



PROYECTO: “ESTUDIOS COMPLEMENTARIOS PARA EL DETALLE DE INGENIERÍAS DE LA LÍNEA ROLDÓS – OFELIA”

Producto 2:

CAPÍTULO I.5: Informe Ingeniería electromecánica: Sistema Volante

RESPONSABLES:

	NOMBRE	CÉDULA	FIRMA
ELABORADO POR	Marco Carrión	1719503615	
JEFE DE ÁREA	Ing. Marcelo Carrera	1705277661	
APROBADO POR	Ing. Carlos Baldeón	1704378890	

CÓDIGO: QC-OR-TT-MEC5-MC-001

JUNIO 2016

Índice

1. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE VOLANTE	5
1.1 CARATERISTICAS GENERALES	5
1.2 TIPOS DE VOLANTE	6
1.2.1 <i>Volante Doble</i>	6
1.2.2 <i>Volante Simple</i>	7
1.3 REQUERIMIENTOS DE LAS NORMAS	8
1.3.1 <i>Seguridad a la tracción</i>	8
1.3.2 <i>Efectos dinámicos</i>	9
1.3.3 <i>Transmisión de la fuerza tangencial</i>	9
1.3.4 <i>Coefficiente de rozamiento admisible en el volante</i>	10
1.3.5 <i>Rodamientos</i>	10
1.3.6 <i>Materiales</i>	11
1.4 ESPECIFICACIONES DEL SISTEMA.....	11
2. MEMORIA DE CÁLCULO DEL SISTEMA DE VOLANTE.....	12
2.1 DETERMINACIÓN DEL DIÁMETRO ÓPTIMO DEL VOLANTE	12
2.1.1 <i>Propiedades del cable tractor-portador</i>	14
2.1.2 <i>Ejemplo de cálculo</i>	14
2.1.2.1 Cálculo del diámetro del volante y el factor de seguridad	14
2.1.2.2 Cálculo de la velocidad tangencial del volante (V_1)	15
2.2 DIMENSIONAMIENTO DE EJES Y CAMISAS.....	16
2.2.1 <i>Eje Soporte principal para volante doble</i>	16
2.2.1 <i>Eje Soporte principal para volante simple</i>	21
2.2.2 <i>Simulación con ayuda de software de diseño</i>	27
3. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS.....	31
4. ANEXOS.....	41

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura SV 1.1 Esquema general del sistema	5
Figura SV 1.2 Sistema Volante Doble	7
Figura SV 1.3 Sistema Volante Simple	7
Figura SV 2.1 Gráfica para determinar relación (P/S_u) vs #de ciclos para vida infinita	13
Figura SV 2.2 Peso influyente en el volante doble	16
Figura SV 2.3 Movimiento de rotación del volante	17
Figura SV 2.4 Diagrama de cuerpo libre del eje de rotación volante doble	17
Figura SV 2.5 Eje redondo con filete en torsión	20
Figura SV 2.6 Eje redondo con filete en flexión.....	20
Figura SV 2.7 Peso influyente en el volante simple.....	22
Figura SV 2.8 Movimiento de rotación del volante	22
Figura SV 2.9 Diagrama de cuerpo libre del eje de rotación volante simple	23
Figura SV 2.10 Tensión de Von Mises simulación del eje.....	28
Figura SV 2.11 Desplazamientos resultantes simulación del eje.....	28
Figura SV 2.12 Deformaciones unitaria equivalente resultantes de simulación del eje	29
Figura SV 2.13 Factores de seguridad resultantes de simulación del eje (Tensión de Von Mises)	29

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla SV 1.1 Resumen de la tipología del Sistema de Volante.....	7
Tabla SV 1.2 Factores de seguridad a la tracción	8
Tabla SV 1.3 Efectos dinámicos	9
Tabla SV 1.4 Coeficiente de rozamiento admisible en el volante	10
Tabla SV 1.5 Especificaciones del sistema.....	11
Tabla SV 2.1 Propiedades de Aceros ASTM	27
Tabla SV 2.2 Resultados de cálculos de sistema de volante	30

1. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE VOLANTE



Figura SV 1.1 Esquema general del sistema

1.1 CARACTERÍSTICAS GENERALES

El volante es uno de los principales sistemas que forman parte del teleférico (monocable) los cuales son parte de las estaciones en las que se necesita que el cable cambien su trayectoria ya sea a un cierto ángulo diferente o el cable portador-tractor realice el retorno en una estación específica.

El sistema de volante permite el apoyo y retorno del cable de manera segura, además permite cambiar la dirección del cable portador-tractor. El volante posee varias partes o diferentes piezas montadas que permiten su correcto funcionamiento.

El volante posee discos cortados de cierta manera que permiten darle un diámetro grande, con ciertas partes huecas que ayudan a que cada uno de estos discos no tenga tanto peso. En el diámetro exterior posee un anillo de caucho que evita el deslizamiento y el desgaste por fricción del cable portador-tractor.^[1]

El cable portador-tractor debe ingresar y salir de los radios del volante de manera recta sin que el cable forme un cierto ángulo que pueda hacer que el cable portador-tractor salga del volante por acción de fuerzas normales a la tangente del anillo de caucho.

La seguridad en este sistema es de muy alta importancia debido a que la falla de alguno de los elementos podría ocasionar un descarrilamiento del cable portador-tractor para ellos se posee elementos que detectan rotura o descarrilamiento.

1.2 TIPOS DE VOLANTE

Los sistemas de volante se clasifican en dos tipos que permiten la funcionalidad del sistema en general según los requerimientos de las estaciones y el cable portador-tractor de la línea Ofelia Roldós.

En base a la consideración de las simulaciones del cable portador-tractor realizadas y entregadas en el capítulo F del presente estudio y el diseño de las estaciones al colocar dos tramos rectos y por ello dos cables portador-tractor hasta la estación central donde existe el cambio de trayectoria se encontró que es necesario el diseño de dos tipos de volante que permitan acoplarse a los requerimientos del sistema general como que posea una o dos gargantas, que deba estar recto o a un ángulo de inclinación, que se acople a la transmisión de potencia, que posea sistemas de emergencia, entre otras.

La causa principal de los dos tipos de volante viene dado por el número de gargantas o el número de cables portador-tractor que deben pasar por el volante es decir en estaciones intermedias donde exista un cambio notable de la trayectoria del cable y donde existan dos cables portador-tractor que pasan por una misma estación se necesita dos gargantas que permitan sostener los dos cables portador-tractor al cual se denominó volante doble, mientras que en estaciones extremas pasa solo un cable portador-tractor por lo cual el volante debe poseer una sola garganta al cual se denominó volante simple

1.2.1 Volante Doble

El volante doble tiene como principal característica posee doble garganta es decir que por este van a pasar dos cables portador-tractor al igual que en la estación van a llegar dos cable portador-tractor. El volante doble va a estar sometido a cargas de tensión del cable portador-tractor y las fuerzas resultantes del montaje con el motor reductor. El volante doble tiene un peso de 7813.43 Kg

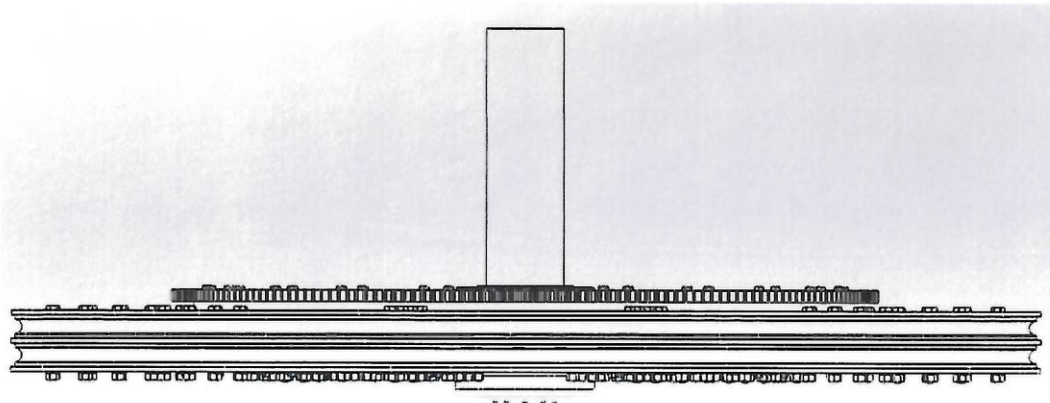


Figura SV 1.2 Sistema Volante Doble

1.2.2 Volante Simple

La principal característica del volante simple es que posee una garganta es decir que por este va a pasar un solo cable portador-tractor al igual que en la estación va a llegar un solo cable portador-tractor. El volante simple va a estar sometido a cargas de tensión del cable portador-tractor y la tensión que parte del cilindro hidráulico. El volante simple tiene un peso de 4823.44 Kg

