



Universidad de Valladolid



TRABAJO FIN DE GRADO: SISTEMA LEVANTAMIENTO BARRERA-CONTRAPESO

Grado en ingeniería mecánica
ESCUELA DE INGENIERIAS INDUSTRIALES, UNIVERSIDAD DE
VALLADOLID

Autor: Diego Rafael Vega

TUTOR: FELIX ROMANO
ESCUELA DE INGENIERIAS INDUSTRIALES, UNIVERSIDAD DE
VALLADOLID

VALLADOLID, Julio 2021

Índice Contenido

1. Resumen, palabras clave (Abstract, Keywords).....	5
2. Introducción y objetivo.....	5
2.1 Pliego de condiciones	5
2.2 Consideraciones iniciales.....	6
3. Diseño sistema.....	9
3.1 Tipo de mecanismo y estudio movimiento	9
3.2 Componentes sistema	15
3.2.1 Cable acero	16
3.2.1.1 Solicitaciones cable acero - polea	23
3.2.2 Terminales.....	31
3.2.2.1 Cálculos de los terminales.....	34
3.2.3 Fijaciones.....	36
3.2.3.1 Cálculos de las fijaciones	36
3.2.4 Sistema contrapeso	38
4. Software de diseño SolidWorks2016.....	43
5. Presupuesto	46
6. Conclusiones.....	48
7. Bibliografía	49
Anexo A. Cálculos.....	52
A.1 Cálculos cable acero y polea.....	52
A.2 Cálculos terminales	55
A.3 Cálculos fijaciones.....	56
Anexo B. Medidas elementos normalizados	58

Ilustración 1.- Vista isométrica barrera.....	6
Ilustración 2.- Vista isométrica deposito.....	7
Ilustración 3.- Vista isométrica fabrica con barrera y deposito.....	7
Ilustración 4.- Posición inicial barrera y deposito	8
Ilustración 5.- Posición final barrera levantada y deposito a 90°.....	9
Ilustración 6.- Movimiento horno y barrera.....	10
Ilustración 7.- Longitud del cable en función del ángulo cable-polea	11
Ilustración 8.- Longitud del cable en función del ángulo de giro deposito	11
Ilustración 9.- Vista general disposición del depósito, barrera subida y contrapeso	12
Ilustración 10.- Disposición sistema completo vista alámbrica	13
Ilustración 11.- Disposición sistema completo vista normal	14
Ilustración 12. Cable acero (catalogo Cyesa)	16
Ilustración 13.- Resistencia a rotura típica cables acero (catalogo Cyesa)	17
Ilustración 14.- Composición cable acero utilizado en los cálculos (catalogo Cyesa).....	18
Ilustración 15.- Tolerancia diámetro cable acero (Norma EN 12385-1) ...	19
Ilustración 16.- Método medición diámetro cable acero (catalogo Cyesa)	19
Ilustración 17.- Tipos y características arrollamiento cables de acero (catalogo Tenso).....	20
Ilustración 18.- Lubricación cables acero (catalogo cables 2019).....	21
Ilustración 19.- Practicas correctas manipulación cables acero Norma EN 12385-3 (catalogo Cyesa).....	22
Ilustración 20.- Diagrama polea-cable	26
Ilustración 21.- Relación abrasión-fatiga para distintas composiciones (catalogo Cyesa).....	27
Ilustración 22.- N.º ciclos/Diámetro cable-polea (catalogo cables 2019) .	29
Ilustración 23.- Factor seguridad cable acero en función del uso (catalogo cables 2019)	29
Ilustración 24.- https://www.cyesa.com/productos-de-elevacion/cables-de-acero/cables-altas-prestaciones/veropro-8-p115916	31
Ilustración 25.- Tipos terminales cable acero (catalogo Cyesa).....	32
Ilustración 26.- Dimensiones guardacabos norma UNE EN13411- 1Establece las dimensiones de cualquier tamaño de guardacabos, las cuales deben cumplir la figura.	33
Ilustración 27.- Método calculo terminales (catalogo Tenso)	35
Ilustración 28.- Limite elástico y resistencia ultima a tracción para las diferentes clases de tornillos.....	36
Ilustración 29.- Sistema contrapeso completo sin carcasa en posición inicial.....	38
Ilustración 30.- Sistema contrapeso completo sin carcasa en posición final	39
Ilustración 31.- Placas contrapeso y tacos nylon	40
Ilustración 32.- Rodillo guía Ameise ACY 20x65x70.....	40

