embebida en el concreto, esta puede presentar desalineaciones en el montaje, además por el tamaño de las piezas que se manejan es muy probable que en el montaje se golpeen los anclajes y se dañen.
- Se diseña la loza de tal forma que el acero no interfiera con los anclajes, se construye la loza y se deja fraguar el concreto por mínimo 10 días para que el concreto adquiera la resistencia suficiente, luego se ubican los chasis con la ayuda de Topografía basados en el diseño realizado y se procesa a perforar la loza de concreto con una broca de 1 ¼ in (31,75 mm) de diámetro y una longitud de perforación de 50 cm a 60 cm en cada anclaje, se debe limpiar muy bien las perforaciones ya que no deben quedar residuos de polvo por lo que se utiliza aire comprimido para limpiar cada perforación y luego se instala un producto epóxico de fraguado rápido HILTI RE 500 y los anclajes de varilla roscada A36 grado 8 de diámetro ¾ in (19,05 mm) con la arandela de plana, de presión, tuerca y contratuerca; de la tabla del anexo J obtenemos que el tiempo de inicio de fraguado para un temperatura ambiente de 29°C es de 15 minutos y el tiempo final de fraguado es de 5 horas, generalmente en las instalaciones se le da un tiempo de fraguado no menor a 24 horas; el par motor de apriete que se debe aplicar se obtiene de la tabla del anexo K, para un diámetro de tornillo de ¾ in (19,05 mm) el par motor máximo a aplicar es de 81 Nm, no se debe exceder el par motor ya que se perdería el anclaje; por comodidad y experiencia esta forma de anclaje es la utilizada en el montaje del proyecto.

Para el montaje de las elevadoras del proyecto el área de obras civiles diseño las losas basados en las condiciones de la mina, las losas de concreto son de un espesor de 40 cm con doble parrilla de acero con varilla de ¾ in (19,05 mm) de 20cm x 20cm, con estribos de separación de 30 cm, en el caso que la varilla coincida con el anclaje se deberá mover garantizando una holgura mínima de 5 cm al anclaje; al estar sobre roca los cimientos o anclaje de la loza con el terreno solo consiste en realizar perforaciones de un metro al terreno e instalar varilla de ¾ in y garantizar la continuidad con las parrillas de acero, la loza debe garantizar 10 centímetros de distancia libre desde la elevadora, esta se funde con la ayuda de concretadora eléctrica y se añade acelerante para obtener en menor tiempo el fraguado de la misma. Esta debe estar terminada y con el tiempo de fraguado necesario antes de iniciar con el ensamble de las elevadoras. En el anexo N, junto con los planos que componen la elevadora, se encuentra el plano de distribución de anclajes para la elevadora 3860 y 3620.

5.3.2. Logística de instalación y alineación de los equipos.

Para realizar el ingreso y ensamble de la elevadora al interior de la mina se debe coordinar con todas las áreas que están involucradas con el montaje, esto se debe a que la operación de la mina es 24 horas y tener una obra de tal magnitud genera traumatismos a la operación de extracción. Para evitar esto, se elabora un cronograma paso a paso de las actividades que se deben realizar y se gestionan los recursos necesarios para cada labor (herramientas, materiales, personal. entre otros.). Al interior de la mina, en la sala de la elevadora, no se cuenta con mucho espacio, por esto se debe ingresar cada subensamble o pieza en el orden correcto. La experiencia en este tipo de montajes permitió crear un estándar para esta actividad que consiste:

1. Ubicar la elevadora en la superficie de la mina en un lugar amplio que permita el desmontaje de las piezas y equipos.
2. Rotular o marcar cada pieza, esto es indispensable para evitar el intercambio de las partes y el extravió de las mismas.
3. Ingresar el chasis de los equipos motriz y el chasis del tambor.
4. Ubicar en la loza de la elevadora los chasis y verificar su posición con el área de topografía.
5. Perforar y anclar los chasis a la loza y dejar fraguar por un día como mínimo.
6. Ingresar el tambor de la elevadora y realizar el montaje en su chasis.
7. Ingresar los equipos motrices y realizar el montaje.
8. En este punto se hace una prealineación.
9. Se instalan todos los equipos eléctricos y se pone en marcha la elevadora.
10. Se realiza la alineación laser y el análisis de vibraciones. En el anexo S se profundiza sobre los resultados obtenidos en el análisis de vibraciones.
11. Se instala el cable de acero.
12. Se instalan los skips y los accesorios.
13. Se inicia el proceso de pruebas.

En este proceso de instalación se emplean aproximadamente treinta personas de las diferentes áreas involucradas y toma un tiempo aproximado de cuarenta y cinco días.

5.3.3. Protocolos y tipos de pruebas.

Se deben realizar diferentes pruebas a las elevadoras que permitan garantizar la puesta en marcha dentro de la operación: Estas pruebas se hacen de acuerdo con los estándares y experiencia adquirida por las áreas de montajes especiales y mantenimiento. Para esto, lo primero que se hace es verificar que cada pieza y equipo este bien instalada. Se verifica el par motor de apriete de cada tornillo, se revisa que las piezas eléctricas estén conectadas adecuadamente, se operan manualmente las partes móviles de la elevadora para revisar que no se encuentren frenadas, se revisa el nivel de aceite del reductor y la lubricación de los rodamientos, una vez finalizado el chequeo se procede a realizar las siguientes pruebas:

Prueba en vacío: Esta prueba consiste en poner en marcha la elevadora, sin cable y sin skips; con la ayuda del variador de frecuencia se opera el motor desde 1 rpm hasta 1800 rpm. Se revisa que todas las piezas funcionen adecuadamente y que no se presenten roces entre ellas. De esta prueba se determina la velocidad adecuada para la instalación del cable y también permite corregir problemas de alineación y balanceo del equipo; una vez finalizada la prueba se procede a realizar, con contratista especializado, la alineación laser y el análisis de vibraciones mecánicas de la elevadora para sus máximas revoluciones; la alineación y el análisis de vibraciones garantizan que a futuro el equipo no presente desajustes ni desgastes acelerados en las piezas mecánicas.

- **Prueba con carga:** Después de haber instalado el cable en el tambor y los accesorios en el skip, esta prueba consiste en cargar los skips con carga que simule el peso de los pasajeros. Esta prueba permite realizar el correcto enrollamiento del cable, el cual siempre se debe hacer con carga para este quede bien apretado en el tambor y permita el correcto enrollamiento y traslape entre capas. Con esta prueba también se determinan las condiciones normales de operación de la elevadora. Permite revisar las condiciones del camino y la reubicación de accesorios como rodillos y poleas mariposa a lo largo del túnel, tanto en el piso como en el techo (ver ilustración 22 de rodillos de piso 22.a, rodillos de techo 22.b y poleas mariposa 22.c y 22.d, implementadas en el túnel inclinado 3860). En esta prueba también se calibra el indicador de niveles y las paradas en las llegadas.



a) Rodillos de piso



b) Rodillo de techo



c) Polea mariposa



d) Polea nivel 9

Ilustración 22. Accesorios implementados en el túnel inclinado 3860

- Prueba de frenos de servicio:** Las elevadoras cuentan con un sistema de frenos de zapatas electrohidráulico ubicados en el árbol y contra árbol del reductor, que fueron calculados y calculados para que cada uno esté en la capacidad de frenar todo el sistema. En esta prueba se manipulan manualmente los dos frenos de servicio, se inhabilita uno y se opera el sistema con el otro, con el fin de verificar que se cumplan las condiciones requeridas. Esta operación se repite para el otro freno; En el caso de que el freno no esté en capacidad de sostener el sistema, se activa manualmente el segundo freno y se procede a calibrar la tensión de la unidad de frenado. Para realizar esta prueba se utiliza una carga superior a la carga de operación. Esta prueba se realiza con la elevadora en marcha hacia abajo, luego se repite con marcha hacia arriba, luego se repite con paradas de emergencia sucesivas.
- Prueba de freno de emergencia:** Dando cumplimiento a la norma de seguridad minera 1886, cada sistema que cuente con un tambor deberá poseer un freno independiente al sistema motriz, el cual debe estar en la

capacidad de detener el sistema en el caso que tengamos una ruptura de los ejes en el reductor o que ambos frenos de servicio fallen; esta prueba consiste en inhabilitar los frenos de servicio y poner en marcha la elevadora. Esta prueba permite garantizar el frenado del sistema, calibrar la fuerza y tiempo de frenado. Cabe resaltar que este tipo de frenos son electromecánicos con un sistema normalmente cerrado, es decir, en caso de un corte inesperado del sistema estos frenos son los que detienen la elevadora; para realizar esta prueba se utiliza una carga superior a la carga de operación.

Para realizar las pruebas se hace necesario que asista como mínimo un delegado de las áreas de mantenimiento mecánico, mantenimiento eléctrico, jefatura de mina, proyectos y OH & S, esta última es la encargada de documentar y certificar que la elevadora cumple con los parámetros y estándares de acuerdo al decreto 1886 [1] y los PETS de la compañía; las pruebas están sujetas a cancelación o su repetición en caso de que alguno de los asistentes lo solicite, este proceso es de obligatorio cumplimiento; se debe documentar todas las pruebas con sus respectivos resultados y se realiza un acta que debe quedar firmada a conformidad por todos los asistentes como garantía de que se realizó el debido proceso.

5.3.4. Operación de las elevadoras.

Las elevadoras son equipos especializados y por tal motivo el personal encargado de operarlas es capacitado y certificado, cada elevadora tiene condiciones de operación y sistemas de control diferentes, para la realización de este proyecto se capacitaron dieciocho personas, cada elevadora debe contar con mínimo dos personas por turno, una persona que opere la elevadora y otra persona que es el conductor de los skips.

Lo primero que se hace antes de iniciar las labores es realizar la lista de chequeo y verificar que todos los sistemas y componentes estén en óptimas condiciones, luego se procede a poner en funcionamiento la elevadora; por las condiciones locativas del equipo el operador no tiene línea de visión hacia el conductor, por tal motivo se ha instalado un sistema de comunicación por radios, además se cuenta con un sistema de timbres como sistema auxiliar en caso de que fallen los radios, también se ha instalado un circuito cerrado de televisión con cámaras en cada uno de los niveles intermedios y en las llegadas, con este sistema se puede monitorear la operación de las elevadoras desde superficie en cualquier equipo de cómputo con acceso a internet.

En el proceso de operación es indispensable que cada hora se intercambien las labores de operador a conductor, esto se debe a que el trabajo del operador es un puesto fijo y el exceso de horas continuas en el mismo puesto puede causar fatigas y ocasionar incidentes; adicional a esto cada elevadora cuenta con sistemas de

protección eléctricas que evitan que los skips se desplacen más de lo permitido, para esto se instalan sensores en las llegadas y en el indicador de nivel que inhabilitan la elevadora cuando está fuera de los parámetros normales de operación.

5.3.5. Entrega del proyecto.

La entrega del proyecto se realizó en tres etapas.

Primer etapa: en esta etapa las elevadoras se entregan oficialmente al área de mantenimiento mecánico, ellos son los encargados de velar por el óptimo funcionamiento del equipo, crean la rutina de mantenimiento y lubricación del equipo y realizan mejoras a la máquina si es requerido; para hacer la entrega es necesario suministrar toda la información de los elementos que componen las máquinas y los proveedores, se hace entrega de un manual elaborado por los ejecutores del proyecto en el que se detalla toda la información técnica de las elevadoras, se entregan los planos y modelos CAD para ser almacenados en la base de datos de la compañía; una vez se cumple con todos los requisitos el área de mantenimiento firma el acta de entrega del proyecto.

- **Segunda etapa:** esta consiste en hacer entrega de las elevadoras a las áreas de jefatura de mina y el área OH & S, la primera es la encargada del funcionamiento del equipo y a su vez es el usuario de las elevadoras, para esto la jefatura de mina debe capacitar como mínimo a seis personas (dos personas por turno), que serán las encargadas de operar la elevadora, el área OH & S es la encargada de auditar las condiciones de la elevadora y los operarios; una vez es entregado el proyecto a la jefatura de mina, esta define la fecha para poner en operación las elevadoras con el personal; en esta etapa también se hace entrega del apique y se verifica que cumpla con todas las actividades que se planificaron como los son:
 - El sostenimiento del apique
 - La iluminación a lo largo de todo el apique
 - La instalación de los rodillos para evitar el rozamiento del cable con el piso.
 - La instalación y condiciones del camino o rieles.
 - Las zonas de ingreso y descenso del personal.

Al entregar a conformidad las áreas mencionadas firman el acta de entrega del proyecto.

- **Tercer etapa:** esta última etapa consiste en hacer el cierre y activación del proyecto, para esto es necesario entregar el proyecto a la gerencia de mina y la presidencia de la compañía, por ser un proyecto de alto impacto y que generara mejor rendimiento a las operaciones de extracción la presidencia de la compañía hace seguimiento continua de las labores del proyecto hasta su finalización, estas áreas realizan la visita al proyecto y son las encargadas de realizar una inauguración oficial de las elevadoras, en esta inauguración se invitan a las entidades del estado que intervienen con el sector minero como lo son el secretario de minas de la gobernación de Antioquia, los alcaldes locales, periodistas y demás personas interesadas, se realiza un recorrido completo en las elevadoras y finalmente firman el acta de entrega del proyecto; con todas las firmas recogidas se realiza el cierre financiero del proyecto y la activación del mismo como un activo fijo de la compañía.

5.3.6. Mantenimiento de los equipos.

Cuando el equipo se recibe a satisfacción y entra en operación normal, el área de mantenimiento mecánico se encarga de garantizar el correcto funcionamiento, la disponibilidad y confiabilidad del equipo durante toda su vida útil. Para esto, realizan los respectivos mantenimientos preventivos y predictivos, de cada uno de los elementos que componen la máquina. Para lo cual el fabricante de cada elemento especifica el tipo de mantenimiento que se debe realizar y la periodicidad con que se debe realizar. Por lo general esta información viene dada en extensos manuales para cada uno de los elementos, los cuales agrupan distintas familias de referencias y modelos. Por tal motivo, con el fin de facilitar el trabajo, con la entrega del equipo se entrega un manual de operación, en el cual, se resume y especifica la información detallada de cada elemento específico utilizado. Se hace un listado con las piezas que son de desgaste y que se deben tener en stock en el almacén, para gestionar la compra y determinar el tiempo de duración de cada componente.

El cable es un componente de desgaste al cual se le debe dar seguimiento cada semana. Consiste en hacer una medición del diámetro del cable en un lugar aleatorio de su longitud. El desgaste del cable nunca debe superar el 10% y cuando las mediciones muestran un 6 % de desgaste se programa de inmediato el cambio de este.

La lubricación del equipo se realiza de acuerdo con la información suministrada por los fabricantes de los componentes y accesorios, respetando las horas de operación de las elevadoras y el tipo de lubricantes a utilizar, para esto la compañía cuenta con un personal técnico calificado para realizar este tipo de labores.

Debido a las condiciones de operación de la mina las elevadoras de personal son esenciales para realizar cualquier desplazamiento, por esto son equipos que tienen un plan de mantenimiento adecuado que ha disminuido el número de paradas no programadas por fallas mecánicas y eléctricas.

CONCLUSIONES, APORTES Y TRABAJOS FUTUROS

6.1. CONCLUSIONES

Se logra identificar los parámetros que gobiernan el diseño de este tipo de máquinas, dadas unas condiciones iniciales, con lo que se establecen las condiciones de carga que debe soportar el sistema. De esta manera se validó la idoneidad de la aplicación de teorías de cinemática de movimientos rectilíneos, poniéndola en práctica en problemas reales de la industria minera, encontrando que estos cálculos de mecánica básica satisfacen los análisis de ciclos de operación, simplificando considerablemente el proceso de cálculo.