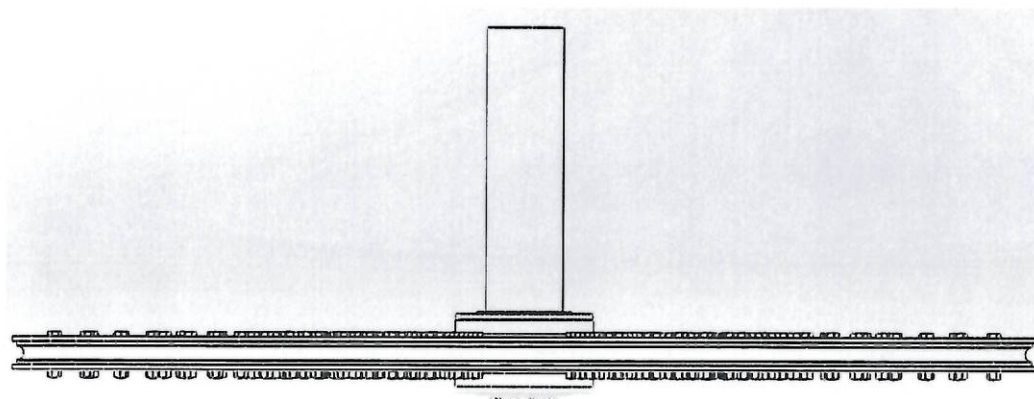


Figura SV 1.3 Sistema Volante Simple

Tabla SV 1.1 Resumen de la tipología del Sistema de Volante

TIPOLOGÍA	Número de Pilona
Volante Doble	Estaciones Colinas del Norte
Volante Simple	Estaciones Ofelia y Roldós

1.3 REQUERIMIENTOS DE LAS NORMAS

Para el diseño de los sistemas de volante se consideró normas europeas, En las normas se define al volante como polea motriz. Estas normas están enfocadas al diseño y construcción de transportes por cable así como normas de seguridad, que se muestran a continuación:

- ◆ UNE-EN 13223
Requisitos de seguridad de las instalaciones de transporte por cable destinadas a personas Sistemas de accionamiento y otros equipos mecánicos
- ◆ UNE-EN 12930
Requisitos de seguridad de las instalaciones de transporte por cable destinadas a personas. Cálculos
- ◆ UNE-EN-12929-1
Requisitos de seguridad de las instalaciones de transporte por cable destinadas a personas. Requisitos generales. Parte 1: Requisitos aplicables a todas las instalaciones.

Las normas descritas anteriormente regulan valores dentro de los cálculos que permiten una construcción segura y confiable.

1.3.1 Seguridad a la tracción

Existen valores de seguridad a la tracción que especifica la norma europea UNE-EN 12930.

Tabla SV 1.2 Factores de seguridad a la tracción ¹

Factores de seguridad a la tracción	
La seguridad a la tracción no debe ser menor a	4.0
La seguridad a la tracción no debe ser superior a	20.0

¹ (UNE-EN 12930)

1.3.2 Efectos dinámicos

Se debe tener en cuenta valores máximos teniendo en cuenta peligros que se presentan en el momento de la operación del sistema como lesiones o caída de personas en las cabinas, levantamiento de los cables de los soportes, el levantamiento de la cabina del cable tractor portador o rieles respectivamente.

Tabla SV 1.3 Efectos dinámicos ²

Efectos dinámicos	
El valor de la aceleración en el arranque deber ser de al menos	15 m/s ²
El valor de desaceleración mínimo de una frenada de motor es de	0.4 m/s ²

Se debe tener en cuenta los factores dinámicos de explosión del cable para el caso de que el efecto dinámico sea debido a la rotura del cable tractor-portador o en el caso de una instalación con freno incorporado sin ruptura del cable tractor portador.

1.3.3 Transmisión de la fuerza tangencial

Se debe verificar que exista la seguridad en la transmisión de la fuerza tangencial sobre el volante ya sea para el simple como el volante doble. Se considera correcto el coeficiente de rozamiento del volante cuando este valor admisible sea mayor o igual para todos los tipos de carga influyentes en el mismo al coeficiente de operación se deben tener en cuenta efectos dinámicos para lo cual se tienen la siguiente fórmula:

$$\mu_{adm} \geq \mu_{ope} = \frac{1}{\alpha} \times \ln \frac{T_{m\acute{a}x}}{T_{m\acute{i}n}}$$

(Ecu 1.1) ³

² (UNE-EN 12930)

³ (UNE-EN 12930)

Donde:

- α Es el ángulo de contacto del cable con la polea motriz [rad];
- T_{max} ó T_{min} Son las fuerzas de tensión máxima y mínima en el volante al mismo caso de carga;
- μ_{ope} Coeficiente de rozamiento de operación del volante.

Se debe tomar en cuenta los efectos dinámicos del apartado 1.3.2 Los valores de tensión del cable se encuentra en el Capítulo F.

1.3.4 Coeficiente de rozamiento admisible en el volante

- ♦ Se deben realizar los cálculos en base a coeficientes de rozamiento correspondientes a condiciones que están presentes en la realidad como por ejemplo el cable húmedo, cable lubricado a 40°C en las siguientes condiciones:

Tabla SV 1 4 Coeficiente de rozamiento admisible en el volante ⁴

Coeficiente de rozamiento admisible en el volante	μ_{adm}
Para efectos dinámicos aceleración al arranque.	0.67
Para pérdida total de presión hidráulica en el sistema de tensión.	0.73
Para efectos dinámicos y pérdida total de presión hidráulica.	0.8

Para el caucho se puede tomar un coeficiente de rozamiento mínimo $\mu = 0.30$.

1.3.5 Rodamientos

- ♦ Los rodamientos se deben dimensionar y calcular para una duración de vida de mínimo de 25 000 h según la norma ISO 281, (UNE-EN 13223)

⁴ (UNE-EN 12930) (UNE-EN-12929-1)

1.3.6 Materiales

Los materiales que se deben colocar en el teleférico y sus correspondientes elementos deben adaptarse a las necesidades y requerimientos como la puesta en obra y las sollicitaciones a las que están sometidos. Se debe tener en cuenta principalmente condiciones atmosféricas, resistencia a la corrosión, resiliencia, elasticidad, su inflamabilidad, rangos de utilización óptimos como temperatura, tiempo de vida, etc. ⁵

1.4 ESPECIFICACIONES DEL SISTEMA

Tabla SV 1.5 Especificaciones del sistema

ESPECIFICACIONES DEL SISTEMA	
Número Total de Volantes	3
Número de Volantes Dobles	1
Número de Volantes Simples	2
Velocidad máx del sistema	5 m/s
Diámetro del cable	54 mm

⁵ (UNE-EN-12929-1)

2. MEMORIA DE CÁLCULO DEL SISTEMA DE VOLANTE

2.1 DETERMINACIÓN DEL DIÁMETRO ÓPTIMO DEL VOLANTE

Varios de los valores que se utilizan en los cálculos son generados en varios capítulos los cuales están referenciados correspondientemente en el documento.

Los ejemplos de cálculo realizan una síntesis de los procesos necesarios para el cálculo así como un resumen de procesos iterativos realizados a lo largo del diseño. Se debe tomar en cuenta que el análisis más profundo se debe realizar en los elementos críticos donde los esfuerzos están concentrados

Realizada la selección del cable tractor-portador en base a la resistencia estática es necesario que se cumplan ciertos criterios. El cable tractor-portador al apoyarse sobre la garganta del volante genera una presión lo cual produce un desgaste tanto en el cable tractor-portador como en la ranura de contacto del volante. Una estimación a esta presión está dada por la siguiente formula:

$$P = \frac{2 * F}{D * d}$$

(Ecu 2.1)⁶

Donde:

- P Presión de apoyo [N/m²]
- d Diámetro del cable tractor-portador [m]
- D Diámetro del volante [m]
- F Carga de tensión máxima aplicada en el cable tractor-portador [N]

Se puede obtener un diagrama de fatiga en la cual a partir de la Figura SV 2.1 se muestra una gráfica para determinar la relación (P/S_u) a partir del número de deflexiones del cable. Dentro de este análisis, la curva indica que el cable tiene un límite de fatiga sobre las poleas, lo que quiere decir que con el tiempo fallará ya sea por desgaste o fatiga.