Ilustración 33.- Polea Rema modelo RBZ 3064003	41
Ilustración 34.- Ensamblaje doble polea para izar contrapeso.....	42
Ilustración 35.- Polea con varilla y sistema de retención	42
Ilustración 36.- Comandos básicos SolidWorks (help.solidworks.com) ...	46
Ilustración 37.- Cable 6x36WS-IWRC (catalogo Cyesa).....	52
Ilustración 38.- Cable VEROPRO 8 (catalogo Cyesa)	54
Ilustración 39.- Resistencia a cortante en kN de tornillos usuales	56
Ilustración 40.- Resistencia a aplastamiento en kN para chapas de espesor 10mm	57

1. Resumen, palabras clave (Abstract, Keywords)

Este trabajo de fin de grado se basa en el diseño de un sistema mecánico consistente en accionar una barrera de protección en sincronía con el movimiento de un depósito sin el uso de dispositivos electrónicos. El sistema y sus componentes han sido representados en 3D con el programa SolidWorks2016.

Palabras clave: barrera, cable acero, contrapeso, diseño, SolidWorks.

This final degree project is based on the design of a mechanical mechanism consisting of activating a protection barrier in synchrony with the movement of a tank without the use of electronic devices. The system and its components have been represented in 3D with the SolidWorks2016.

Keywords: barrier, wire rope, counterweight, design, SolidWorks.

2. Introducción y objetivo

Realizando las prácticas en la empresa Hivisan nos encarga la empresa Lin S.A. el diseño de un mecanismo para accionar una barrera que impida el acceso por parte de trabajadores o maquinaria a la zona de movimiento de un depósito situado en su fábrica.

Nos indican que el movimiento del depósito, que se desplaza a una velocidad reducida ($< 0.5 \text{ m/s}$), es solo el de vaciar el contenido, produciendo un movimiento circular con respecto a su posición inicial de 90° . El movimiento de la barrera será en dirección vertical elevándose $1,5\text{m}$ desde su posición inicial. El sistema deberá estar representado en 3D.

2.1 Pliego de condiciones

Las exigencias que la empresa contratante expresa en referente al diseño del sistema barrera - deposito son:

- La barrera que posee la empresa contratante sea accionada mecánicamente por el motor del propio depósito.

- El movimiento de la barrera no debe ser controlado por ningún sistema electrónico.
- La barrera deberá elevarse 1,5 metros en dirección vertical desde su posición inicial.
- El mecanismo debe estar representado en algún programa de diseño 3D debido a una previsión de remodelación de la fábrica actual.

2.2 Consideraciones iniciales

Los elementos de este sistema, cuyo movimiento relativo es el objeto del mecanismo a diseñar, serán barrera y depósito, las cuales se representan a continuación junto con su posición en la fábrica.

La barrera está formada por dos perfiles U y dos perfiles tubulares rectangulares huecos soldados en sus intersecciones, con una altura de 3,65m y una anchura de 4,2m, también lleva soldados dos topes a una altura de 1,5m desde su parte superior. Además, posee una agarradera atornillada en su parte inferior de donde engancharemos nuestro cable descrito posteriormente. La empresa contratante nos indica que su masa es cercana a los 100kg.