Se diseñó el sistema elevador con cada uno de sus componentes, validando que el estado actual de estos satisfagan la necesidad presente de la compañía, la cual consiste en transportar personal garantizado total seguridad en su trayecto y estabilidad estructural de cada elemento que lo conforma, de manera que opere bajo las premisas establecidas cumpliendo su vida útil con planeamientos de mantenimiento preventivo. Se puso en práctica la teoría de falla de Von Mises para el diseño del árbol, encontrando que este se encuentra sobredimensionado. Lo que concluye que las máquinas antiguas estaban diseñadas para sollicitaciones mucho mayores y que en el proceso de fabricación se puede llegar a disminuir costos considerables, enviando a fabricar elementos con las propiedades mecánicas requeridas por determinado componente.

En el desarrollo del proyecto, se seleccionaron componentes robustos con los factores de seguridad recomendados en la bibliografía. Estos factores de seguridad se ven justificados con la premisa de que la minería subterránea es considerada una actividad de alto riesgo, donde toda empresa legalmente constituida debe garantizar la seguridad de cada colaborador en el proceso transporte de personal.

Mediante el software Inventor, se modeló el sistema, encontrando el espacio necesario para la instalación de los componentes, el cual tiene una relevancia significativa para determinar la magnitud de la excavación del cuarto de máquinas. En este software se desarrollaron todos los planos para los cimientos, garantizando que los puntos de anclaje no se vayan a cruzar con algún elemento del fraguado en acero. Esto permitió dimensionar adecuadamente los diferentes elementos a utilizar y que serán manufacturados posteriormente durante el proceso manufacturar.

Después de instalado el sistema de elevación, se programó una etapa de seguimiento y observación durante los dos meses siguientes, a los indicadores de producción. Estos mostraron un aumento significativo en las toneladas de carga izadas a superficie. Con lo que se entiende que el tiempo efectivo de trabajo se incrementó y los tiempos muertos disminuyeron. Esto concluye que el confort en el espacio de trabajo es un factor esencial cuando se busca aumentar la productividad. Cualquier inversión que se realice en pro de mejorar las condiciones de operación para los trabajadores, se verán reflejadas en la producción.

El correcto desarrollo del proyecto depende 100% de la planificación. Para esto se debe implementar en futuros montajes la creación y ejecución estricta del cronograma de actividades con el mayor detalle posible, ya que, si bien el proyecto actual se entregó en las fechas establecidas, se tuvieron contratiempos por cruce de actividades que no se podían ejecutar simultáneamente. Estos inconvenientes provocan retrasos que se traducen en pérdidas y se pueden contrarrestar, previendo las actividades y consecuencias que genera cada acción. Se recomienda la implementación del software Project Manager, el cual está dentro del paquete de Office y del cual la empresa tiene licencias.

6.2. APORTES

En el presente proyecto se publica un guía útil para la fabricación de estas máquinas, apoyado en buenas prácticas de ingeniería y parámetros de diseño empleados en la industria. La normatividad internacional y nacional no ha contemplado hasta el momento recomendaciones técnicas para el proceso diseño en sistemas elevadores de este tipo, convirtiéndose así los proveedores de equipos industriales los mayores referentes. Sin embargo, estos diseñan cada elemento dependiendo de las necesidades específicas de la empresa, dejando varios criterios de seguridad y diseño a decisión particular de cada empresa. Se espera que, a mediano plazo, se estandarice el diseño de este tipo de máquinas con normas internacionales, brindando una mayor confiabilidad para los dispositivos. Si bien la compañía *Gran Colombia Gold* no es pionera en el diseño de estos elementos, cuenta con amplia experiencia en la instalación de estos componentes, y conoce de primera mano el desempeño de estos.

6.3. TRABAJOS FUTUROS

Teniendo en cuenta que se seleccionaron los mismos componentes para ambas elevadoras (motor, reductor, acoples, cable, entre otros), y que la elevadora 3860 está sometida a menores solicitaciones de carga, se entiende que cuenta con un factor de seguridad mayor. Por lo tanto, se propone darle continuidad al proyecto con el fin de ampliar el túnel inclinado desde el nivel 12 hasta los siguientes niveles inferiores, aprovechando su diseño conservador. Se debe investigar, dadas las condiciones de la mina, y el estado y capacidad de la elevadora 3860, hasta dónde puede continuar su trayecto con dos o tres skips de manera segura y confiable.

Se recomienda implementar simulaciones computacionales con el fin de validar los cálculos realizados, como pueden ser la determinación de las reacciones, vibraciones, concentradores de esfuerzos y además, estudiar la transferencia de calor del reductor al acople, con el fin de verificar que disminuya considerablemente la vida útil de los elastómeros.

Luego de la instalación del sistema de elevación, se notaron interferencias en los canales de comunicación al interior de la mina (se distorsionaron las llamadas telefónicas IP con conexión ethernet). Se concluye que esto se debe a los armónicos generados por los variadores de frecuencia y se deben buscar alternativas que

contrarresten este inconveniente. Se deben instalar equipos que corrijan las señales de los armónicos para evitar interrupciones de las frecuencias de radio.

Para trabajos futuros se propone poner especial cuidado en la selección del motor y el reductor, dado que, en el presente proyecto, se tuvieron inconvenientes, visto que se requiere una alta potencia a una baja velocidad angular. Se deseaba utilizar un tipo de motor estándar, similar a los usados en otro tipo de maquinaria de la empresa, para facilitar su mantenimiento y *stock*, por lo que se decidió tomar un motor de 1800 rpm a 150 HP. Disminuir de 1800 rpm a 12 rpm es un sobredimensionamiento significativo, que se hace necesario dados los altos factores de seguridad. Por otro lado, este problema es fácil de afrontar implementando variadores de frecuencia, con los cuales se obtienen las velocidades que se deseen y además proporcionan un sistema confiable para la automatización. Para futuros diseños se puede estudiar la posibilidad de buscar en el mercado motores eléctricos con menores velocidades y potencias similares.

ANEXOS

ANEXO A Secciones típicas de cables y torones de acero.

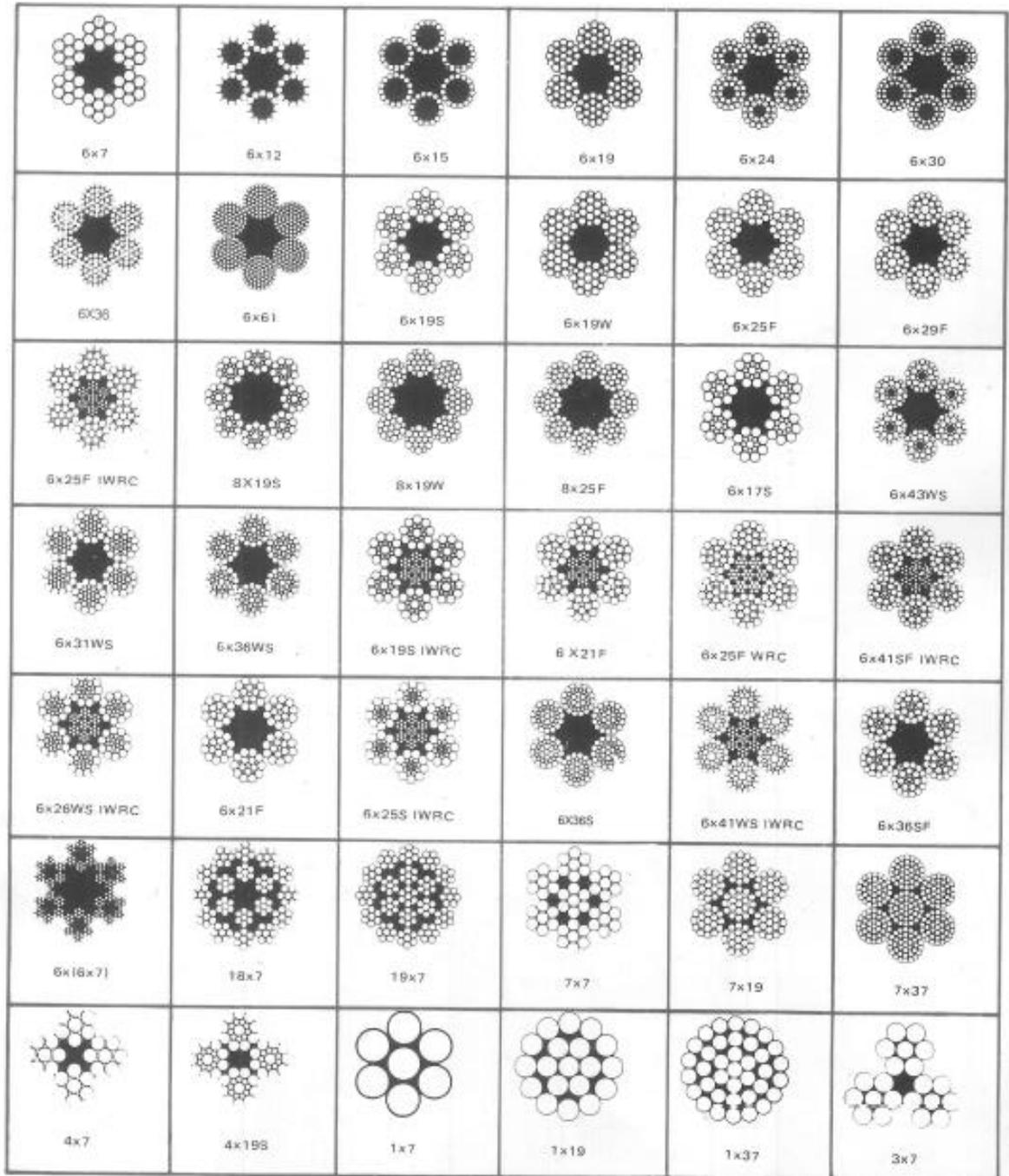
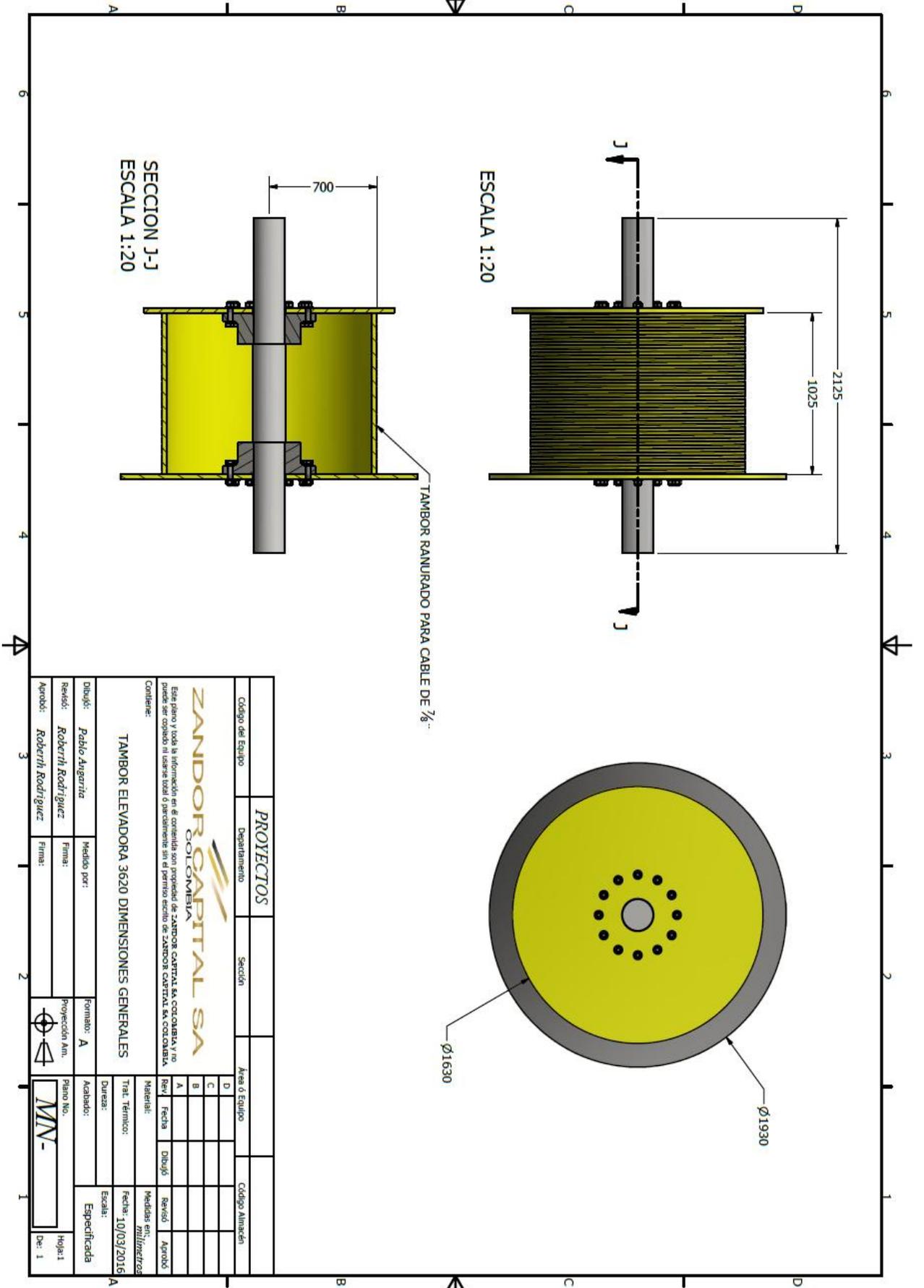


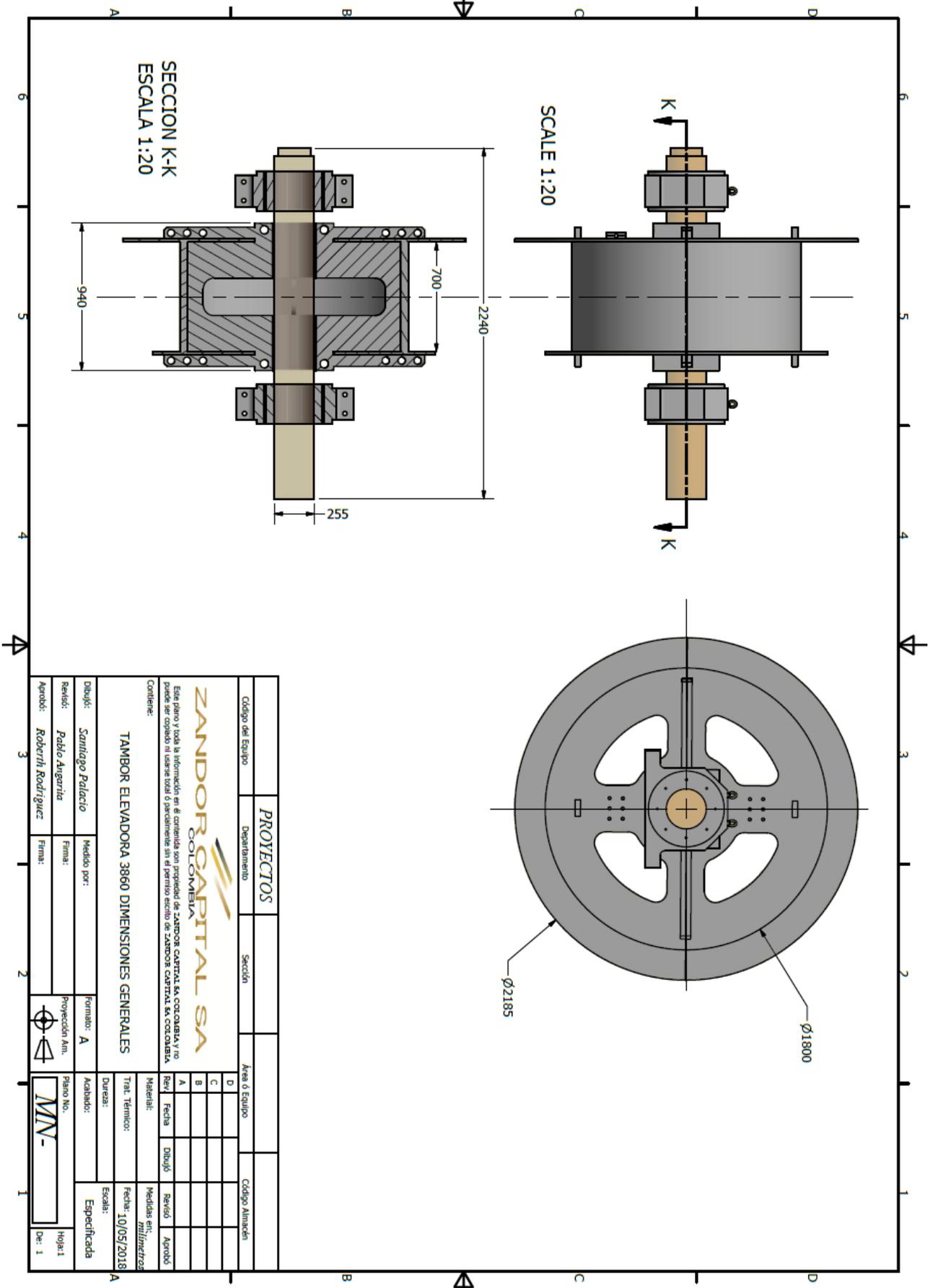
Ilustración A. 1. Secciones típicas de cables y torones [18]