⁶ (SHIGLEY J.; "Diseño en Ingeniería Mecánica"; Editorial McGraw-Hill; Octava edición; México; 2006)

Esta grafica muestra que el cable tendrá una larga vida útil si dicha relación (P/S_u) es menor que 0.001, de esta manera se tiene que:

$$S_u = \frac{2000 * F}{D * d}$$

(Ecu 2.2)

Donde:

S_u Resistencia ultima del alambre [N]

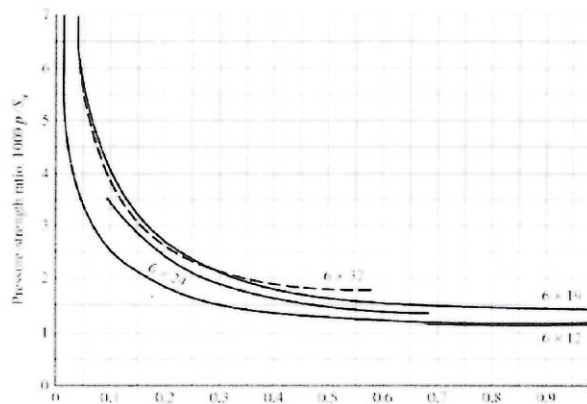


Figura SV 2 1 Gráfica para determinar relación (P/S_u) vs #de ciclos para vida infinita⁷

A partir de la ecuación 2.1 dividida para la resistencia ultima del cable y despejando F se obtiene la siguiente ecuación:

$$F_f = \frac{\left(\frac{P}{S_u}\right) * S_u * d * D}{2}$$

(Ecu 2.3)

Donde:

F_f Tensión admisible a la fatiga cuando el alambre se flexiona n veces [N]

Para determinar el factor de seguridad este se define como:

$$n_f = \frac{F_f - F_b}{F_t}$$

(Ecu 2.4)

⁷ (SHIGLEY J.; "Diseño en Ingeniería Mecánica"; Editorial McGraw-Hill; Octava edición; México; 2006)

Donde:

F_b Carga equivalente de flexión del cable [Ton]

F_t Carga de tensión máxima aplicada al cable [Ton]

Para conocer F_b se define mediante la siguiente ecuación:

$$F_b = \frac{E_r * d_w * A_m}{D}$$

(Ecu 2.5)

Donde:

E_r Módulo de elasticidad del cable tractor-portador [kPa]

A_m Sección transversal metálica de cable tractor portador [m²]

d_w Diámetro de cable tractor-portador [m]

Cuando existe contacto entre el cable tractor-portador y la garganta del volante se produce flexión, debido a ello se produce una concentración de esfuerzos.

2.1.1 Propiedades del cable tractor-portador

El valor del diámetro del cable es de 54mm. que se determinó en el capítulo F . El factor de diseño a fatiga está determinado considerando el tiempo de vida. Se considera los casos más críticos de funcionamiento es decir 18 horas los 365 días del año. Se toman los valores calculados del cable tractor-portador del capítulo F.

2.1.2 Ejemplo de cálculo

2.1.2.1 *Cálculo del diámetro del volante y el factor de seguridad*

A continuación se procede con un ejemplo de cálculo del número de flexiones que se poseen durante la vida útil del cable tractor portador. Mediante la ayuda de simulaciones del trazado de la línea Ofelia Roldós entregada en el capítulo F del producto 1, se puede conocer el número de flexiones.

Diámetro del cable = 54mm =0.054m

Diámetro min de volante= 3m

$F_f = 242$ Toneladas

$F_b = 45$ Toneladas

$F_t = 37$ Toneladas

Los valores están en base al capítulo F.

$$n_f = \frac{F_f - F_b}{F_t}$$
$$n_f = \frac{242 - 45}{37}$$
$$n_f = 5.32$$

Valor de n_f cumple con el factor de seguridad establecido en la norma UNE-EN 13223

$$D = \frac{160000 * 0.054 * 0.0229}{45}$$
$$D = 4.396m \text{ Se aproxima a}$$
$$D = 4.40m$$

2.1.2.2 Cálculo de la velocidad tangencial del volante (V_1)

Una vez determinado el diámetro del volante que cumple con el correspondiente factor de seguridad se realiza el cálculo de la velocidad tangencial con la que se mueve el volante y por ende el cable que lleva las cabinas.

El valor de velocidad angular que sale del reductor es 21.68 rpm obtenido del capítulo I2.3.1 Cálculo de relación de transmisión.

Para el cálculo de la velocidad tangencial se obtiene a partir de la siguiente ecuación:

$$v_{tan} = \omega * r_{vol}$$

(Ecu 2.6)

Donde:

v_{tan} Velocidad tangencial del volante

r_{vol} Radio del volante

ω Velocidad angular del reductor

$$v_{tan} = 21.68 \frac{rev}{min} * \frac{1}{60} \frac{rev}{min} * \frac{2\pi rad}{1 rev} * 2.2m$$

$$v_{tan} = 4.9947 \frac{m}{s} \text{ Se aproxima a}$$

$$v_{tan} = 5 \frac{m}{s}$$

2.2 DIMENSIONAMIENTO DE EJES Y CAMISAS

2.2.1 Eje Soporte principal para volante doble

Para el diseño del eje este se ve sometido a cargas combinadas en un análisis estático para determinar un diámetro tentativo en el diseño del mismo. Se debe tomar en cuenta que las tensiones forman cierto ángulo con respecto a las componentes normal-tangencial, estas tensiones parten de cada cable tractor-portador lo que genera un análisis de los cables tractor-portador con sus correspondientes ángulos para cada una de las trayectorias a las estaciones en los extremos.