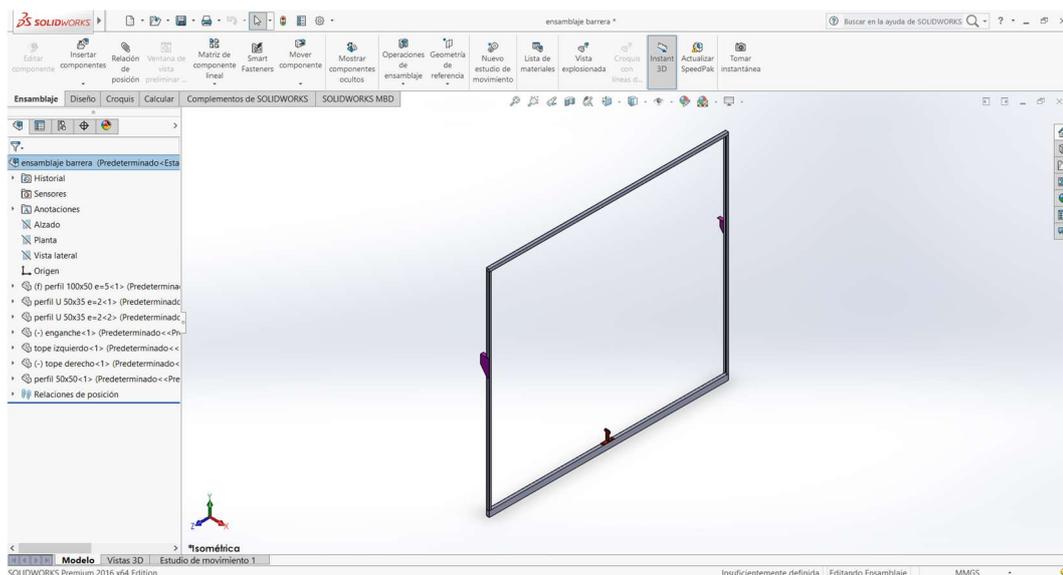


Ilustración 1.- Vista isométrica barrera

El depósito cilíndrico de acero inoxidable posee un diametro interior de 1,7m, una altura de 2,5m y un espesor de 0,04m. Su capacidad es en torno a los 5,674m³ lo que equivaldría a una masa en agua de 5674kg sin contar el peso propio del depósito.