ANEXO B Características planos de tambor elevadora 3620



Codigo del Equipo		Departamento		Sección		Area ó Equipo		Codigo Almacén	
PROJECTOS		PROJECTOS		PROJECTOS		PROJECTOS		PROJECTOS	
Este plano y toda la información en él contenida son propiedad de ZANDOR CAPITAL SA COLOMBIA y no puede ser copiado ni usado total ó parcialmente sin el permiso escrito de ZANDOR CAPITAL SA COLOMBIA.									
Contiene: TAMBOR ELEVADORA 3620 DIMENSIONES GENERALES									
Dibujó: Pablo Arganzola		Medio pax:		Formato: A		Plano No.:		Especificada	
Revisó: Roberth Rodriguez		Firma:		Proyección An:		MNV-		Hoja: 1	
Aprobó: Roberth Rodriguez		Firma:		Proyección An:		MNV-		De: 1	
Material:		Trat. Térmico:		Dureza:		Acabado:		Medidas en: milímetros	
Fecha:		Fecha:		Fecha:		Fecha:		Fecha: 10/03/2016	
Dibujó:		Revisó:		Aprobó:		Especificada:		Especificada:	

ANEXO C Características planos de tambor elevadora 3860



Código del Equipo		Departamento		Sección		Área o Equipo		Código Almacén	
PROYECTOS									
<p>Este plano y toda la información en él contenida son propiedad de ZANDOR CAPITAL SA COLOMBIANA y no pueden ser copiados ni usados total o parcialmente sin el permiso escrito de ZANDOR CAPITAL SA COLOMBIANA.</p>									
<p>Contiene: TAMBOR ELEVADORA 3860 DIMENSIONES GENERALES</p>									
Dibujó:	Santiago Palacio	Medido por:		Formado:	A	Proyección Am.		Plano No.	
Revisó:	Pablo Angarita	Firma:							
Aprobó:	Roberth Rodríguez	Firma:							
							Especificada		Hojas: 1
							Escala:		De: 1
							Fecha:		10/05/2018
							Trat. Térmico:		
							Dureza:		
							Acabado:		
							Materia:		Medidas en milímetros
							Rev:		
							Fecha:		
							Dibujó:		
							Revisó:		
							Aprobó:		

ANEXO D Peso por metro, metros por tonelada y pies por tonelada para cables de alambre de acero.

Tabla D. 1 Peso por metro, metros por tonelada y pies por tonelada para cables de alambre de acero [18]

DIAMETRO EN PULGADAS	CONSTRUCCION 6x7 A.F.			CONSTRUCC. 6x19 ó 6x37 A.F.			CONSTRUCC. 6x19 ó 6x37 A.A.			CONSTRUCCION 8x19 A.F.		CONSTRUCCION 18x7			
	KG. POR METRO	METROS POR TONELADA	PIES POR TONELADA	KG. POR METRO	METROS POR TONELADA	PIES POR TONELADA	KG. POR METRO	METROS POR TONELADA	PIES POR TONELADA	KG. POR METRO	METROS POR TONELADA	PIES POR TONELADA	KG. POR METRO	METROS POR TONELADA	PIES POR TONELADA
3/16"	0.083	12.048	39.519	0.089	11.364	37.275	0.097	10.309	33.815	-	-	-	-	-	-
1/4"	0.140	7.143	23.426	0.149	6.711	22.013	0.164	6.098	20.002	0.146	6.849	22.465	0.161	6.211	20.377
5/16"	0.223	4.484	14.709	0.236	4.202	13.783	0.268	3.731	12.238	0.223	4.484	14.703	0.251	3.984	13.068
3/8"	0.312	3.205	10.513	0.357	2.801	9.188	0.387	2.584	8.476	0.327	3.058	10.031	0.357	2.801	9.188
7/16"	0.432	2.315	7.590	0.476	2.101	6.891	0.521	1.919	6.295	0.466	2.146	7.039	0.491	2.037	6.682
1/2"	0.565	1.770	5.802	0.625	1.600	5.248	0.684	1.462	4.796	0.580	1.724	5.655	0.640	1.563	5.127
9/16"	0.714	1.401	4.595	0.789	1.267	4.156	0.863	1.159	3.802	0.744	1.344	4.408	0.816	1.222	4.008
5/8"	0.878	1.139	3.736	0.982	1.018	3.339	1.072	934	3.064	0.908	1.101	3.611	1.012	988	3.241
3/4"	1.25	800	2.624	1.399	715	2.345	1.548	646	2.119	1.309	764	2.506	1.443	693	2.273
7/8"	1.711	584	1.916	1.92	521	1.709	2.11	474	1.555	1.786	560	1.837	1.964	509	1.670
1"	2.232	448	1.479	2.50	400	1.312	2.75	364	1.194	2.336	428	1.404	2.574	389	1.276
1.1/8"	2.827	354	1.161	3.17	315	1.033	3.48	287	941	2.961	338	1.109	3.259	307	1.007
1.1/4"	3.482	287	941	3.91	256	840	4.30	233	764	3.646	274	899	4.018	249	817
1.3/8"	4.226	237	774	4.73	211	692	5.21	192	630	4.419	226	741	4.866	206	676
1.1/2"	5.029	199	653	5.62	178	584	6.19	162	531	5.253	190	623	5.788	173	567
1.5/8"	-	-	-	6.61	151	495	7.26	138	453	-	-	-	-	-	-
1.3/4"	-	-	-	7.66	131	430	8.44	118	387	-	-	-	-	-	-
1.7/8"	-	-	-	8.79	114	374	9.67	104	338	-	-	-	-	-	-

ANEXO E Propiedades físicas y mecánicas de los cables de acero.

Tabla E. 1 Propiedades físicas y mecánicas de los cables de acero [18]

PROPIEDADES FÍSICAS Y MECANICAS DE LOS CABLES DE ACERO																				
PESO APROXIMADO EN LIBRAS/PIE					RESISTENCIA DE ROTURA – TONELAJAS DE 2.000 LIBRAS															
DIAM. PULG.	6X7 F.C.	6X19 OR 6X36 F.C.	6X19 OR 6X36 IWRC	6X19 F.C.	6X19 IWRC	18X7 OR 19X7 -	6X7		6X19 6X37 CLASIFICACION		6X19 6X36 CLASIFICACION		6X19 CLASIFICACION		18X7 or 19X7		DIAM. PULG.			
							F.C.	IWRC	F.C.	IWRC	F.C.	IWRC	F.C.	IWRC	F.C.	IWRC		F.C.	IWRC	F.C.
3/16	.056	.059	.065				1.59	1.35	1.70		1.55	1.67	1.40	1.50				3/16		
1/4	.094	.10	.11	.098		108	2.64	2.38	3.02	3.40	2.74	2.94	2.47	2.65	2.35			1/4		
5/16	.15	.16	.18	.15	.18	169	4.10	3.69	4.60	5.27	4.28	4.98	3.93	4.12	3.65			5/16		
3/8	.21	.24	.26	.22	.28	24	5.86	5.27	6.71	7.56	6.10	6.66	5.48	5.90	5.24	5.76	6.63	5.89	6.15	3/8
7/16	.29	.32	.35	.30	.36	33	7.93	7.14	9.09	10.2	8.27	8.89	7.44	8.00	7.08	7.80	8.97	7.58	8.33	7/16
1/2	.38	.42	.46	.39	.47	43	10.3	9.27	11.8	13.3	10.7	11.5	9.63	10.3	9.23	10.1	11.6	9.85	10.6	1/2
9/16	.48	.53	.58	.50	.60	55	13.0	11.7	14.9	16.8	13.5	14.5	12.2	13.0	11.6	12.8	14.7	13.6	14.6	9/16
5/8	.59	.66	.72	.61	.73	69	15.9	14.3	18.3	20.6	16.7	17.9	15.0	16.1	14.3	15.7	18.1	15.3	16.8	5/8
3/4	.84	.94	1.04	.88	1.06	97	22.7	20.4	26.2	29.4	23.8	25.6	21.4	23.0	20.5	22.5	25.9	21.8	24.0	3/4
7/8	1.15	1.29	1.42	1.20	1.44	132	30.7	27.6	35.4	39.8	32.2	34.6	28.0	31.1	27.7	30.5	35.0	29.5	32.5	7/8
1	1.50	1.68	1.85	1.57	1.88	173	39.7	35.7	46.0	51.7	41.8	44.9	37.6	40.4	36.3	39.6	45.5	38.3	42.2	1
1-1/8	1.90	2.13	2.34	1.99	2.39	219	49.8	44.8	57.9	65.0	52.6	56.5	47.3	50.9	45.3	49.8	57.2	48.2	53.1	1-1/8
1-1/4	2.34	2.63	2.89	2.45	2.94	270	61.0	54.9	71.0	79.9	64.6	69.4	58.1	62.5	55.7	61.3	70.4	58.2	65.1	1-1/4
1-3/8	2.84	3.18	3.50	2.97	3.56	327	73.1	65.8	85.4	96.0	77.7	83.5	69.9	75.1	67.1	73.8	84.9	71.3	78.4	1-3/8
1-1/2	3.38	3.78	4.16	3.53	4.24	389	86.2	77.6	101	114	92.0	98.9	82.8	89.0	79.4	87.3	100	84.4	92.8	1-1/2
1-5/8		4.44	4.88						118	132	107	115	96.3	104						1-5/8
1-3/4		5.15	5.67						136	153	124	133	112	120						1-3/4
1-7/8		5.91	6.50						155	174	141	152	127	137						1-7/8
2		6.77	7.39						198	221	160	172								2
2-1/8		7.59	8.35						221	247	179	192								2-1/8
2-1/4		8.51	9.36						247	277	200	215								2-1/4

IPS = Improved Plow Steel
EIPS = Extra Improved Plow Steel

Para Kg./Ml. MULTIPLICAR POR 1.488
Para Ton./Mtr. MULTIPLICAR POR 0.9072

Empresas Colombianas de Cables S.A. - EMCOCAABLES
Calle 110 No. 98-04 - Tel. 213 4911 - FAX 215 9013
Apartado Aéreo No. 12837 - Télex No. 43133 - Bogotá D.C. - Colombia

ANEXO F Ficha técnica de las características del motor seleccionado

Tabla F. 1 Ficha técnica de las características del motor seleccionado [25]

			Nr.:
			Fecha: 01-ENE-2019
<h3>HOJA DE DATOS</h3> <h4>Motor trifásico de inducción - Rotor de jaula</h4>			
Cliente	:		
Línea del producto	:	W22 IEEE 841 Carcasa de Hierro Gris - NEMA Premium Efficiency	
Carcasa	:	504/5T	
Potencia	:	200 HP	
Frecuencia	:	60 Hz	
Polos	:	4	
Rotación nominal	:	1788 rpm	
Deslizamiento	:	0,67 %	
Voltaje nominal	:	460 V	
Corriente nominal	:	228 A	
Corriente de arranque	:	1440 A	
Ip/In	:	6,3	
Corriente en vacío	:	65,0 A	
Par nominal	:	802 Nm	
Par de arranque	:	230 %	
Par máxima	:	230 %	
Categoría	:	B	
Clase de aislación	:	F	
Elevación de temperatura	:	80 K	
Tiempo de rotor bloqueado	:	22 s (caliente)	
Factor de servicio	:	1,15	
Régimen de servicio	:	S1	
Temperatura ambiente	:	-20°C - +40°C	
Altitud	:	1000 m	
Protección	:	IP55	
Masa aproximada	:	1031 kg	
Momento de inercia	:	3,2118 kgm ²	
Nivel de ruido	:	75 dB(A)	
	Delantero	Trasero	
Rodamiento	6319 C3	6316 C3	
Intervalo de lubricación 8000 h		10000 h	
Cantidad de grasa	45 g	34 g	
	Carga	Factor de potencia	Rendimiento (%)
	100%	0,86	96,2
	75%	0,83	96,2
	50%	0,75	95,4

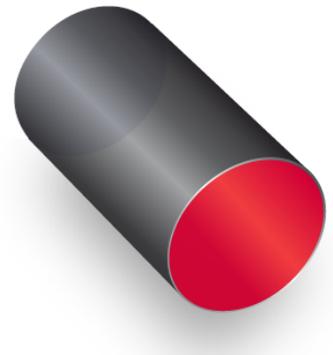
ANEXO G Propiedades mecánicas del acero SAE 4340

Tabla G. 1. Propiedades mecánicas del acero SAE 4340 [16]

SAE 4340																							
<p>Descripción: Acero de medio carbono aleado con Cr-Ni-Mo. Posee buena resistencia a la fatiga, alta templabilidad, excelente tenacidad, regular maquinabilidad y baja soldabilidad. No presenta fragilidad de revenido. Apto para piezas y herramientas de grandes exigencias mecánicas.</p> <p>Usos: Piezas y herramientas sometidas a las más grandes exigencias y a los más altos esfuerzos estáticos y dinámicos. Cigüeñales, cardanes, piñones, pernos y tornillos de alta resistencia, engranajes para máquinas, discos de freno, barras de torsión y árboles de transmisión.</p>																							
<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="3">Tratamiento térmico</th> </tr> <tr> <th colspan="3">Valores en °C</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Forjado</td> <td colspan="2">850 - 1100</td> </tr> <tr> <td>Normalizado</td> <td colspan="2">870 - 900</td> </tr> <tr> <td>Revenido</td> <td colspan="2">530 - 670</td> </tr> <tr> <td>Recocido</td> <td colspan="2">750 - 850</td> </tr> <tr> <td>Templado</td> <td>Aceite</td> <td>840 - 880</td> </tr> </tbody> </table>			Tratamiento térmico			Valores en °C			Forjado	850 - 1100		Normalizado	870 - 900		Revenido	530 - 670		Recocido	750 - 850		Templado	Aceite	840 - 880
Tratamiento térmico																							
Valores en °C																							
Forjado	850 - 1100																						
Normalizado	870 - 900																						
Revenido	530 - 670																						
Recocido	750 - 850																						
Templado	Aceite	840 - 880																					
<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">Propiedades mecánicas</th> </tr> <tr> <th colspan="2">Bonificado</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Resistencia a la tracción</td> <td>95 - 105 kgf/mm²</td> </tr> <tr> <td>Límite de fluencia</td> <td>60 - 74 kgf/mm²</td> </tr> <tr> <td>Dureza (HB)</td> <td>280 - 340</td> </tr> <tr> <td>Elongación</td> <td>10 - 18 %</td> </tr> </tbody> </table>			Propiedades mecánicas		Bonificado		Resistencia a la tracción	95 - 105 kgf/mm ²	Límite de fluencia	60 - 74 kgf/mm ²	Dureza (HB)	280 - 340	Elongación	10 - 18 %									
Propiedades mecánicas																							
Bonificado																							
Resistencia a la tracción	95 - 105 kgf/mm ²																						
Límite de fluencia	60 - 74 kgf/mm ²																						
Dureza (HB)	280 - 340																						
Elongación	10 - 18 %																						
<p>Formas: Redonda Suministro: Laminado y forjado (Bonificado)</p>																							