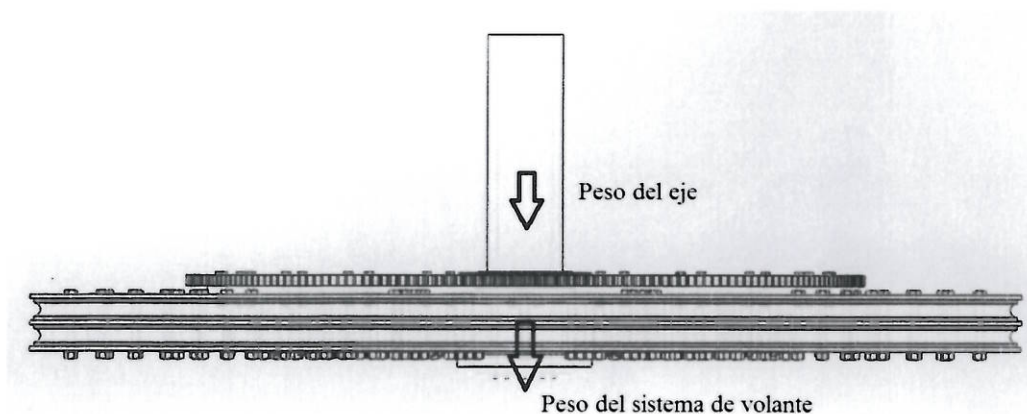


Figura SV 2.2 Peso influyente en el volante doble

$$P = \text{Peso del eje} + \text{Peso del sistema de volante}$$

$$P = \text{Peso total [kN]}$$

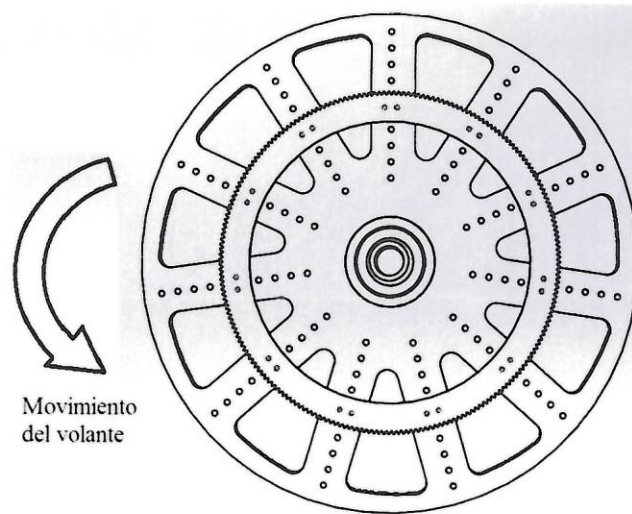


Figura SV 2.3 Movimiento de rotación del volante

Diagrama de cuerpo libre

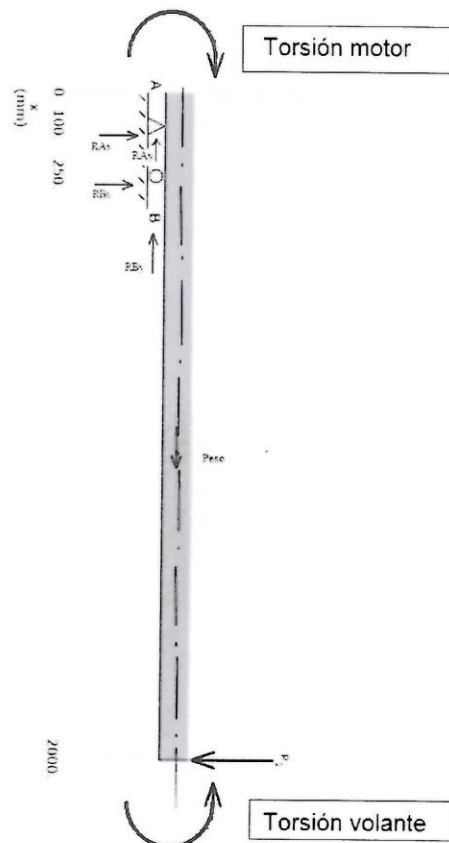


Figura SV 2.4 Diagrama de cuerpo libre del eje de rotación volante doble

Para calcular el esfuerzo a la tensión en el eje que se aplica por el peso del sistema de volante que calcula mediante la siguiente ecuación:

$$\sigma_y = \frac{F}{A}$$

(Ecu 2.7)

Donde:

F : Fuerza aplicada por el peso del sistema de volante.

A : Área de la sección transversa a la Fuerza

El área se puede encontrar mediante la siguiente ecuación:

$$A = \pi r^2 / 4$$

(Ecu 2.8)

Donde:

A Área de la sección transversa a la Fuerza.

r Radio menor del eje.

Para calcular el esfuerzo a flexión en el eje se aplica la siguiente ecuación:

$$\sigma_x = \frac{M_{\text{máx}} \times C}{I}$$

(Ecu 2.9)

Donde:

M : Momento flector máximo.

C : es la distancia de aplicación de la carga

I : Momento de inercia con respecto al eje x

Para encontrar el valor de c , se debe dividir el diámetro a la mitad.

$$C = \frac{d}{2} = r$$

(Ecu 2.10)

Donde:

d : Diámetro del eje

r : Radio del eje

El momento de inercia de un eje de sección circular se determina mediante:

$$I = \pi r^4 / 4$$

(Ecu 2.11)

Remplazando la ecuación 2.9 en la ecuación 2.10 se obtiene la siguiente expresión:

$$\sigma_o = \frac{Mmáx \times r}{\pi r^4 / 4} = \frac{4 Mmáx}{\pi r^3}$$

(Ecu 2.12)

Para calcular el cortante que se produce en el eje se utiliza la siguiente ecuación.

$$\tau_{xyo} = \frac{Tmáx \times r}{J} = \frac{16 T}{\pi d^3}$$

(Ecu 2.13)

Donde:

M : Torsión aplicada.

r : Radio de aplicación de la torsión.

J : Momento polar de inercia de la sección transversal circular.

Para el análisis del radio de la muesca

Se debe considerar los esfuerzos generados por el cambio de sección en el eje ya que el eje posee una geometría con muescar o radios de acuerdo para el ensamblaje de los diferentes elementos de sujeción y rotación para su funcionamiento.

Se debe procede a determinar los esfuerzos máximos determinando el factor k_f y k_{fs} de la sección más crítica en este caso el menor diámetro del eje.

Para conocer los valores de k_t y k_{ts} se debe conocer el diámetro mayor, menor y el radio de la muesca que son valores que van al criterio del diseñador (D , d , r_m).

A partir de la figura SV 2.5 y figura 2.6 se obtienen estos valores.

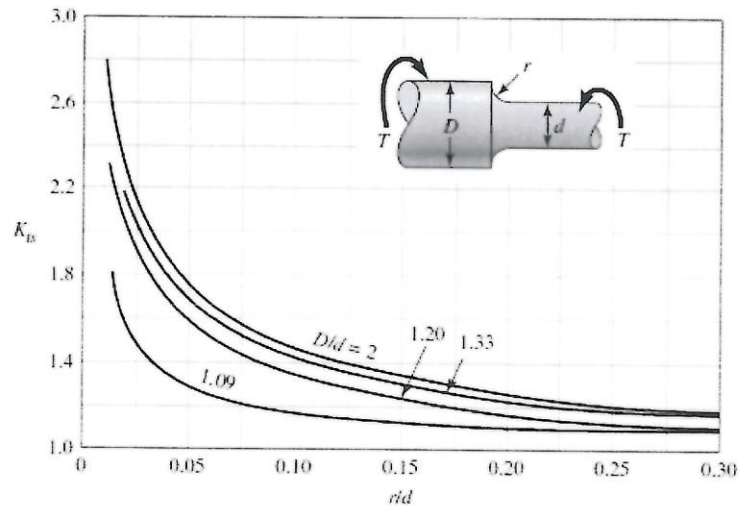


Figura SV 2.5 Eje redondo con filete en torsión⁸

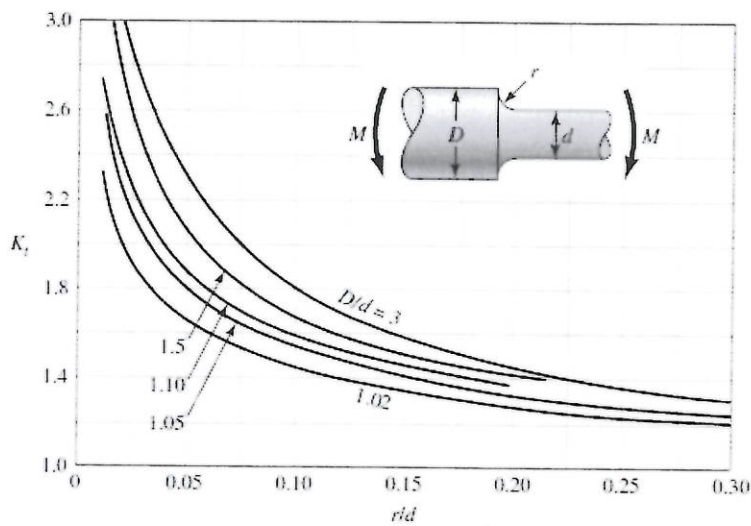


Figura SV 2.6 Eje redondo con filete en flexión⁹

Para determinar el esfuerzo y cortantes máximos se utiliza las siguientes ecuaciones:

$$\sigma_x = \sigma_{max} = Kt * \sigma_o$$

(Ecu 2.14)

$$\tau_{xy} = \tau_{max} = Kts * \tau_{xyo}$$

(Ecu 2.15)

⁸ (SHIGLEY J.; "Diseño en Ingeniería Mecánica"; Editorial McGraw-Hill; Octava edición; México; 2006)

⁹ (SHIGLEY J.; "Diseño en Ingeniería Mecánica"; Editorial McGraw-Hill; Octava edición; México; 2006)

Para determinar el factor de seguridad con el que cumple el diseño del eje se debe conocer el esfuerzo admisible (Esfuerzo de Von Mises σ') donde se aplica la siguiente ecuación para esfuerzos en σ_x , y σ_y el cortante en el plano τ_{xy}

$$\sigma' = \sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_x\sigma_y + \sigma_y^2 + 3 * \tau_{xy}^2}$$

(Ecu 2.16)

Para determinar el factor de seguridad se aplica la siguiente ecuación:

$$n = \frac{S_y}{\sigma'}$$

(Ecu 2.17)

Donde:

- n Factor de seguridad
- S_y Resistencia a la fluencia del material
- σ' Esfuerzo de Non Mises

Aplicando el esfuerzo admisible se tiene la siguiente expresión que permite determinar el radio mínimo del eje.

$$r = \sqrt[3]{\frac{4 Mmáx (n_s)}{\pi (S_y)}}$$

(Ecu 2.18)

2.2.1 Eje Soporte principal para volante simple

De igual manera para el volante simple diseño del eje debe ser en base a las cargas a las que se ve sometido las cuales son muy similares a las del volante doble a excepción que el valor del peso del sistema de volante es distinto y esto influye en el análisis de carga a tracción. El eje se ve sometido a cargas combinadas dentro del análisis que se debe considerar. Tomar en cuenta que las tensiones forman cierto ángulo con respecto a las componentes normal-tangencial, estas tensiones parten de cada cable tractor-portador lo

que genera un análisis de los cables tractor-portador con sus correspondientes ángulos para cada una de las trayectorias a las estaciones en los extremos.