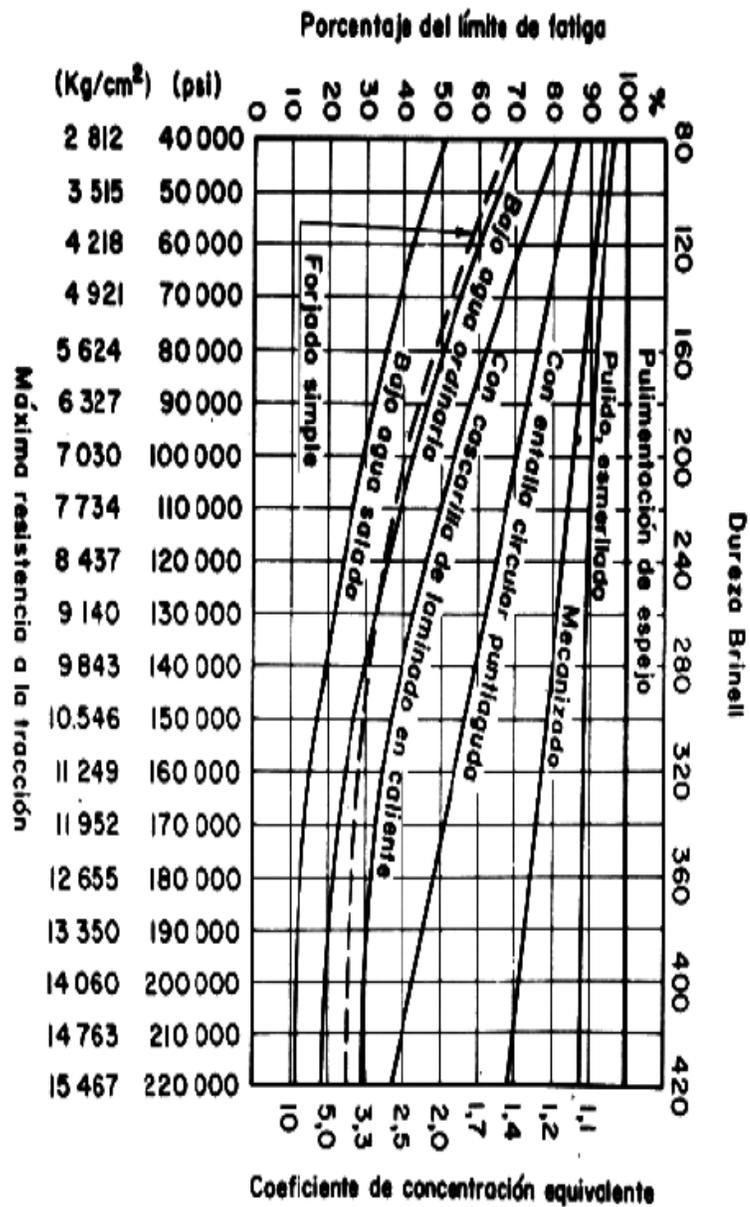
SAE 4340

Composición química (%)	
C	0,38 - 0,43
Mn	0,60 - 0,80
Si	0,15 - 0,35
P	0,035 Máx.
S	0,04 Máx.
Cr	0,70 - 0,90
Ni	1,65 - 2,00
Mo	0,20 - 0,30



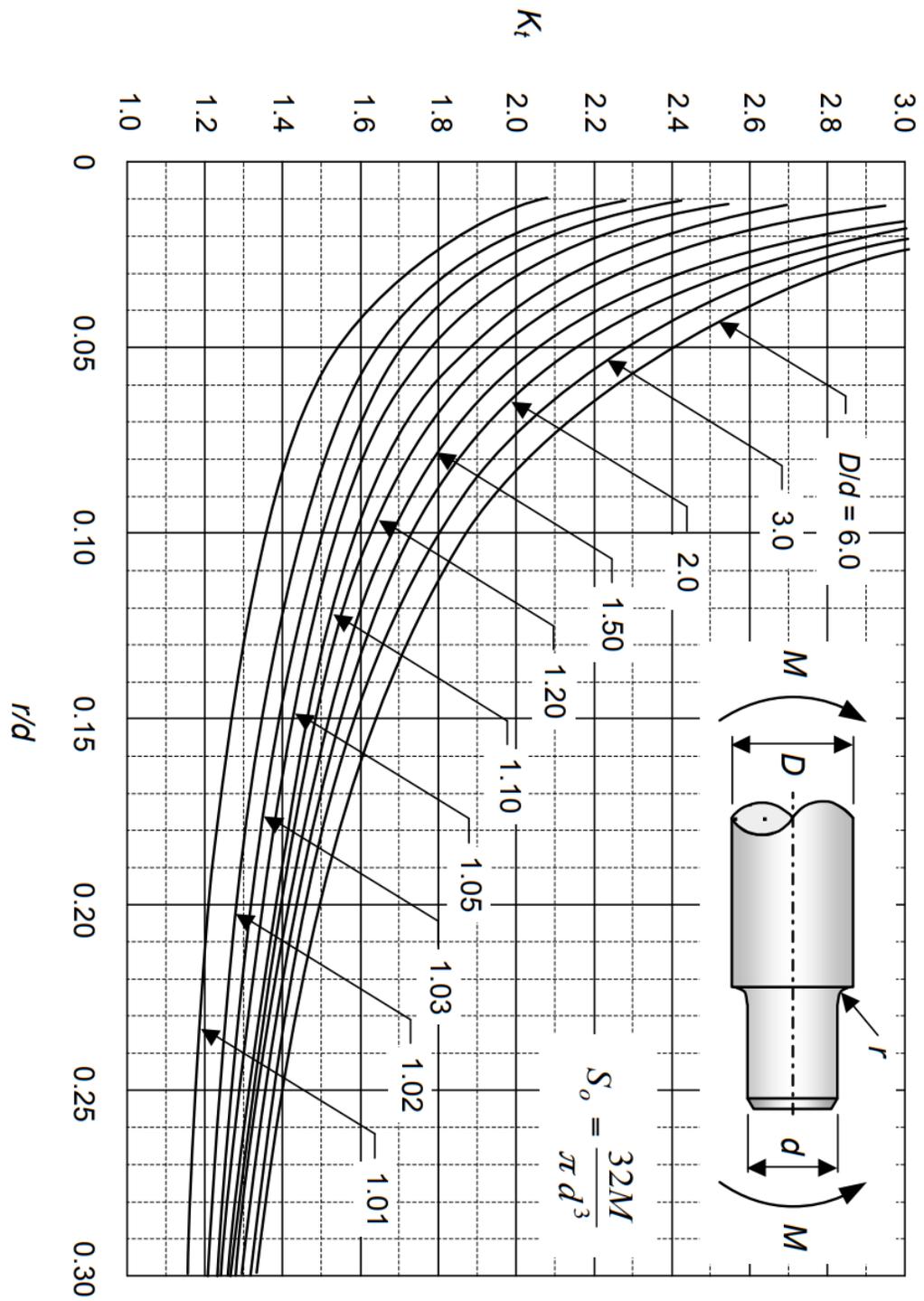
ANEXO H Factor de corrección por superficie o porcentaje del límite de fatiga en función de la dureza Brinell y la resistencia de tracción

Tabla H. 1. Factor de corrección por superficie o porcentaje del límite de fatiga en función de la dureza Brinell y la resistencia de tracción [9]



ANEXO I Eje de sección circular con cambio de sección sometida a flexión

Tabla I. 1. Eje de sección circular con cambio de sección sometida a flexión [9]



ANEXO J EPÓXICO HILTI RE 500

Tabla J. 1. Tiempo de fraguado epóxico HILTI RE 500 [19]

HILTI HIT-RE 500 V3



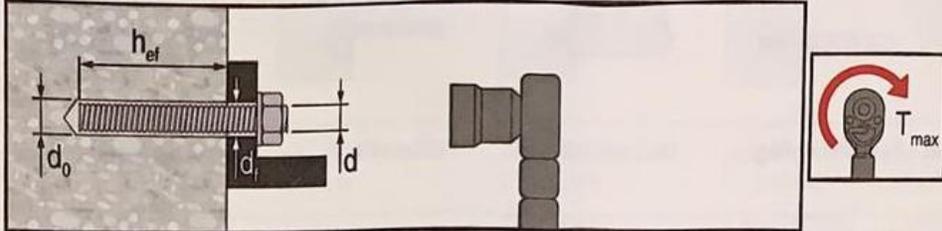
	[°F]	[°C]	 t_{work}	 $t_{cure, min}$	 $t_{cure, full}$
	23	-5	2 h	48 h	168 h
	32	0	2 h	24 h	36 h
	40	4	2 h	16 h	24 h
	50	10	1.5 h	12 h	16 h
	60	16	1 h	8 h	16 h
	72	22	25 min	4 h	6.5 h
	85	29	15 min	2.5 h	5 h
	95	35	12 min	2 h	4.5 h
	105	41	10 min	2 h	4 h

 $\geq +5\text{ }^{\circ}\text{C} / 41\text{ }^{\circ}\text{F}$    = $2 \times t_{cure}$

Tabla J. 2. Capacidad de par motor HILTI RE 500 [19].

HILTI HIT-RE 500 V3

HIT-V (-R, -F, -HCR) / HAS-E (-B7) / HAS-R



HAS / HIT-V

 $\varnothing d$ [inch]	$\varnothing d_0$ [inch]	h_{ef} [inch]	$\varnothing d_f$ [inch]	T_{max} [ft-lb]	T_{max} [Nm]
3/8	7/16	2 3/8 ... 7 1/2	7/16	15	20
1/2	9/16	2 3/4 ... 10	9/16	30	41
5/8	3/4	3 1/8 ... 12 1/2	11/16	60	81
3/4	7/8	3 1/2 ... 15	13/16	100	136
7/8	1	3 1/2 ... 17 1/2	15/16	125	169
1	1 1/8	4 ... 20	1 1/8	150	203
1 1/4	1 3/8	5 ... 25	1 3/8	200	271

ANEXO L Acoplamientos

1. Acople Rotex

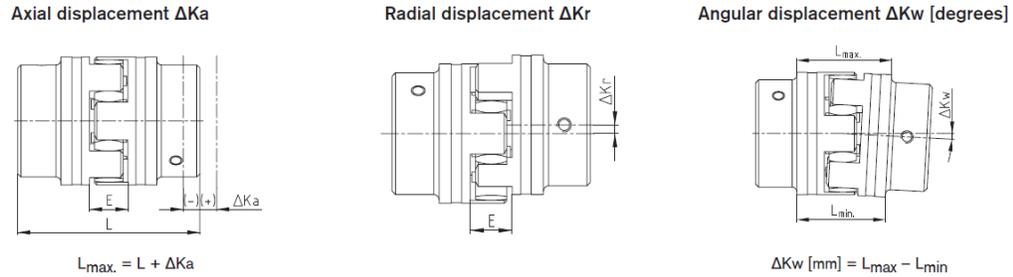


Ilustración L. 1. Desalineación permitida por el acople Rotex [20]

Tabla L. 1. Desplazamiento de la araña [20]

Displacements for spider 92 and 98 Shore-A																	
ROTEX® Size	14	19	24	28	38	42	48	55	65	75	90	100	110	125	140	160	180
Max. axial displacement ΔK_a [mm]	-0,5 +1,0	-0,5 +1,2	-0,5 +1,4	-0,7 +1,5	-0,7 +1,8	-1,0 +2,0	-1,0 +2,1	-1,0 +2,2	-1,0 +2,6	-1,5 +3,0	-1,5 3,4	-1,5 +3,8	-2,0 +4,2	-2,0 +4,6	-2,0 +5,0	-2,5 +5,7	-3,0 +6,4
Max. radial displacement with $n=1500$ RPM ΔK_r [mm]	0,17	0,20	0,22	0,25	0,28	0,32	0,36	0,38	0,42	0,48	0,50	0,52	0,55	0,60	0,62	0,64	0,68
Max. angular displacement with $n=1500$ RPM ΔK_w [degrees]	1,2	1,2	0,9	0,9	1,0	1,0	1,1	1,1	1,2	1,2	1,2	1,2	1,3	1,3	1,2	1,2	1,2
ΔK_w [mm]	0,67	0,82	0,85	1,05	1,35	1,70	2,00	2,30	2,70	3,30	4,30	4,80	5,60	6,50	6,60	7,60	9,00

Las cifras de desplazamiento de los acoplamientos flexibles ROTEX® antes mencionados son valores estándar que tienen en cuenta la carga del acoplamiento hasta el par nominal TKN y una velocidad de funcionamiento $n = 1500$ rpm junto con una temperatura ambiente de $+ 30^\circ \text{C}$.

Las cifras de desplazamiento solo se pueden usar una a una: si aparecen simultáneamente, deben estar limitadas en proporción. Se debe tener cuidado para mantener la dimensión E de distancia con precisión a fin de permitir la separación axial del acoplamiento mientras está en funcionamiento. Las instrucciones de montaje detalladas se muestran en nuestra página de inicio (www.ktr.com).

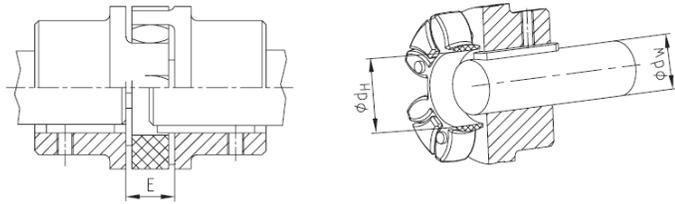
Tabla L. 2. Propiedades de la araña púrpura [20]

Spider type (Shore hardness)	98 Shore-A (T-PUR®) 1)
	 <p>T-PUR®</p>
Size	14 to 180
Material	T-PUR®
Permissible temperature range Permanent temperature Short-term temperature	-50 °C to +120 °C -50 °C to +150 °C
Properties	<ul style="list-style-type: none"> - significantly higher service life expectancy - very good temperature resistance - improved damping of vibrations - transmission of high torques with average damping - recommended hub material: steel, GJL and GJS

Tabla L. 3. Datos técnicos de la araña púrpura [20]

98 Shore-A spider made of T-PUR® and PUR																
ROTEX® Size	Max. speed		Twist angle ϕ with		Torque [Nm]				Damping power P _{KW} [W] 1)	Relative damp- ing ψ	Reso- nance factorV _R	Torsion spring stiffness C dyn. [Nm/rad]				
	V=35 m/s GJL	V=40 m/s steel	TKN	TK max	DIN 740 1)							1.0 TKN	0.75 TKN	0.5 TKN	0.25 TKN	
					Rated (TKN)	Max (TK max)	Vibratory (TKW)	TKmax.2)								
14	22200	25400	6,4°	10°	12,5	25	3,3	37,5	—			0,56x10 ³	0,46x10 ³	0,35x10 ³	0,21x10 ³	
19	16700	19000			17	34	4,4	51	4,8			2,92x10 ³	2,39x10 ³	1,81x10 ³	1,07x10 ³	
24	12100	13800			60	120	16	180	6,6			9,93x10 ³	8,14x10 ³	6,16x10 ³	3,65x10 ³	
28	10100	11500			160	320	42	480	8,4			26,77x10 ³	21,95x10 ³	16,6x10 ³	9,84x10 ³	
38	8300	9500			325	650	85	975	10,2			48,57x10 ³	39,83x10 ³	30,11x10 ³	17,85x10 ³	
42	7000	8000			450	900	117	1350	12,0			54,5x10 ³	44,69x10 ³	33,79x10 ³	20,03x10 ³	
48	6350	7250			525	1050	137	1575	13,8			65,3x10 ³	53,54x10 ³	40,48x10 ³	24x10 ³	
55	5550	6350			685	1370	178	2055	15,6			95x10 ³	77,9x10 ³	58,88x10 ³	34,9x10 ³	
65	4950	5650	3,2°	5°	940	1880	244	2820	18,0	0,80	7,90	129,5x10 ³	106,2x10 ³	80,3x10 ³	47,6x10 ³	
75	4150	4750			1920	3840	499	5760	21,6				197,5x10 ³	162x10 ³	122,5x10 ³	72,6x10 ³
90	3300	3800			3600	7200	936	10800	30,0				312,2x10 ³	256x10 ³	193,6x10 ³	114,7x10 ³
100	2950	3350			4950	9900	1287	14850	36,0				383,3x10 ³	314,3x10 ³	237,6x10 ³	140,9x10 ³
110	2600	2950			7200	14400	1872	21600	42,0				805,9x10 ³	663,1x10 ³	515,3x10 ³	360,5x10 ³
125	2300	2600			10000	20000	2600	30000	48,0				1207x10 ³	1003x10 ³	787,6x10 ³	552,5x10 ³
140	2050	2350			12800	25600	3328	38400	54,6				1549x10 ³	1283x10 ³	979,8x10 ³	674,1x10 ³
160	1800	2050			19200	38400	4992	57600	75,0				2481x10 ³	2137x10 ³	1781x10 ³	1275x10 ³
180	1550	1800			28000	56000	7280	84000	78,0				4220x10 ³	3635x10 ³	3031x10 ³	2170x10 ³

Tabla L. 4. Dimensiones en el montaje [20]



Shaft ϕd_w with feather key (acc. to DIN 6885 sheet) ¹⁾ protruding into the spider ϕd_H

Mounting dimensions																	
ROTEX® Size	14	19	24	28	38	42	48	55	65	75	90	100	110	125	140	160	180
Distance dimension E	13	16	18	20	24	26	28	30	35	40	45	50	55	60	65	75	85
Dimension dH	10	18	27	30	38	46	51	60	68	80	100	113	127	147	165	190	220
Dimension dW 2)	7	12	20	22	28	36	40	48	55	65	80	95	100	120	135	160	185

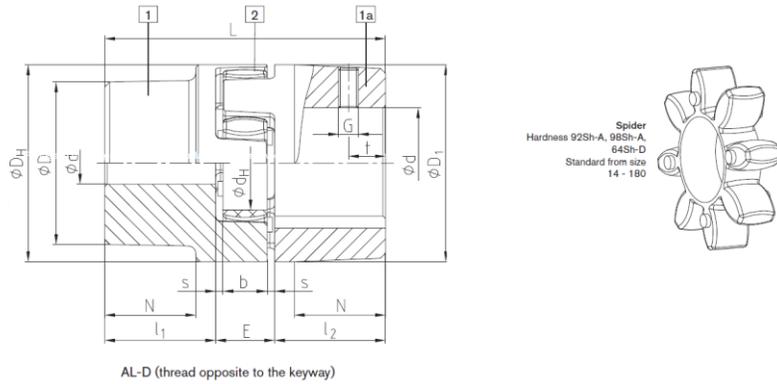


Ilustración L. 2. Componentes del acople ensamblado [20]

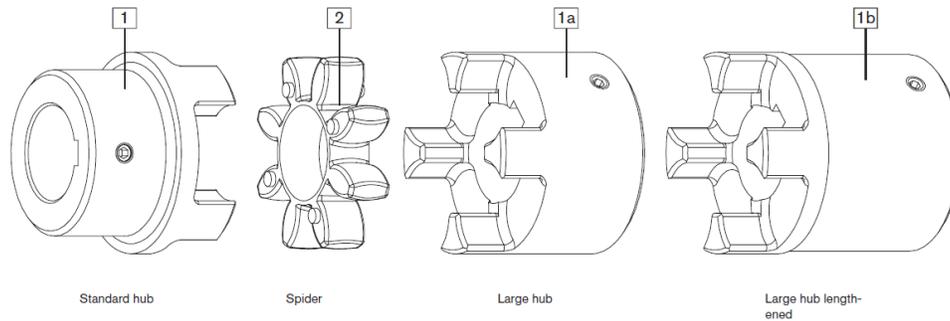
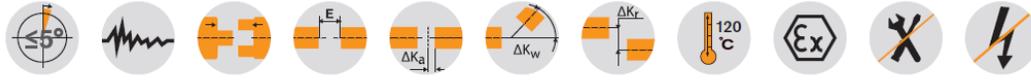


Ilustración L. 3. Componentes del acople [20]

Tabla L. 5. Dimensiones de los componentes del acople [20]



ROTEX® Steel (St)																		
Size	Component	Spider (part 2) rated torque [Nm]			Finish bore d (min-max)	Dimensions [mm]												
		92 Sh-A	98 Sh-A	64 Sh-D		L	l ₁ ; l ₂	E	b	s	D _H	d _H	D	N	Thread for setscrew			
14	1a	7,5	12,5	16	0-16	35	11	13	10	1,5	30	10	30	—	M4	5	1,5	
	50					18,5												
19	1a	10	17	21	0-25	66	25	16	12	2	40	18	40	—	M5	10	2	
	90					37												
24	1a	35	60	75	0-35	78	30	18	14	2	55	27	55	—	M5	10	2	
	118					50												
28	1a	95	180	200	0-40	90	35	20	15	2,5	65	30	65	—	M8	15	10	
	140					60												
38	1	190	325	405	0-48	114	45	24	18	3	80	38	70	27	M8	15	10	
	164					70	80						—					
42	1	265	450	560	0-55	126	50	26	20	3	95	46	85	28	M8	20	10	
	176					75	95						—					
48	1	310	525	655	0-62	140	56	28	21	3,5	105	51	95	32	M8	20	10	
	188					80	105						—					
55	1	410	685	825	0-74	160	65	30	22	4	120	60	110	37	M10	20	17	
	210					90	120						—					
65	1	625	940	1175	0-80	185	75	35	26	4,5	135	68	115	47	M10	20	17	
	235					100	135						—					
75	1	1280	1920	2400	0-95	210	85	40	30	5	160	80	135	53	M10	25	17	
	260					110	160						—					
90	1	2400	3600	4500	0-110	245	100	45	34	5,5	200	100	160	62	M12	30	40	
	295					125	200						—					
100	1	3300	4950	6185	0-115	270	110	50	38	6	225	113	180	89	M12	30	40	
110	1	4800	7200	9000	0-125	295	120	55	42	6,5	255	127	200	96	M16	35	80	
125	1	6650	10000	12500	60-145	340	140	60	46	7	290	147	230	112	M16	40	80	
140	1	8550	12800	16000	60-160	375	155	65	50	7,5	320	165	255	124	M20	45	140	
160	1	12800	19200	24000	80-185	425	175	75	57	9	370	190	290	140	M20	50	140	
180	1	18650	28000	35000	85-200	475	195	85	64	10,5	420	220	325	156	M20	50	140	

Ilustración L. 4. Plano del acople rotex 90 con tambor para freno sibre

2. Acople Revorex [21].

Las siguientes ilustraciones y tablas son sacadas del catálogo del fabricante. A la hora de verificar cualquier dato, tener en cuenta que el tipo del acople seleccionado para montar en la elevadora de personal es un KX-D 240 diseño B.

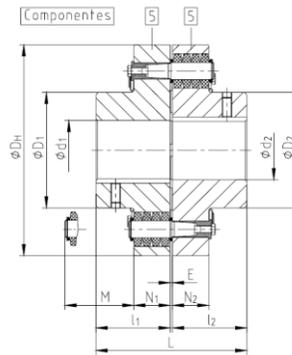


Ilustración L. 5. Revolex, diseño KX-D (diseño B de pasador cónico) [21]

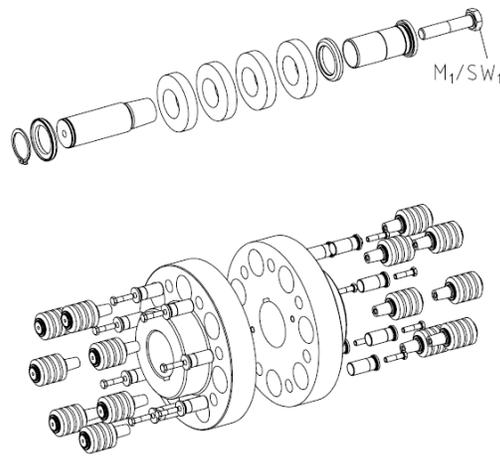


Ilustración L. 6. Revolex, diseño KX-D (diseño B de pasador cónico) explosión [21]

Tabla L. 6. Pares y dimensiones – tipo KX-D (diseño B de pasador cónico) [21]

REVOLEX® KX-D													
Tamaño	Par ¹⁾ [Nm]		Fundición		Acero		Dimensiones [mm]						
	TKN	TKmax.	Max. velocidad ²⁾ [1/min]	Agujeros acabado max. ³⁾ d ₁ /d ₂	Max. velocida d ²⁾ [1/min]	Agujeros acabado max. ³⁾ d ₁ /d ₂	General						
							L	l ₁ ; l ₂	E	D _H	D ₁ , D ₂	N ₁ ; N ₂	M*
KX-D 105	8650	17300	2000	110	3475	120	237	117	3	330	180	56	76
KX-D 120	14110	28220	1800	125	3100	140	270	132	6	370	206	76	100
KX-D 135	18690	37380	1600	140	2725	160	300	147	6	419	230	76	100
KX-D 150	23100	46200	1450	160	2500	185	336	165	6	457	256	76	100
KX-D 170	36900	73800	1250	180	2150	220	382	188	6	533	292	92	130
KX-D 190	48210	96420	1100	205	1900	245	428	211	6	597	330	92	130
KX-D 215	61900	123800	1000	230	1725	275	480	237	6	660	368	92	130
KX-D 240	920300	184060	900	250	1550	310	534	264	6	737	407	122	170
KX-D 265	121900	243800	800	285	1375	350	590	292	6	826	457	122	170
KX-D 280	158800	317600	720	315	1225	385	628	311	6	927	508	122	170
KX-D 305	191060	382120	675	330	1150	405	654	324	6	991	533	122	170
KX-D 330	251200	502400	625	355	1075	435	666	330	6	1067	572	122	170
KX-D 355	299100	598200	575	380	975	465	718	356	6	1156	610	122	170
KX-D 370	377800	755600	535	450	900	550	770	382	6	1250	720	122	170

1) Material standard NBR (perbunan) 80 ± 5 Shore A

* Dimensiones de desconexión

2) Se requiere equilibrado dinámico

3) Agujero H7 con chavetero según DIN 6885, hoja 1 [JS9] roscas para tornillos en el chavetero (ver tabla 11)

Tabla L. 7. Pasador – tipo KX-D (diseño B de pasador cónico) [21]

Tamaño	KX-D 105	KX-D 120	KX-D 135	KX-D 150	KX-D 170	KX-D 190	KX-D 215	KX-D 240	KX-D 265	KX-D 280	KX-D 305	KX-D 330	KX-D 355	KX-D 370
Tamaño del pasador	3	4			5			6						
M ₁ [mm]	M10	M12			M16			M24						
SW ₁ [mm]	16	18			24			36						
Par de apriete T _A [Nm]	67	115			290			970						

Tabla L. 8. Componentes REVOLEX, diseño KX-D (diseño B de pasador cónico) [21]

Componente	Cantidad	Designación
3c	ver tabla 10	Pasador completo KX-D (diseño B)
5 ¹⁾	2	Mangon parte 5
6	ver tabla 10	Casquillo KX-D
7 ²⁾		Tornillo prisionero DIN EN ISO 4029

- 1) Material y condiciones de equilibrado según requerimiento del cliente
 2) Fijación del mangon y tolerancias de la conexión eje-mangon según requerimiento del cliente.

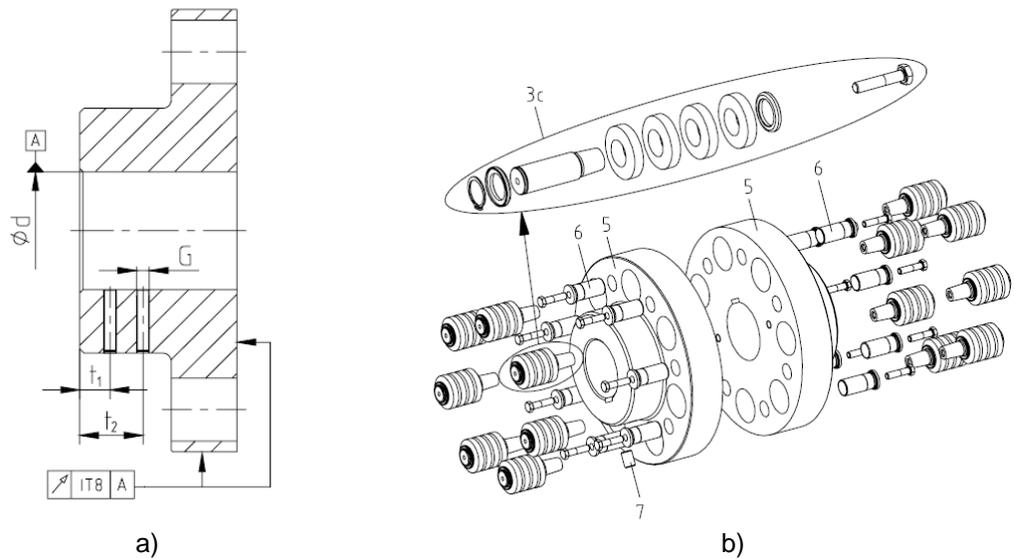


Ilustración L. 7. Componentes REVOLEX, diseño KX-D (diseño B de pasador cónico) [21]

Tabla L. 9. Tornillos prisioneros DIN EN ISO 4029 [21]

Tamaño (KX / KX-D)	105	120	135	150	170	190	215	240	265	280	305	330	355	370
Dimensión G [mm]	M20	M24												
Dimensión t ₁ [mm]	40	30	45	45	50	50	50	50	60	70	70	70	80	80
Dimensión t ₂ [mm]	-	-	-	-	-	-	110	110	120	140	150	150	160	160
Par de apriete T _A [Nm]	140	220	220	220	220	220	220	220	220	220	220	220	220	220

Tabla L. 10. Combinaciones de ajustes recomendados según DIN 748/1 [21]

Agujero [mm]		Tolerancia del eje	Tolerancia del agujero
Por encima de	a		
	50	k6	H7
50		m6	(KTR-Estandard)