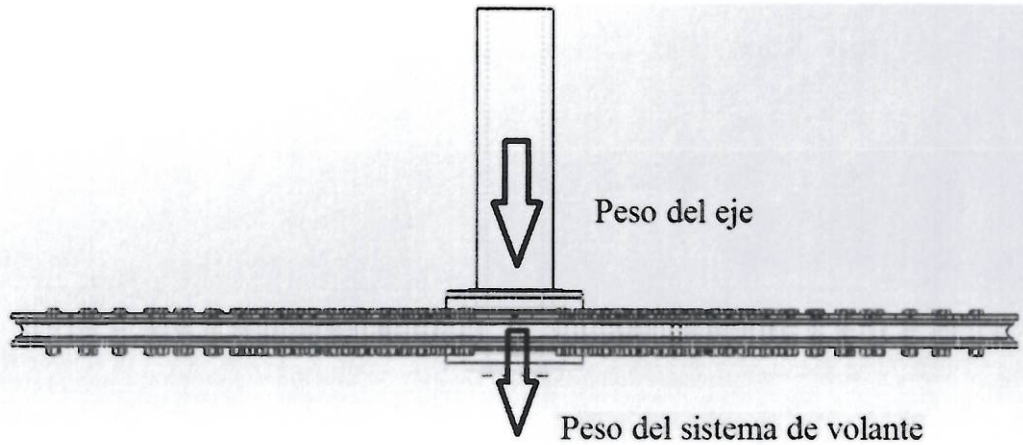


Figura SV 2.7 Peso influyente en el volante simple

$$P = \text{Peso del eje} + \text{Peso del sistema de volante}$$

$$P = \text{Peso total [kN]}$$

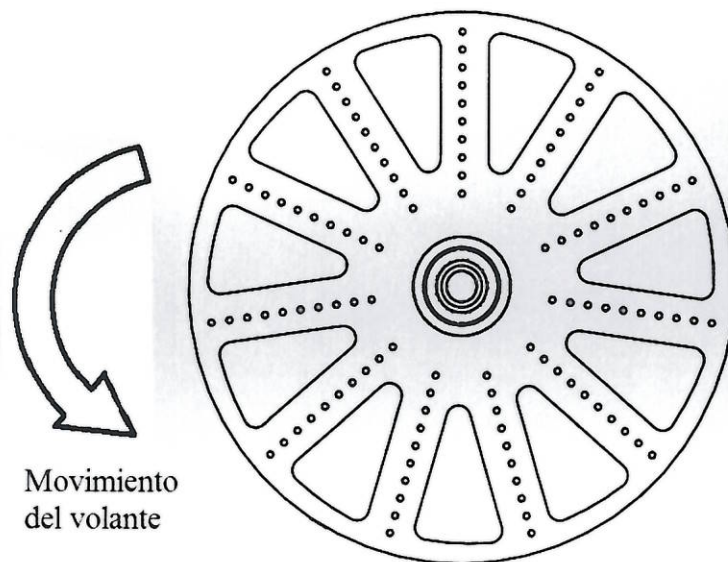


Figura SV 2.8 Movimiento de rotación del volante

Diagrama de cuerpo libre

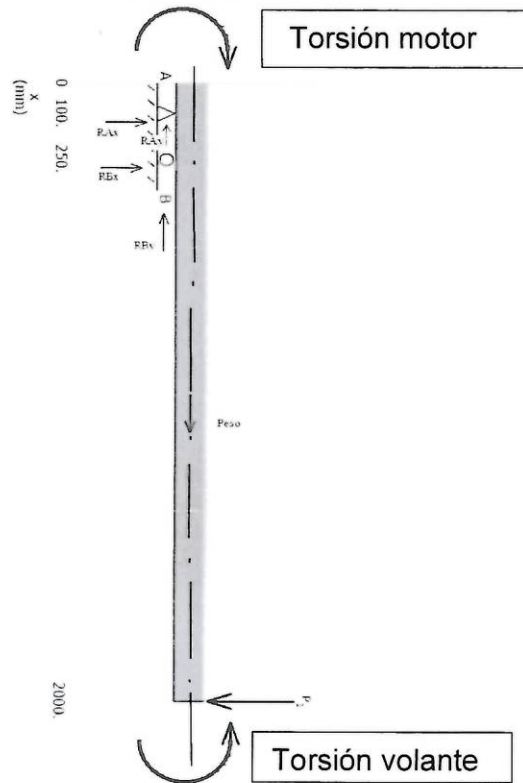


Figura SV 2 9 Diagrama de cuerpo libre del eje de rotación volante simple

Para calcular el esfuerzo a la tensión generada por el peso del sistema de volante que es diferente al volante doble, se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$\sigma_y = \frac{F}{A}$$

(Ecu 2.19)

Donde:

F : Fuerza aplicada por el peso del sistema de volante.

A : Área de la sección transversa a la Fuerza

El área se puede encontrar mediante la siguiente ecuación:

$$A = \pi r^4 / 4$$

(Ecu 2.20)

Los valores de Esfuerzo en el eje x y cortante se los calcula de la misma manera pero para ello se debe tener en cuenta que el valor de la tensión cambia debido a que solo posee un cable y el ángulo que se forma es distinto al que se encuentra en el volante doble.

Una vez encontrado los esfuerzos en los ejes correspondientes como el del cortante encuentra el esfuerzo de Von Mises como se muestra en la ecuación 2.16.

$$\sigma' = \sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_x\sigma_y + \sigma_y^2 + 3 * \tau_{xy}^2}$$

(Ecu 2.16)

De igual manera se sigue el mismo procedimiento del volante doble y se encuentra el valor del factor de seguridad (n):

$$n = \frac{S_y}{\sigma'}$$

(Ecu 2.17)

Donde:

n Factor de seguridad

S_y Resistencia a la fluencia del material

σ' Esfuerzo de Non Mises

Aplicando el esfuerzo admisible se tiene la siguiente expresión que permite determinar el radio mínimo del eje.

$$r = \sqrt[3]{\frac{4 M_{\text{máx}} (n_s)}{\pi (S_y)}}$$

(Ecu 2.18)

2.2.2 Ejemplo de cálculo

Se selecciona los valores en base a la siguiente tabla 1.3 Esfuerzo F_y y F_u

Tabla 1.3 Esfuerzos F_y y F_u de aceros estructurales.

Nomenclatura		F_y (3)		F_u (4)	
NMX (1)	ASTM (2)	MPa	kg/cm ²	MPa	kg/cm ²
B-254	A36	250	2 530	400 a 550	4 080 a 5 620
B-99	A529	290	2 950	414 a 585	4 220 a 5 975
B-282	A242	290	2 950	435	4 430
		320	3 235	460	4 710
		345	3 515	485	4 920
B-284	A572	290	2 950	414	4 220
		345	3 515	450	4 570
		414	4 220	515	5 270
		450	4 570	550	5 620
	A992	345	3 515	450 a 620	4 570 a 6 330
B-177	A53	240	2 460	414	4 220
B-199	A500 (5)	320	3 235	430	4 360
B-200	A501	250	2 530	400	4 080
	A588	345 (6)	3 515 (6)	483 (6)	4 920 (6)
	A913	345 a 483 (7)	3 515 a 4 920 (7)	448 a 620 (7)	4 570 a 6 330 (7)

- (1) Norma Mexicana.
- (2) American Society for Testing and Materials.
- (3) Valor mínimo garantizado del esfuerzo correspondiente al límite inferior de fluencia del material.
- (4) Esfuerzo mínimo especificado de ruptura en tensión. Cuando se indican dos valores, el segundo es el máximo admisible.
- (5) ASTM especifica varios grados de acero A500, para tubos circulares y rectangulares.
- (6) Para perfiles estructurales; para placas y barras, ASTM especifica varios valores, que dependen del grueso del material.
- (7) Depende del grado; ASTM especifica grados 50, 60, 65 y 70.