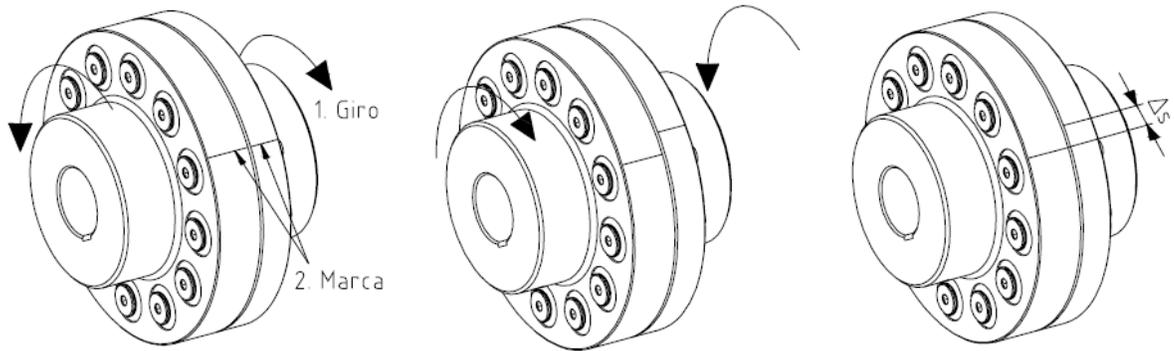


Ilustración L. 8. Comprobación del límite de desgaste del elastómero [21]

Tabla L. 11. Desgaste del anillo del elastómero [21]

Tamaño	Límites de desgaste [mm]				Tamaño	Límites de desgaste [mm]			
	Diametro del elastómero	Estado Nuevo B	Espesores X_{\min}	Juego Circunferencial Δs_{\max}		Diametro del elastómero	Estado nuevo B	Espesores X_{\min}	Juego Cicunferencial Δs_{\max}
105	50,0	12,25	8,6	5	240	113,7	27,65	19,4	11
120	63,0	16,15	11,3	6	265	113,7	27,65	19,4	11
135	63,0	16,15	11,3	6	280	113,7	27,65	19,4	11
150	63,0	16,15	11,3	6	305	113,7	27,65	19,4	11
170	85,5	21,15	14,8	9	330	113,7	27,65	19,4	11
190	85,5	21,15	14,8	9	355	113,7	27,65	19,4	11
215	85,5	21,15	14,8	9	370	113,7	27,65	19,4	11

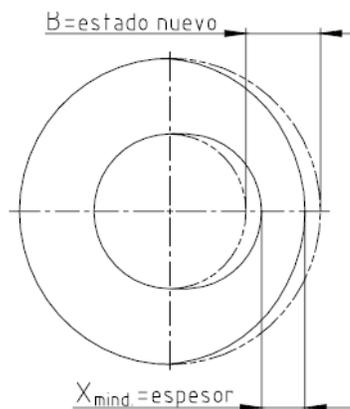


Ilustración L. 9. Plano de acople revolex kx 240 D

ANEXO M Ficha técnica Grasa Arcanol

Tabla M. 1. Ficha técnica Grasa Arcanol [15]

SCHAEFFLER GROUP
INDUSTRIAL

FAG

FAG Rolling Bearing Grease Arcanol LOAD400

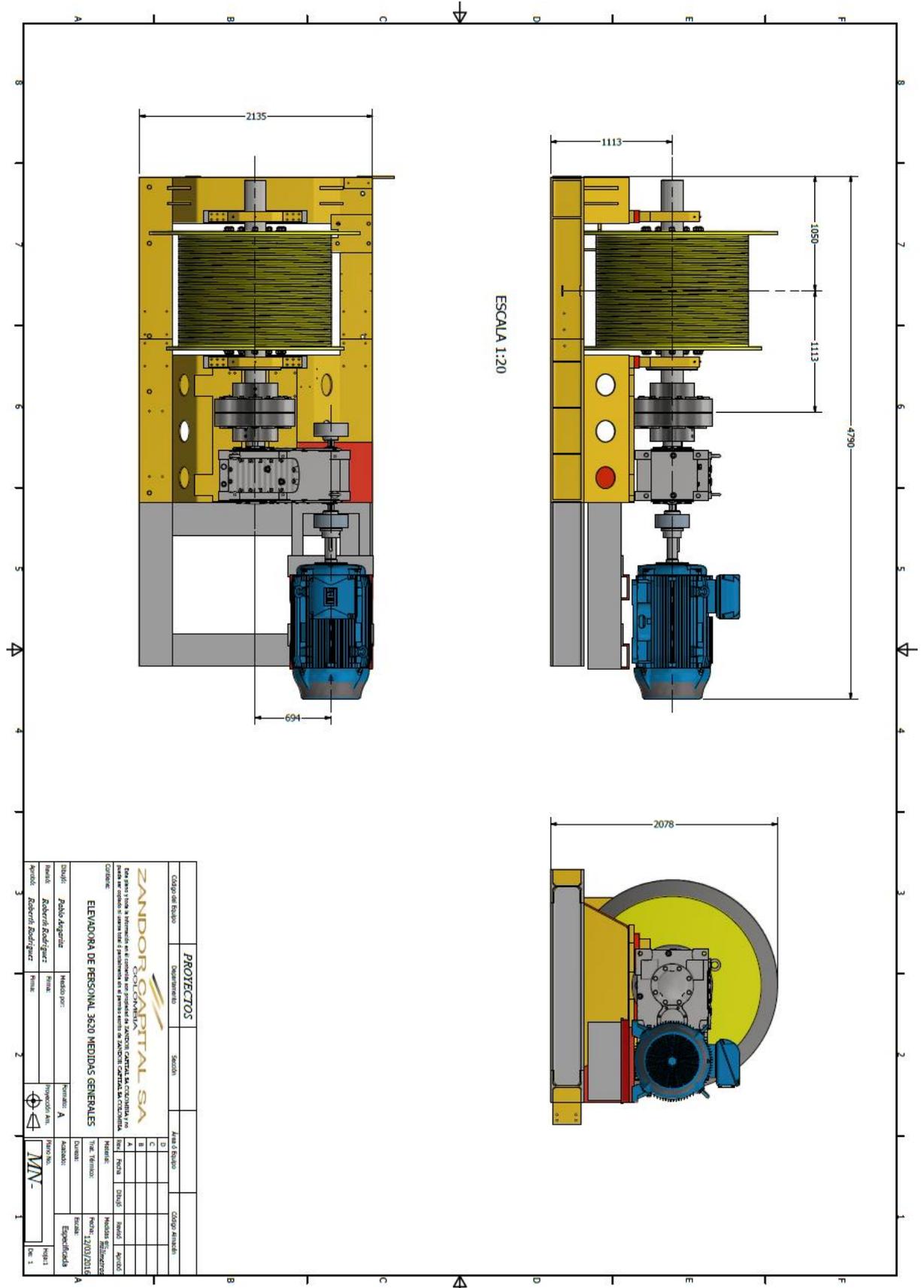
Properties, applications: Bearing grease for high loaded large bearings; low speed and shocks

Characteristics	Unit	Value	Test method
Marking:		KP2N-20	DIN 51825
Density:	[kg/dm ³]	ca. 0,9	
Specifications:			
Thickener:		mixed thickener	
Type of base oil:		mineral oil	
Temperature range:	[°C]	-20 to 140	DIN 51825
Longtime limit temperature:	[°C]	80	
Base oil viscosity at 40°C:	[mm ² /s]	≥ 400	DIN 51562 - 1
Worked penetration:	[0,1 mm]	265-295	DIN ISO 2137
Drop point:	[°C]	≥ 165	DIN ISO 2176
Water resistance:	[Range]	≤ 1-90	DIN 51807 - 1
Corrosion Emcor Test:	[Corr.Grad]	0/0	DIN 51802
1% NaCl:	[Corr.Grad]	≤ 1/1	
Copper corrosion after 24 h/120 °C:	[Corr.Grad]	≤ 1	DIN 51811
FE8 tests run Wear behaviour		Running time 500 hours, no failure	
536048 - 75/80-RT	[mg]	vWk50 ≤ 35mg	DIN 51819
536050MP - 3000/10-RT	[mg]	vWk50 ≤ 35mg	DIN 51819
536050MP - 7,5/80-80	[mg]	vWk50 ≤ 35mg	DIN 51819
536050MP - 7,5/80-RT	[mg]	vWk50 ≤ 35mg	DIN 51819
FE9 tests run (grease service lifetime)			
A/1500/6000-130	[h]	F50 ≥ 200 h	DIN 51821-02
	[h]	no failure < 100h	
Speed range:	Unit	Ball bearings and cylindrical roller bearings	Other roller bearings*)
Speed limit n*dm	[mm/min]	400.000	200.000

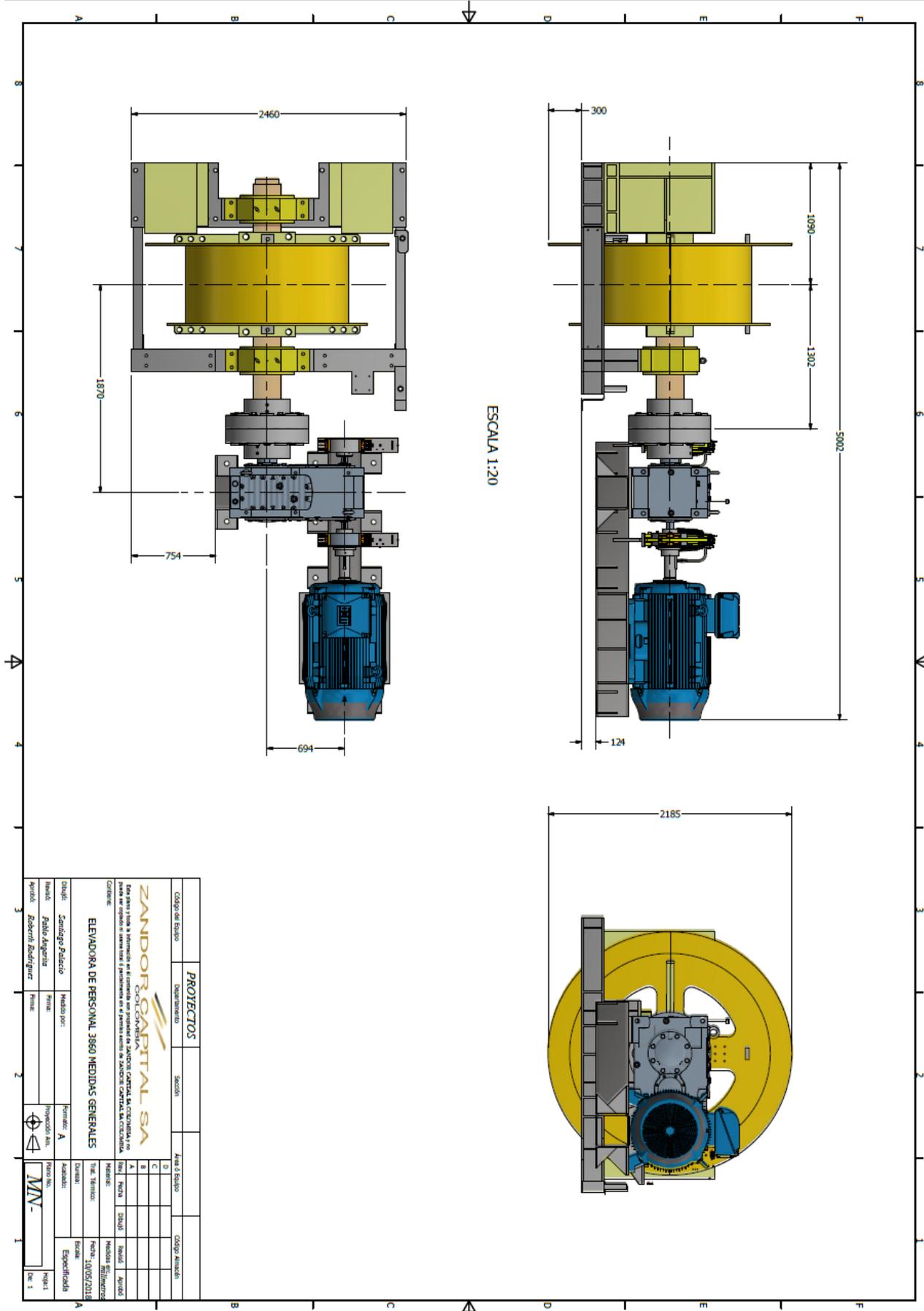
*) not cylindrical roller thrust bearings and spherical roller thrust bearings