Valores calculados en base al capítulo F del producto 1 en las respectivas componentes proyectadas.

$$F_{\text{peso}} = 78.45 \text{ kN}$$

$$F_{\text{cable}} = 442.48 \text{ kN para volante doble}$$

$$F_{\text{cable}} = 525.96 \text{ kN para volante simple}$$

$$d = 300 \text{ mm}$$

$$A = \pi r^2 / 4$$

$$A = \pi 0.3^2 / 4$$

$$A = 6.362 \times 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$\sigma_y = \frac{F}{A}$$

$$\sigma_y = \frac{78.45}{6.362 \times 10^{-3}}$$

$$\sigma_y = 12331.03 \text{ kN/m}^2$$

$$C = \frac{d}{2} = r$$

$$C = \frac{300}{2}$$

$$C = 150 \text{ mm}$$

$$I = \pi r^4 / 4$$

$$I = \pi 0.15^4 / 4$$

$$I = 0.398 \times 10^{-4} \text{ m}^4$$

$$T = F * r$$

$$T = (442.48/2) * 0.15$$

$$T = 33.186 \text{ kNm}$$

$$T = F * r$$

$$T = (525.96/2) * 0.15$$

$$T = 39.45 \text{ kNm}$$

$$\tau_{xyo} = \frac{T_{\text{máx}} * r}{J} = \frac{16 T}{\pi d^3}$$

$$\tau_{xyo} = \frac{16 * 33.186}{\pi 0.15^3}$$

$$\tau_{xyo} = 50078.49 \text{ kN/m}^2$$

$$r = \sqrt[3]{\frac{4 M_{\text{máx}} (n_s)}{\pi (S_y)}}$$

$$r = \sqrt[3]{\frac{4 * 50078.49 * (5.86)}{\pi (25300000)}}$$

$$r = 0.2453m$$

$$r_{\min} = 245.3mm$$

Se seleccionó un diámetro de 250mm para el eje principal y un diámetro de 330mm junto con la camisa del eje.

Nota: El sistema de volante debe poseer los elementos necesarios de retención de lubricantes como aceite y grasas. Se debe colocar retenedores de tipo rotatorio en los elementos que se mueven uno sobre otro y retenedores fijos entre elementos sin movimiento relativo, En lugares de sellado de aceite se debe colocar silicona de grado elastómero utilizada en empaques y sellado de juntas para evitar fugas.

2.2.3 Simulación con ayuda de software de diseño

El material utilizado para la fabricación de los ejes es de acero ASTM A-36, en la tabla SV 2.1 se encuentran las propiedades de los aceros ASTM donde se puede determinar el S_y y S_u del acero utilizado.

Tabla SV 2.1 Propiedades de Aceros ASTM¹⁰

De esta tabla obtenemos que el $S_y = 250$ MPa. Y $S_u =$ de 400 a 550MPa.

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Tensiones1	VON: Tensión de von Mises	24922 N/m ²	4.27722e+007 N/m ²
		Nodo: 2061	Nodo: 1415

¹⁰ (http://www.ahmsa.com/Acero/Complem/Manual_Construccion_2013/Capitulo_1.pdf)

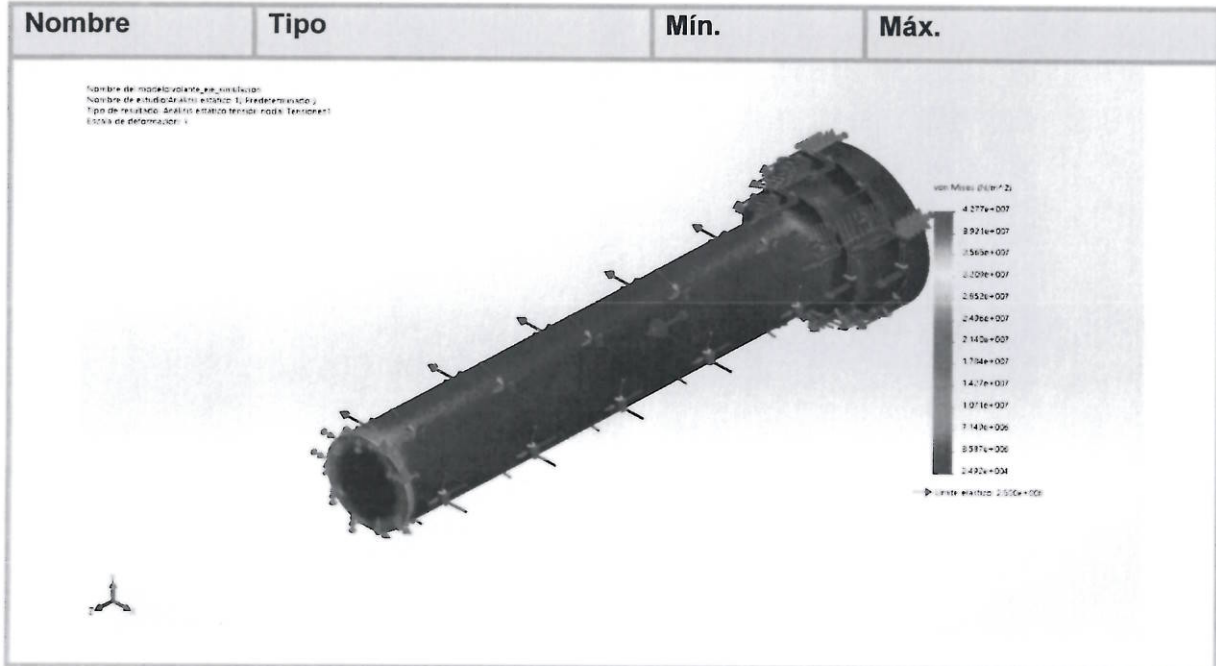


Figura SV 2.10 Tensión de Von Mises simulación del eje

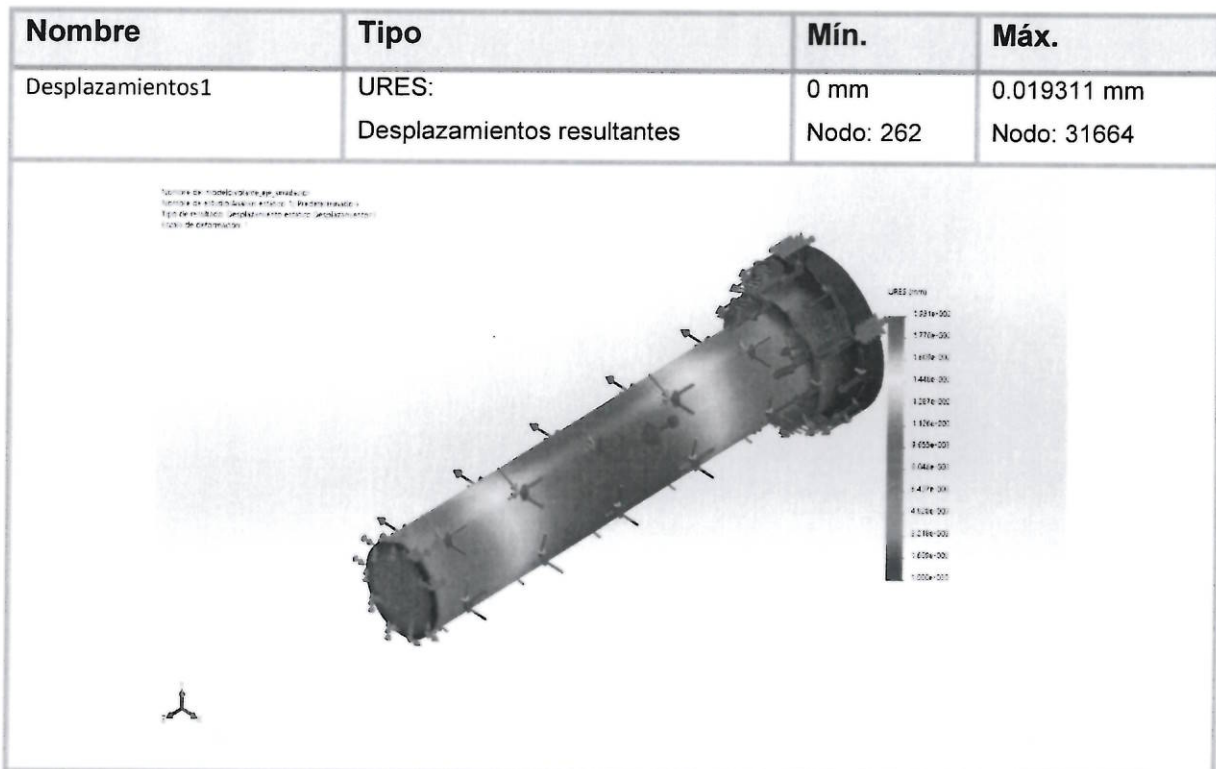


Figura SV 2.11 Desplazamientos resultantes simulación del eje

El sistema de volante debe poseer un recubrimiento de pintura con una película relativamente opaca capaz de que la misma se adhiera al material metálico. Debe tener la capacidad de proteger contra la corrosión al material base, ser decorativa, aislante, filtre la radiación y no volátil.