ANEXO N Planos

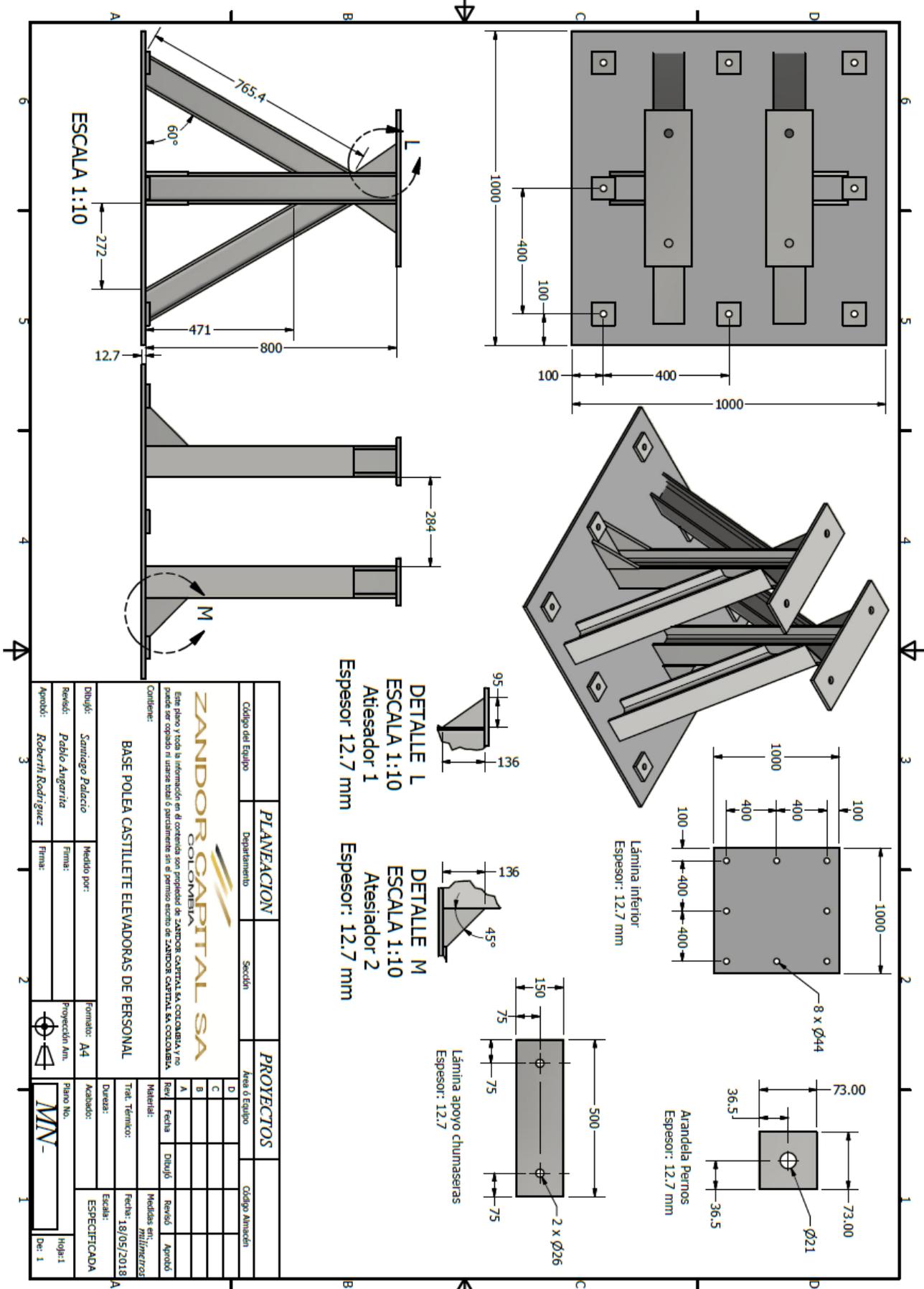
1. Ensamble elevadora 3620



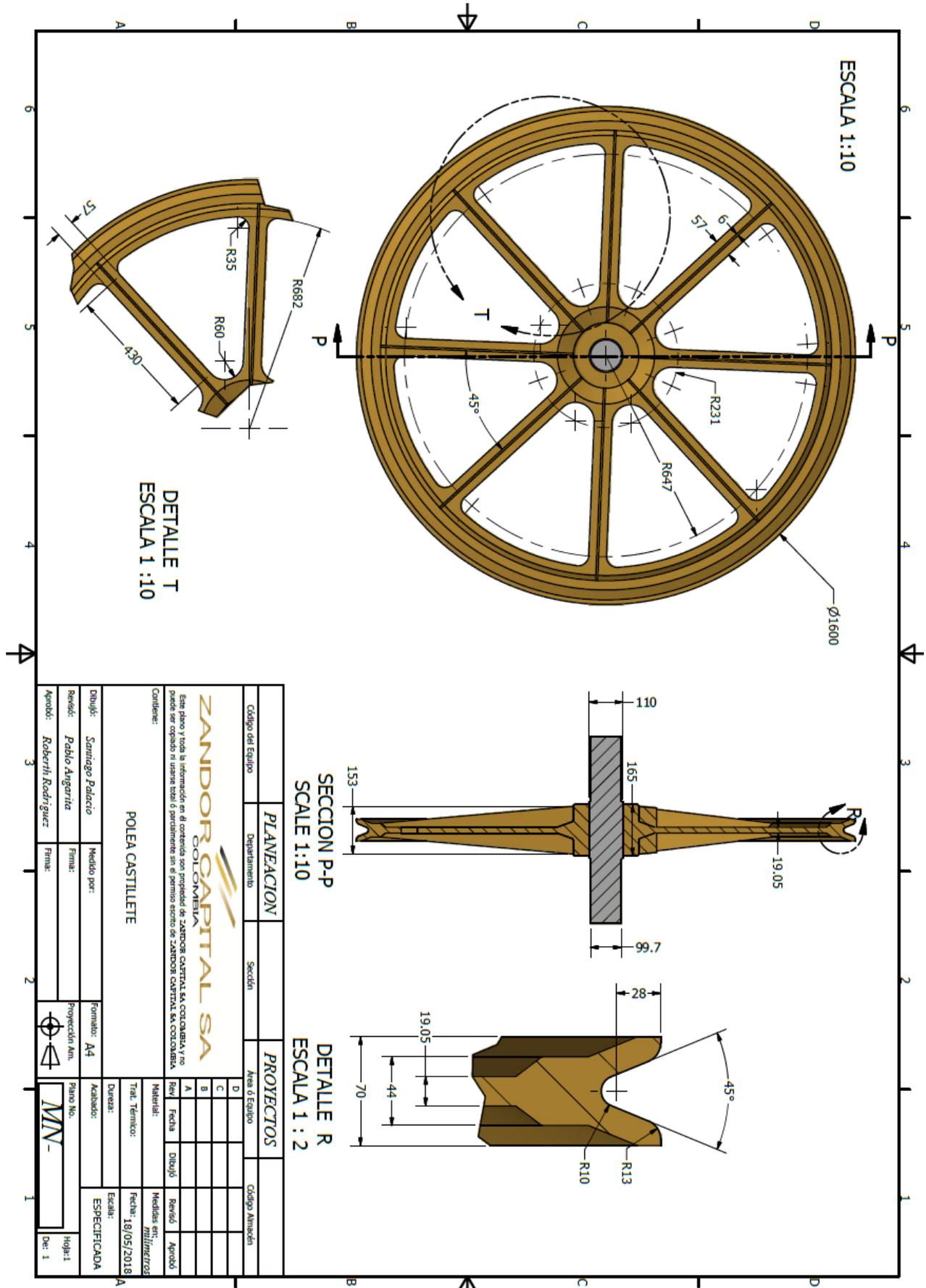
2. Ensamble elevadora 3860



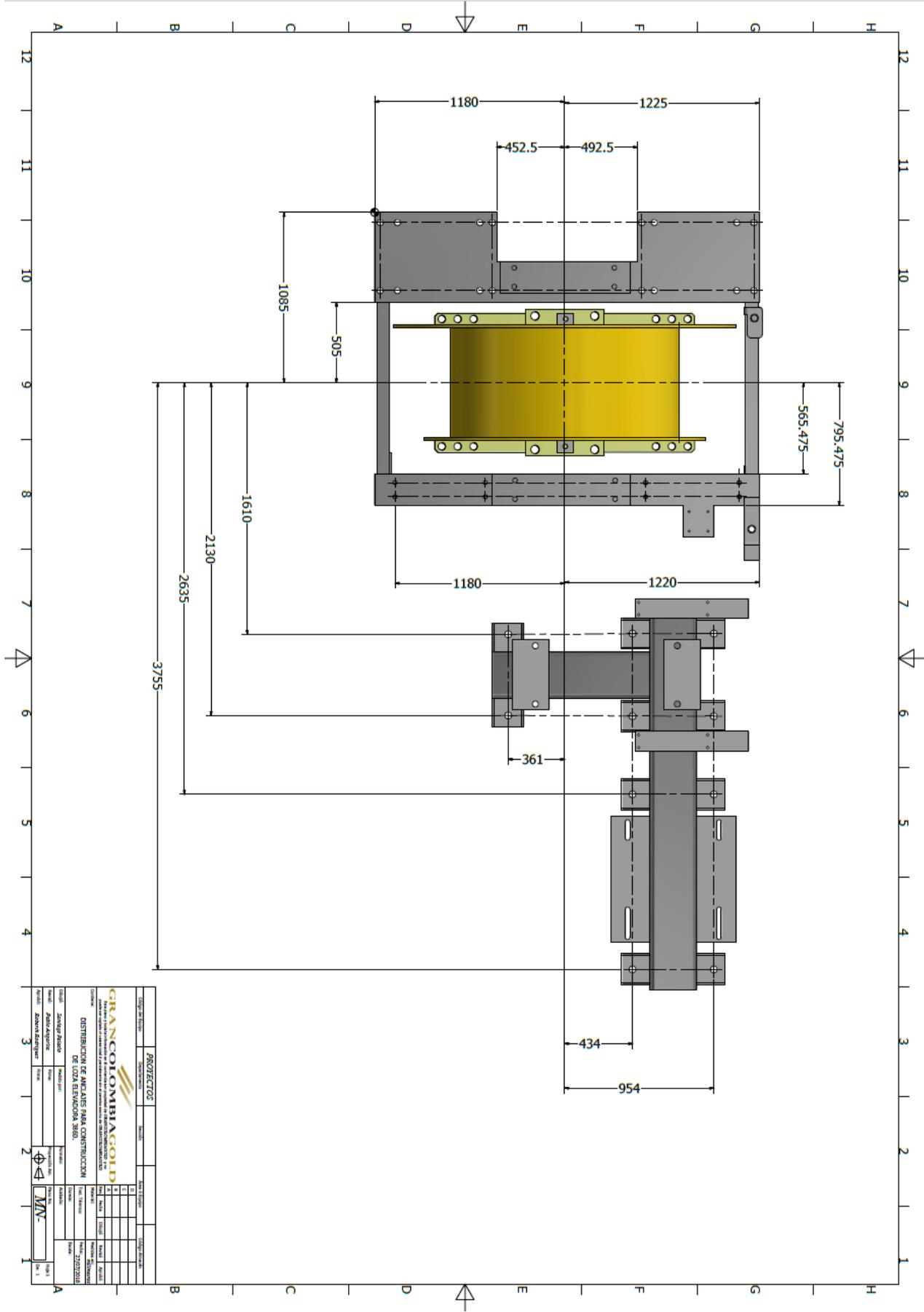
3. Castillete de Polea



4. Polea



5. Puntos de anclaje elevadora 3860



6. Puntos de anclaje elevadora 3620



ANEXO Ñ Factor de servicio Fs

Tabla Ñ. 1. Factor de servicio Fs [14]

Campo de aplicación/industria	Máquina accionada	Factor de servicio periodo operativo / día		
		< 3 h	3-10 h	> 10 h
Agitadores y mezcladores	Agitadores para líquidos	1.00	1.25	1.50
	Agitadores para líquidos (densidad variable)	1.20	1.50	1.85
	Agitadores para sólidos (material no uniforme)	1.40	1.60	1.70
	Agitadores para sólidos (material uniforme)	-	1.35	1.40
	Mezcladores de cemento	-	1.50	1.50
Transportadores por cable	Transportador de materiales por cable	-	1.40	1.50
	Teleféricos	1)	1)	1)
	Telesquíes	1)	1)	1)
	Teleféricos de circulación continua	1)	1)	1)
	Funiculares	1)	1)	1)
	Cintas transportadoras	Elevadores de cangilones	-	1.40
Elevadores - otros tipos		-	1.50	1.80
Cintas transportadoras ≤ 100 kW		1.15	1.25	1.40
Cintas transportadoras > 100 kW		1.15	1.30	1.50
Alimentadores de banda		-	1.25	1.50
Alimentadores de tornillos		1.15	1.25	1.50
Removedores, tamices		1.55	1.75	2.00
Escaleras mecánicas		1.55	1.25	1.50
Elevadores de pasajeros		1)	1)	1)
Compresores	Compresores alternativos	-	1.80	1.90
	Compresores centrífugos	-	1.40	1.50
	Compresores helicoidales	-	1.50	1.75
Grúas y equipos de elevación	Grúas y equipos de elevación	1)	2	2)
Energía	Convertidores de frecuencia	-	1.80	2.00
	Ruedas hidráulicas (baja velocidad)	-	-	1.70
	Turbinas hidráulicas	-	-	1)
Ventiladores	Intercambiadores de calor	1.50	1.50	1.50
	Torres de refrigeración en seco	-	-	2.00
	Torres de refrigeración húmeda	2.00	2.00	2.00
	Sopladores (axiales y radiales)	1.50	1.50	1.50
Industria alimentaria	Trituradoras y molinos	-	-	1.75
	Rebanadora de remolacha	-	1.25	1.50
	Tambores de secado	-	1.25	1.50
laminación	Bobinadoras	-	1.60	1.75
	Cortadoras	1.55	1.75	2.00
	Mesa transportadora, accionamientos individuales	1)	1)	1)
	Mesa transportadora, accionamientos en grupo	1)	1)	1)
	Mesa transportadora reversible	1)	1)	1)
	Máquinas de tracción de cable	1.35	1.50	1.75
	Aplanadoras	1)	1)	1)

1. Contacte a SEW-EURODRIVE

2. Contacte con SEW-EURODRIVE; dimensionamiento conforme con FEM1001

ANEXO O Factor de máximo FF

Tabla O. 1. Factor de máximo FF [14]

	Frecuencia de picos de carga por hora					
	1...5	6...20	21...40	41...80	81...160	> 160
Factor de pico F_F	1.00	1.20	1.30	1.50	1.75	2.00

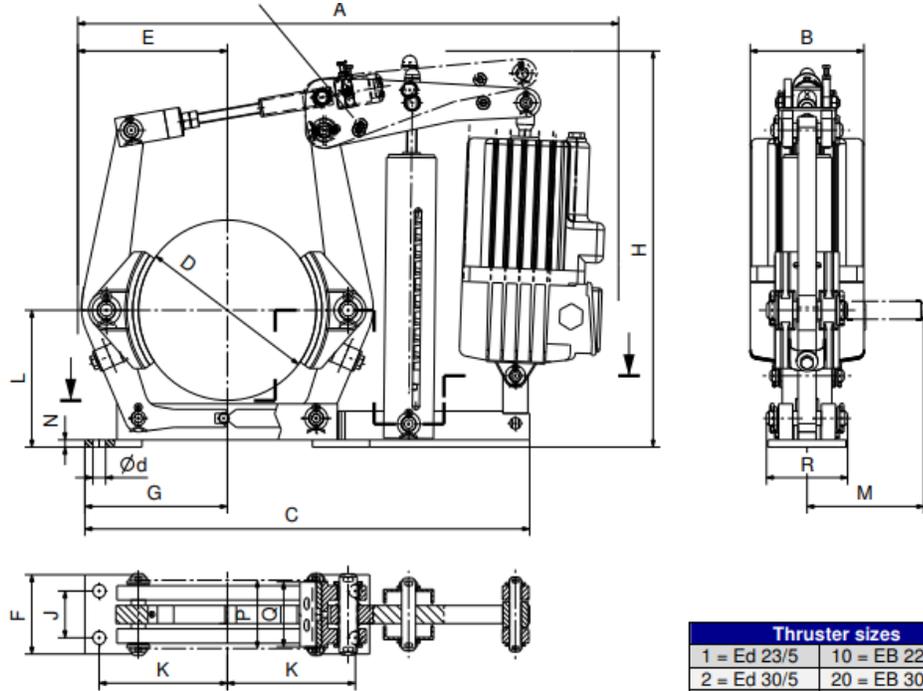
ANEXO P Tabla de selección reductor

Tabla P. 1. Tabla de selección reductor [14]

MC.PL..09, $n_1 = 1800$ 1/min							65.0 kNm								
7.10	6.91	260	37.9	1059	14.8	*)	MC2PLSF09 MC2PLHF09 MC2PLHT09	150	*)	406	244	520	327	166	280
8.00	7.99	225	43.8	1059	12.6	*)		160	*)	416	254	530	337		
9.00	8.97	201	48.0	1036	10.9	*)		168	*)	423	261	537	345		
10.00	9.53	189	41.5	841	16.6	*)		172	*)	427	265	541	349		
11.20	11.03	163	48.0	841	14.1	*)		181	87	436	274	550	358		
12.50	11.77	153	43.5	715	18.3	*)		185	91	440	278	554	362		
14.00	13.61	132	50.3	715	15.8	*)		193	99	449	286	563	370		
16.00	15.27	118	56.5	715	12.6	*)		152	*)	374	212	473	280		
18.00	17.01	106	57.6	655	14.3	*)		158	*)	379	217	478	286		
20.00	19.26	93	59.5	597	16.3	*)		164	70	386	224	485	292		
22.50	21.63	83	44.9	406	29.5	*)	155	84	349	226	435	289	182	283	
25.00	25.02	72	51.9	406	27.3	*)	161	89	354	231	441	295			
28.00	28.08	64	58.3	406	25.0	*)	165	93	358	236	445	299			
31.50	30.88	58	56.3	357	28.1	0.442	168	97	362	239	448	302			
35.50	34.65	52	63.2	357	25.6	0.443	172	101	366	243	452	306			
40.00	39.22	46	58.8	293	34.3	5.2	176	105	370	247	456	310			
45.00	44.10	41	61.6	273	32.3	*)	180	108	373	251	460	314			
50.00	49.49	36	63.6	252	34.9	*)	183	112	377	254	463	317			
56.00	54.43	33	64.2	231	35.8	2.29	186	115	380	257	466	320			
63.00	61.08	29	64.0	205	40.8	5.3	189	118	383	260	469	323			
71.00	68.03	26	64.4	185	42.5	*)	156	85	324	201	399	253	182	283	
80.00	76.35	24	64.6	165	47.4	*)	159	88	327	204	402	256			
90.00	86.42	21	60.4	137	57	3.60	163	91	330	207	405	259			
100.00	93.94	19	64.2	134	55	1.70	165	93	332	209	407	261			
112.00	106.33	17	60.3	111	64	4.94	167	96	335	212	410	264			