Determinados los cálculos y simulado en el software de diseño se puede determinar que los diámetros seleccionados para el eje cumplen con los valores en el intervalo correspondiente a lo que dictamina la norma¹¹.

En la tabla se encuentran los dimensionamientos tomados para los elementos analizados que finalmente son los óptimos para un diseño que presente confiabilidad y basadas en las normas detalladas en cada uno de los literales.

Tabla SV 2.2 Resultados de cálculos de sistema de volante

SISTEMA DE VOLANTE			
Cálculo del diámetro del volante y el factor de seguridad			
Descripción	Simb	Valor	Unidad
Carga equivalente de flexión del cable	Ff	242	Ton
Carga de tensión máxima aplicada al cable	Fb	45	Ton
Carga de operación del cable	Ft	37	Ton
Factor de seguridad de cargas aplicadas	nf	5,32	-
Diámetro del volante	D	4,4	m
Cálculo de la velocidad tangencial del volante			
Velocidad angular del moto-reductor	w	21,68	rpm
Velocidad tangencial (velocidad de las cabinas)	vtan	5	m/s
Calculos del diseño del eje			
Diámetro mínimo del eje	d	330	mm
Diámetro mayor del eje	D	450	mm
Radio de la muesca	rm	40	mm
Coefficiente de eje redondo en flexión	Kt	1,6	-
Coefficiente de eje redondo en torsión	Kts	1,4	-
Resistencia al limite elástico	Sy	250	MPa
Esfuerzo máximo de Von Mises		4,28E+07	N/m ²
Factor de seguridad mínimo (Esfuerzo Von Mises)	ns	5,84	-

Consideraciones

Se tomaron las consideraciones respectivas para pernos, lubricante, chaveteros, topes para rodamientos, referenciar planos.

¹¹ (UNE-EN 12930)

3. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

3.1 SUMINISTRO SISTEMA VOLANTE DOBLE

SV-001	Rubro SUMINISTRO VOLANTE DOBLE (VD)
	Unidad U

Definición

El volante es un sistema mecánico que permite el apoyo y retorno del cable de manera segura, además permite cambiar la dirección del cable. Este **Rubro** representa desde la adquisición de los elementos constituyentes y almacenamiento hasta el montaje.

El volante doble está ubicado en la estación motriz y está encargado de transmitir el movimiento a partir del reductor, además de ello es un volante de doble garganta lo que significa que se une a dos cables de la línea.

Descripción

El volante doble posee dos gargantas. El volante debe ser colocado de tal forma que permitir la rotación a partir del eje tubular que se encuentra acoplado a un reductor en la parte superior del volante.

La vibración del volante debe estar dentro de rangos normales de vibración para el conjunto de la maquinaria.

El volante deben garantizar una vida útil de mínimo de 500 000 ciclos de tensión.

El volante debe estar recubierto de caucho o de un material sintético similar. La altura de la garganta debe ser igual como mínimo al diámetro del cable. Además el volante debe ser montado de tal que se oponga al descarrilamiento del cable.

Para la transmisión de la fuerza tangencial el volante debe poseer un coeficiente de rozamiento admisible que asegure un movimiento continuo y sin deslizamiento a cargas críticas. Por lo tanto, el volante debe estar recubierto de caucho o de un material sintético similar.

El volante debe poseer una corona que permita al motor eléctrico principal acoplarse a un sistema motriz de emergencia como se especifica en la norma EN-2929-1. Este volante debe poseer un sistema de frenado por fricción, la superficie de frenado en los elementos que componen el sistema debe ser mecanizada y montados con precisión a las tolerancias dadas por la holgura de los frenos.

El suministro debe contener como mínimo los siguientes elementos:

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD
CHAPA REDONDA D4400 CON PERFORACIONES Y VACIADOS, ACERO ASTM A 36	U	3.00
TORNILLERIA	KG	688.52
PERFIL ESTRUCTURAL TIPO C 100X50X10 ACERO ASTM A 572	KG	24.00
MANZANA DE FUNDICION DE ACERO D800/d448 Y MAQUINADO	U	1.00
ANILLO SOPORTE EJE TUBULAR SEGÚN PLANO ASTM A 36	U	1.00
ANILLO INFERIOR DE FUNDICION DE ACERO D600 / d240 Y MAQUINADO	U	1.00
ANILLO SUPERIOR DE FUNDICION DE ACERO Y MAQUINADO SEGÚN PLANO	U	1.00
EJE PRINCIPAL FUNDICIÓN DE ACERO D250	U	1.00
TAPA INFERIOR DE FUNDICION DE ACERO D300 Y MAQUINADO	U	1.00
EJE TUBULAR ACERO ASTM A 572 D330 T8 L1500	U	1.00
BOCÍN D450 /d330	U	2.00
RODAMIENTOS AUTO-ALINEANTES 24072 CCK / 30W33	U	2.00
CORONA DENTADA PARA TRANSMISIÓN DE POTENCIA	U	1.00
LÍNEA DE CAUCHO	U	1.00

Materiales

- SUMINISTRO VOLANTE DOBLE(VD)

Mano de Obra

No aplica

Equipos y Herramientas

No aplica



Medición y forma de pago.-

Los equipos suministrados se medirán en UNIDADES, siempre y cuando se verifique que los materiales cumplan con las especificaciones mínimas estipuladas en los términos de referencia y satisfagan a la Fiscalización.

El pago se realizará al precio unitario establecido en el contrato y comprende la compensación total por la provisión, transporte, y almacenamiento previo al montaje, y todas las demás actividades y materiales necesarios para la completa ejecución de la obra aprobado por la Fiscalización.

3.2 SUMINISTRO SISTEMA VOLANTE SIMPLE

SV-002

Rubro SUMINISTRO VOLANTE SIMPLE (VS)

Unidad U

Definición

El volante es un sistema mecánico que permite el apoyo y retorno del cable de manera segura, además permite cambiar la dirección del cable. Este **Rubro** representa desde la adquisición de los elementos constituyentes, almacenamiento, ensamble hasta el montaje. El volante simple está ubicado en las estaciones de retorno y está encargado de tensar el sistema y guiar el cambio de dirección del cable.

Descripción

El volante simple posee una sola garganta.

La vibración del volante debe estar dentro de rangos normales de vibración para el conjunto de la maquinaria.

El volante deben garantizar una vida útil de mínimo de 500 000 ciclos de tensión.

El volante debe estar recubierto de caucho o de un material sintético similar. La altura de la garganta debe ser igual como mínimo al diámetro del cable. Además el volante debe ser montado de tal que se oponga al descarrilamiento del cable.

El volante debe ser colocado de tal forma que permita la rotación a partir del eje tubular que se encuentra acoplado a un reductor en la parte superior del volante.

Para la transmisión de la fuerza tangencial el volante debe poseer un coeficiente de rozamiento admisible que asegure un movimiento continuo y sin deslizamiento a cargas críticas. Por lo tanto, el volante debe estar recubierto de caucho o de un material sintético similar.

El volante debe poseer una corona que permita al motor eléctrico principal acoplarse a un sistema motriz de emergencia como se especifica en la norma EN-2929-1. Este volante debe poseer un sistema de frenado por fricción, la superficie de frenado en los elementos que componen el sistema debe ser mecanizada y montados con precisión a las tolerancias dadas por la holgura de los frenos.

El mínimo de elementos que constituyen el conjunto son los siguientes:

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD
CHAPA REDONDA D4400 CON PERFORACIONES Y VACIADOS, ACERO ASTM A 36	U	2.00
DISCO DE DESBASTE	U	2.00
TORNILLERIA	KG	592.72
PERFIL ESTRUCTURAL TIPO C 100X50X10 ACERO ASTM A 572	KG	12.00
ANILLO SOPORTE EJE TUBULAR SEGÚN PLANO ASTM A 36	U	1.00
MANZANA DE ACERO FUNDICION DE ACERO D800/d450 Y MAQUINADO	U	1.00
ANILLO INFERIOR DE FUNDICION DE ACERO D600 / d240 Y MAQUINADO	U	1.00
ANILLO SUPERIOR DE FUNDICION DE ACERO Y MAQUINADO SEGÚN PLANO	U	1.00
TAPA INFERIOR DE FUNDICION DE ACERO D300 Y MAQUINADO	U	1.00
EJE TUBULAR ACERO ASTM A 572 D330 T8 L1500	U	1.00
BOCIN D450 /d330	U	2.00
EJE PRINCIPAL FUNDICIÓN DE ACERO D250	U	1.00
RODAMIENTOS AUTO-ALINEANTES 24072 CCK / 30W33	U	2.00
GRATA	U	4.00
ELECTRODO E6010	KG	20.00
LÍNEA DE CAUCHO	U	1.00

Materiales

SUMINISTRO VOLANTE SIMPLE (VS)

Mano de Obra

No aplica.