ANEXO Q Frenos se servicio

Tabla Q. 1. Frenos se servicio Sibre [22]



When ordering please advise:

- Brake Type and thruster e.g. TE 250/23/5
- power supply voltage for thruster
- with our without lining wear compensator
- options

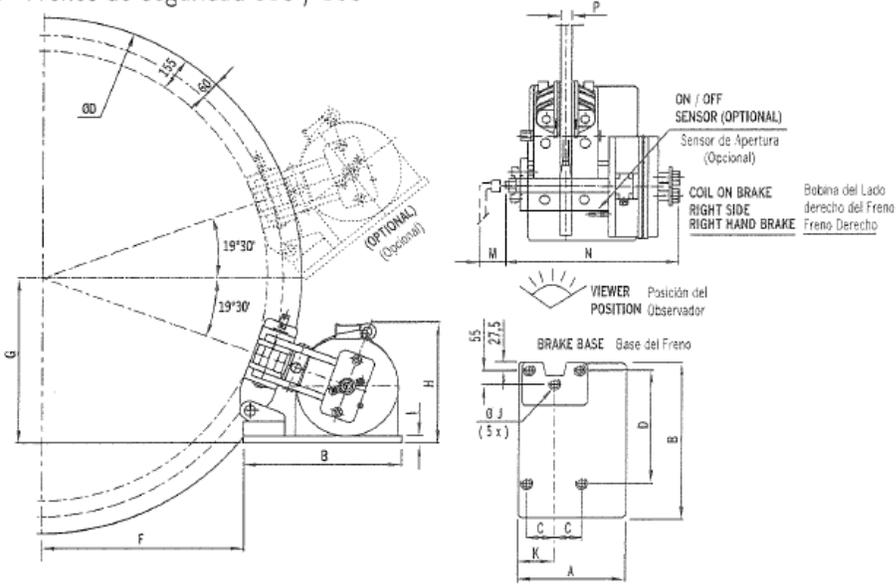
Thruster sizes	
1 = Ed 23/5	10 = EB 220-50
2 = Ed 30/5	20 = EB 300-50
3 = Ed 50/6	30 = EB 500-60
4 = Ed 80/6	40 = EB 800-60
5 = Ed 121/6	50 = EB 1250-60
6 = Ed 201/6	60 = EB 2000-60
7 = Ed 301/6	70 = EB 3000-60

Brake-Type	Thruster size	Torque Range in Nm at $\mu = 0,4$	A	B	C	D	E	F	G	H	J	K	L	M	N	P	Q	R	d	kg*
TE 200	1 / 10	50 – 300	640	160						475										
	2 / 20	85 – 400	640	160						475										
TE 250	1 / 10	40 – 325	760	160						550										
	2 / 20	40 – 450	760	160	625	250	210	110	200	550	65	180	190	133	10	95	90	113	18	30
	3 / 30	100 – 850	800	195						560										
TE 315	1 / 10	70 – 420	885	160						650										
	2 / 20	70 – 550	885	160						650										
	3 / 30	75 – 1050	925	195	735	315	260	125	240	660	80	220	230	160	10	118	110	135	18	50
	4 / 40	90 – 1700	925	195						660										
TE 400	2 / 20	80 – 575	1030	160						765										
	3 / 30	100 – 1100	1075	195						775										
	4 / 40	100 – 1800	1075	195	900	400	310	160	300	775	100	270	280	199	12	150	140	167	22	85
	5 / 50	125 – 2750	1075	240						775										
TE 500	3 / 30	200 – 1400	1225	195						870										
	4 / 40	200 – 2200	1225	195						870										
	5 / 50	200 – 3400	1215	240	1025	500	385	190	355	870	130	325	340	242	13	190	180	202	22	130
	6 / 60	200 – 5400	1215	240						870										
TE 630	5 / 50	500 – 3300	1365	240						1000										
	6 / 60	500 – 5500	1365	240	1190	630	465	250	440	1000	170	400	420	295	15	236	225	244	27	206
	7 / 70	500 – 8200	1365	240						1000										
TE 710	5 / 50	500 – 3800	1500	240						1100										
	6 / 60	500 – 6300	1500	240	1302	710	525	270	490	1100	190	450	470	332	15	265	255	276	27	268
	7 / 70	500 – 9400	1500	240						1100										

ANEXO R Frenos de emergencia

Tabla R. 1. Frenos de emergencia [24]

OC Line - 30C / 10C Emergency Brakes Línea OC - Frenos de Seguridad 30C / 10C



Applying-Pads Area / Frenado - Área de las Guarniciones:	Spring / Por Resortes - 400 [cm ²]	Worn-out adjustment / Regulación de desgaste	Mechanical - Manual / Manual
Releasing / Destrenado:	Electromagnetic / Electromagnético	Response time / Tiempo de Respuesta:	0,3 [s]
		30C Brake / Freno 30C	10C Brake / Freno 10C
Braking Force / Fuerza de Frenado (EF):		41.200 [N]	58.370 [N]
Braking Torque / Par de Frenado (MF):		MF = 0,0005 x EF x (D - 120) [Nm]	MF = 0,0005 x EF x (D - 120) [Nm]
Torque Adjustment Range / Banda de Regulación del Torque:		De +0% a -30%	De +0% a -30%
Dimensions / Definición de las Cotas (G / F):		G = 255 + (0,1669 x D) F = (0,4713 x D) - 128	G = 306 + (0,1669 x D) F = (0,4713 x D) - 156

30C Brake / Freno 30C - Weight / Peso 210 [kgf]															
Discs/Discos	MF [Nm]	EF [N]	Main Dimensions [mm] / Dimensiones Principales [mm]												
ØD [mm]	30C	30C	A	B	C	D	F	G	H	I	J	K	L	M	N
550	8.858	41.200	362	515	90	285	131	347	390	25	M30	135	120	520	30
625	10.404						167	359							
705	12.052						204	373							
795	13.906						247	388							
995	18.026						341	421							

10C Brake / Freno 10C - Weight / Peso 390 [kgf]															
Discs/Discos	MF [Nm]	EF [N]	Main Dimensions [mm] / Dimensiones Principales [mm]												
ØD [mm]	10C	10C	A	B	C	D	F	G	H	I	J	K	L	M	N
550	12.549	58.370	415	602	96	441	103	398	467	25	M30	138,5	120	660	42
625	14.738						139	410							
705	17.073						176	424							
795	19.700						219	439							
995	25.537						313	472							

VULKAN reserves the right to change shapes, values and construction dimensions without prior notice.
VULKAN se reserva el derecho de alterar formas, valores y dimensiones constructivas sin previo aviso.

ANEXO S Análisis de vibraciones

El análisis de vibraciones se realizó con el equipo FLUKE Vibration Meter 805/805 FC, con base a la norma ISO-10816, censando la vibración global de velocidad en [(mm/s)/rms], la vibración global de aceleración en [G], el factor cresta CF+ para la condición del rodamientos.

Según la norma ISO-10816, la vibración global de velocidad es aceptable si es menor o igual a 4,5 mm/s, Preocupante si se encuentra en los 7,5 mm/s y los 4,5 mm/s y grave si es mayor a 7,5 mm/s.

Para la vibración global de aceleración, se considera aceptable si esta es menor o igual a 3 G, preocupante si está entre 3 G y 5 G, y grave si es mayor a 5G.

Para la condición del rodamiento, se considera bueno si el factor cresta es menor o igual a 5 CF+, satisfactorio si el factor está entre 5CF+ y 10CF+, no satisfactorio si se encuentra entre 10CF+ y 16CF+ e inaceptable si el factor es mayor a 16CF+.

Los resultados obtenidos se encuentran en la ilustración S.1, de donde se aprecia que en el motor se obtuvo un valor de vibración en aceleración fuera de rango aceptable, en dirección horizontal, lo cual es una característica típica de problemas en rodamientos. Se concluye que la vida útil de estos se verá reducida por lo que se recomienda engrasar y realizar seguimiento de estos.

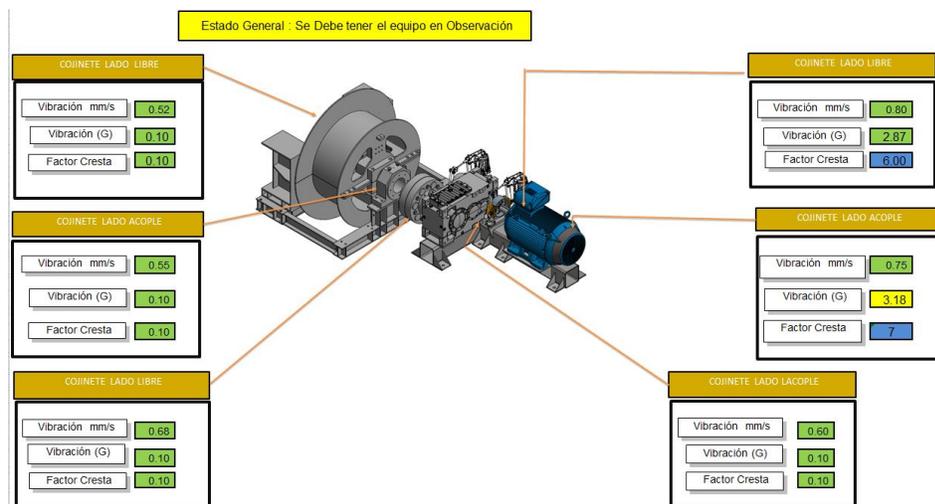


Ilustración S. 1. Resultado de análisis de vibraciones

BIBLIOGRAFÍA

Jurisdicción

- [1] COLOMBIA. MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA. Decreto 1886 (21 de septiembre de 2015). Por el cual se establece el Reglamento de Seguridad en las Labores Mineras Subterránea. Bogotá D.C. Ministerio de Minas y Energía, 2015, p.82. Recuperado de: https://www.minminas.gov.co/documents/10180/698204/DOCUMENTO_ReglamentoSeguridadMineriaSubterranea.pdf/774e58ab-d35d-4d92-8e7e-fd63ec127216

Libros

- [2] AMERICAN SOCIETY OF MECHANICAL ENGINEERS. ASME B30.7. Winches: (formerly titled base-mounted drum hoists): safety standard for cableways, cranes, derricks, hoists, hooks, jacks, *and slings*. New York: American Society of Mechanical Engineers. 2011.
- [3] AMERICAN NATIONAL STANDARD. ANSI A10.4-2016. Safety Requirements for Personnel Hoists and Employee Elevators on Construction and Demolition Sites - American National Standard for Construction and Demolition Operations. New York: American Society of Safety Engineers.2016.
- [4] _____ . ANSI A10.5-2006. Safety Requirements for Material Hoists - American National Standard for Construction and Demolition Operations. New York, NY: American National Standards Institute.2006.
- [5] ASOCIACIÓN ESPAÑOLA DE NORMALIZACIÓN Y CERTIFICACIÓN. UNE-EN ISO 286-2. Especificación geométrica de productos (GPS). Sistema de codificación ISO para las tolerancias en dimensiones lineales. Parte 2: Tablas de las clases de tolerancia normalizadas y de las desviaciones límite para

agujeros y ejes. Comité de metrología y calibración CTN 82. Ginebra: AENOR. 2011.

- [6] BRITISH STANDARD INSTITUTION. BS EN 81-1. Safety rules for the construction and installation of lifts. British Standard. London: BSI. 1998.
- [7] DÁVILA, J. Diseño y Construcción de una Máquina Clasificadora para Obtención de Huevos de Sitotroga en la Empresa Bioagro (tesis de pregrado). Colombia: Universidad Tecnológica de Pereira, Colombia. 2014.
- [8] DONOGHUE, Edward A. ASME A 17.1/ CSA B44 Handbook. Safety code for elevators and escalators: includes requirements for elevators, escalators, dumbwaiters, moving walks, material lifts, and dumbwaiters with automatic transfer devices. New York: American Society of Mechanical Engineers. 2016.
- [9] FAIRES, V.M. *Diseño de elementos de máquinas*. 4ta reimpresión. Barcelona: Editorial Limusa. 1995.
- [10] GRAN COLOMBIA GOLD. *Procedimiento Estándar de Trabajo Seguro, PETS*. Colombia. 2018. Recuperado de: www.grancolombiagold.com.co
- [11] _____. *Quienes somos*. Colombia. 2018. [En línea] Recuperado de: www.grancolombiagold.com.co
- [12] NORTON, R. Diseño de maquinaria. 4th ed. México: McGraw-Hill. 2009.
- [13] R. G. Roberth. (2016). *Elevadora de Personal Mina El Silencio Nv0 – Nv29*. Departamento de Proyectos Especiales y Montajes Especiales. Zandor Capital S.A. Colombia. Segovia, Antioquia

[14] SEW Eurodrive Colombia. (2007). *Catálogo de Reductores Industriales de la Serie MC*. Edición 9. [Catálogo]

[15] Shaeffler KG (2009). *Rodamientos FAG* [Catálogo]

Sitios web

[16] Aceros Bravo. *Catálogo de Productos*. Chile. 2018. [En línea]. Recuperado de: <http://www.acerosbravo.cl/productos-pro.php?idcat=2&idpro=51>

[17] Autodesk Inventor Professional. Software CAD 3D para desarrollo de productos [En línea]. Recuperado de: <https://latinoamerica.autodesk.com/products/inventor/overview>

[18] EMCOCABLES. Catálogo Cables: manejo, clasificación, factores de seguridad, usos y recomendaciones. [En línea]. Colombia. 2018. Recuperado de: <http://www.emcocables.com/catalogos/cables.pdf>

[19] HILTI. Catálogo *Hilti HIT-RE-500 V3 instrucciones de uso*. Recuperado de: https://www.hilti.com/medias/sys_master/documents/ha8/9172092715038/HIT-RE500_V3_330_500W_PUB_5251867_000.pdf.

[20] KRT-Group (2017). Catálogo de Instrucciones de servicio y montaje. [En línea]. Recuperado de: <https://www.ktr.com/de-es/productos/tecnologia-de-transmision-de-potencia/acoplamiento/acoplamiento-elastico-de-garras-y-acoplamiento-con-casquillo-y-pasador/rotex/rotex-bfn/>

[21] KTR. Catálogo Instrucciones de funcionamiento y montaje. REVOLEX KX-D Acoplamiento de pasador y casquillos. [En línea]. Recuperado de: <https://www.roydisa.es/wp-content/uploads/2012/10/Montaje-Revolex-KX-KXD.pdf>

[22] SIBRE BREAKES. Drump Breakes TE Spring applied, thruster released. [En línea]. Recuperado de: <http://www.sibre.com.au/>

- [23] Universidad Politécnica de Madrid (2007). *Diseño de Explotaciones e Infraestructuras Mineras Subterráneas*. Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Minas. [En línea]. Fecha de consulta 16/10/2018. Recuperado de: http://oa.upm.es/21841/1/071101_L3_labores_subterranas_2.pdf
- [24] Vulkan Drive Tech. *Freno de disco electromagnético*. [En línea]. Fecha de consulta: 20/03/2018. Recuperado de: <http://www.vulkan.com/es-es/drivetech/productos/frenos/freno-de-disco-electromagn%C3%A9tico>
- [25] WEG Colombia. Productos y servicios, Motores Eléctricos Industriales Trifásicos. Recuperado de: old.weg.net/co/Productos-y-Servicios/Motores-Elctricos/Industriales-Trifasicos