Equipos y Herramientas

No aplica.

Medición y forma de pago.-

Los equipos suministrados se medirán en UNIDADES, siempre y cuando se verifique que los materiales cumplan con las especificaciones mínimas estipuladas en los términos de referencia y satisfagan a la Fiscalización.

El pago se realizará al precio unitario establecido en el contrato y comprende la compensación total por la provisión, transporte, y almacenamiento previo al montaje, y todas las demás actividades y materiales necesarios para la completa ejecución de la obra aprobado por la Fiscalización.

3.3 ENSAMBLAJE Y MONTAJE SISTEMA VOLANTE DOBLE

SV-003

Rubro ENSAMBLE Y MONTAJE VOLANTE DOBLE (VD)

Unidad U

Definición

El ensamble del volante consiste en el armado completo del volante y la colocación en la estructura de las estaciones.

El volante doble está ubicado en la estación motriz (Colinas del Norte) y está encargado de transmitir el movimiento a partir del reductor, el volante de doble garganta para permitir el cambio de dirección de los tramos Ofelia-Colinas del Norte y Colinas del Norte-Roldós.

Descripción

Una vez obtenido el suministro de los elementos que forman parte del volante se procede al ensamble de los diferentes elementos como, ejes fijados con su respectiva tolerancia conjuntamente con rodamientos, bocines, etc.

Se realiza el armado de los perfiles tipo C a las placas del volante, con elementos de sujeción como pernos, arandelas, tuercas, etc.

Se realiza el recubrimiento del volante con un caucho o un material sintético similar en la zona de contacto con el cable. La garganta del recubrimiento debe tener una profundidad de mínimo el diámetro del cable (54 mm).

El montaje del volante debe asegurar que en ningún caso se produzca el descarrilamiento del cable.

Una vez realizado el ensamble de las principales partes se procede con el montaje del volante, para ello se requiere de una grúa móvil que ubica el volante en la parte superior de la estación fija. El volante se acopla al eje del reductor mediante elementos de sujeción, se coloca la tapa inferior de fundición de acero con sus elementos de sujeción correspondientes y finalmente se lubrica todo el sistema

El montaje de este volante debe estar a una inclinación de 0° con respecto a la horizontal y con el equipo correspondiente se debe realizar la respectiva calibración del volante con respecto a las poleas de desvío de cable.

Materiales

No aplica

Mano de Obra

Se necesita como mínimo la siguiente mano de obra:

- 1 TÉCNICO ESPECIALISTA EN MONTAJE DE VOLANTES
- 1 AYUDANTE DE ALINEACIÓN
- 4 AYUDANTE DE INSTALACIONES MECÁNICAS
- 1 OPERADOR DE MAQUINARIA TIPO 1

Equipos y Herramientas

Los equipos y herramientas mínimos necesarios para el montaje son los siguientes:

- EQUIPO DE METROLOGÍA
- GRÚA MOVIL 10 TON
- HERRAMIENTA MENOR
- LASER DE ALINEACIÓN PARA POLEAS
- PRENSA HIDRÁULICA 10 TON
- TORCÓMETRO DIGITAL

Medición y forma de pago.-

La medición se realizará por unidad de volante ensamblado, colocado y montado en la parte superior de la estructura fija de las estaciones de acuerdo a lo establecido en los términos de referencia.

El pago se realizará al precio unitario establecido en el contrato y comprende la compensación total por el transporte, montaje, y todas las demás actividades necesarias para la completa ejecución de la obra aprobado por la Fiscalización.

3.4 ENSAMBLAJE Y MONTAJE SISTEMA VOLANTE SIMPLE

SV-004

Rubro ENSAMBLE Y MONTAJE VOLANTE SIMPLE (VS)

Unidad U

Definición

El ensamble del volante consiste en el armado completo del volante y la colocación en la estructura de las estaciones.

El volante doble está ubicado en la estación extremas (Ofelia y Roldós) y está encargado de tensar el sistema y guiar el cambio de dirección del cable.

Descripción

Una vez obtenido el suministro de los elementos que forman parte del volante se procede al ensamble de los diferentes elementos como, ejes fijados con su respectiva tolerancia conjuntamente con rodamientos, bocines, etc.

Se realiza el armado de los perfiles tipo C a las placas del volante, con elementos de sujeción como pernos, arandelas, tuercas, etc.

Se realiza el recubrimiento del volante con un caucho o un material sintético similar en la zona de contacto con el cable. La garganta del recubrimiento debe tener una profundidad de mínimo el diámetro del cable (54 mm).

El montaje del volante debe asegurar que en ningún caso se produzca el descarrilamiento del cable.

Una vez realizado el ensamble de las principales partes se procede con el montaje del volante, para ello se requiere de una grúa móvil que ubica el volante en la parte superior de la estación fija. El volante se acopla a la plataforma móvil de la estación mediante elementos de sujeción, se coloca la tapa inferior de fundición de acero con sus elementos de sujeción correspondientes y finalmente se lubrica todo el sistema

El volante debe montarse con una inclinación de 5° con respecto a la horizontal y con el equipo correspondiente realizarse la respectiva calibración del volante con respecto a las poleas de desvío de cable.

Materiales

No aplica

Mano de Obra

Se necesita como mínimo la siguiente mano de obra:

- 1 TÉCNICO ESPECIALISTA EN MONTAJE DE VOLANTES
- 1 AYUDANTE DE ALINEACIÓN
- 4 AYUDANTE DE INSTALACIONES MECÁNICAS
- 1 OPERADOR DE MAQUINARIA TIPO 1

Equipos y Herramientas

Los equipos y herramientas mínimos necesarios para el montaje son los siguientes:

- EQUIPO DE METROLOGÍA
- GRÚA MOVIL 10 TON
- HERRAMIENTA MENOR
- LASER DE ALINEACIÓN PARA POLEAS
- PRENSA HIDRÁULICA 10 TON
- TORCÓMETRO DIGITAL

Medición y forma de pago.-

La medición se realizará por unidad de volante ensamblado, colocado y montado en la parte superior de la estructura fija de las estaciones de acuerdo a lo establecido en los términos de referencia.

El pago se realizará al precio unitario establecido en el contrato y comprende la compensación total por el transporte, montaje, y todas las demás actividades necesarias para la completa ejecución de la obra aprobado por la Fiscalización.

4. ANEXOS

INDICE DE PLANOS

CÓDIGO	HOJA	CONTENIDO
QC-OR-PL-MEC-SV-001	1/14	Plano de conjunto sistema de volante doble
QC-OR-PL-MEC-SV-002	2/14	Plano de conjunto sistema de volante simple
QC-OR-PL-MEC-SV-102	3/14	Plano de taller de manzana de fundición de acero D800/d448 y maquinado de volante doble
QC-OR-PL-MEC-SV-110	4/14	Plano de taller de corona dentada para transmisión de potencia de volante doble
QC-OR-PL-MEC-SV-200	5/14	Plano de taller de chapa redonda D4400 con perforaciones y vaciados acero ASTM A 36 de volante simple
QC-OR-PL-MEC-SV-201	6/14	Plano de taller de perfil estructural tipo C 100x50x10 acero ASTM A 572 de volante simple
QC-OR-PL-MEC-SV-202	7/14	Plano de taller de anillo soporte eje tubular según plano ASTM A 36 de volante simple
QC-OR-PL-MEC-SV-203	8/14	Plano de taller de manzana de fundición de acero D800/d448 y maquinado de volante simple
QC-OR-PL-MEC-SV-204	9/14	Plano de taller de anillo inferior de fundición de acero D600/d240 y maquinado de volante simple
QC-OR-PL-MEC-SV-205	10/14	Plano de taller de anillo superior de fundición de acero y maquinado según plano de volante simple
QC-OR-PL-MEC-SV-206	11/14	Plano de taller de tapa inferior de fundición de acero D300 y maquinado de volante simple
QC-OR-PL-MEC-SV-207	12/14	Plano de taller de eje tubular acero ASTM A572 D330 T8 L1500 de volante simple
QC-OR-PL-MEC-SV-208	13/14	Plano de taller de bocín D450/d330 de volante simple
QC-OR-PL-MEC-SV-209	14/14	Plano de taller de eje principal fundición de acero D250 de volante simple