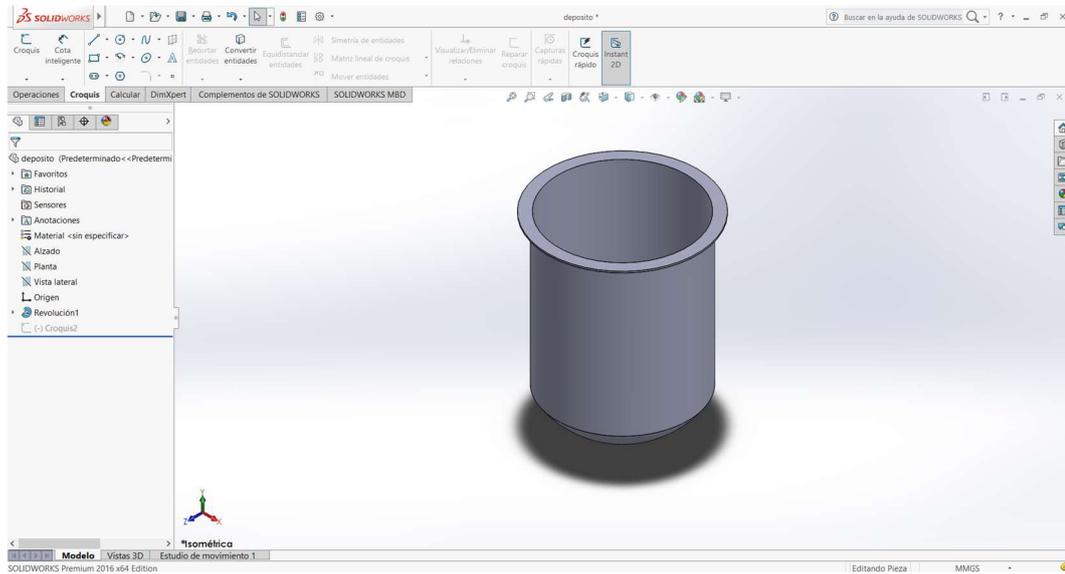


Ilustración 2.- Vista isométrica deposito

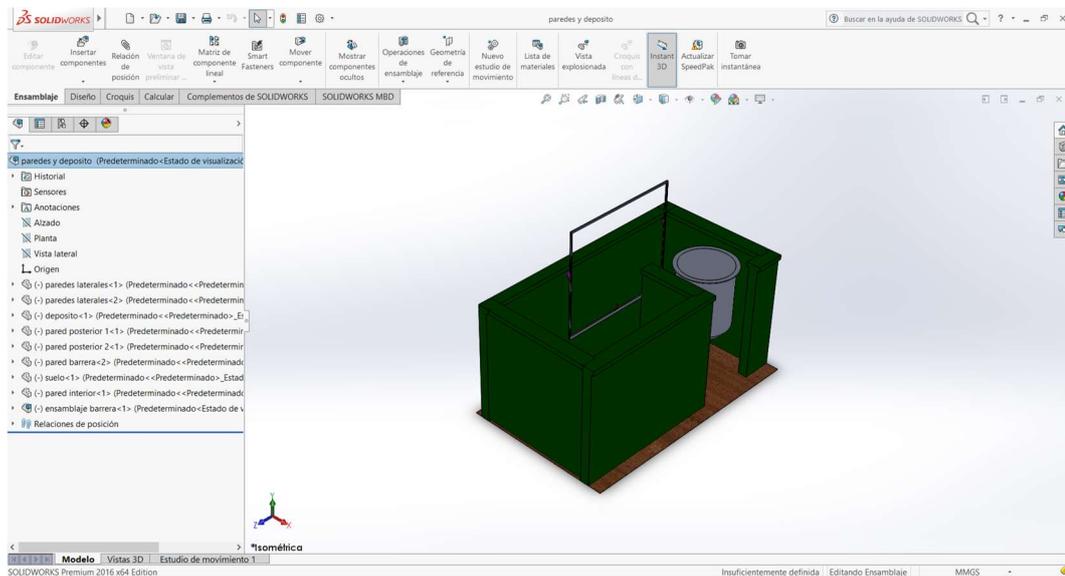


Ilustración 3.- Vista isométrica fabrica con barrera y deposito

En la ilustración 3 se puede apreciar la disposición de barrera y deposito en la fábrica, esta disposición es fija, asique tendremos que diseñar los elementos encargados de mover en sincronía barrera – deposito en función de estos dos y al espacio disponible en la fábrica.

Es obvio que la manera más eficiente sería un controlador electrónico que accione un motor independiente para la barrera, con sus respectivos sensores de inicio y fin de carrera, pudiendo establecer todas las variables como espacio recorrido, velocidad y tiempo de una manera extremadamente precisa en función del movimiento del depósito. Pero no es la solución deseada por la empresa demandante y así lo han expresado en el pliego de condiciones.

Para la posición inicial, como se muestra en la ilustración 4, tanto barrera como depósito están a la misma altura.

Al iniciar el depósito el movimiento giratorio la barrera deberá ascender verticalmente llegando hasta la altura acordada de 1,5m, como se muestra en la ilustración 5.

No es necesario que la barrera oculte al depósito en todo momento ya que la función principal es no permitir el acceso al hueco creado por el depósito cuando está girado 90°.

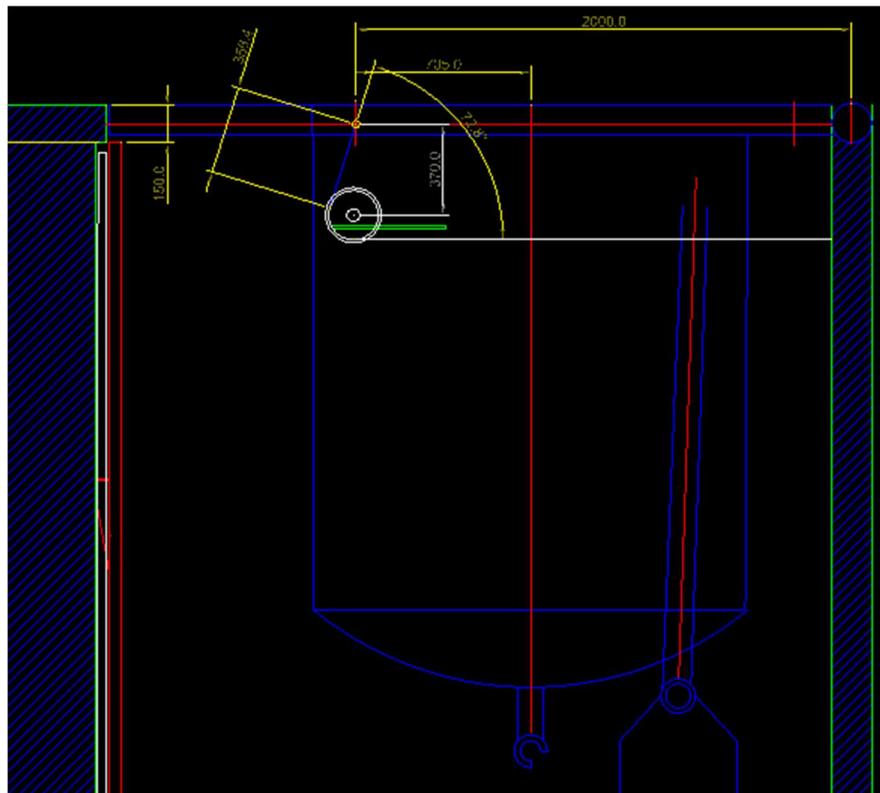


Ilustración 4.- Posición inicial barrera y deposito

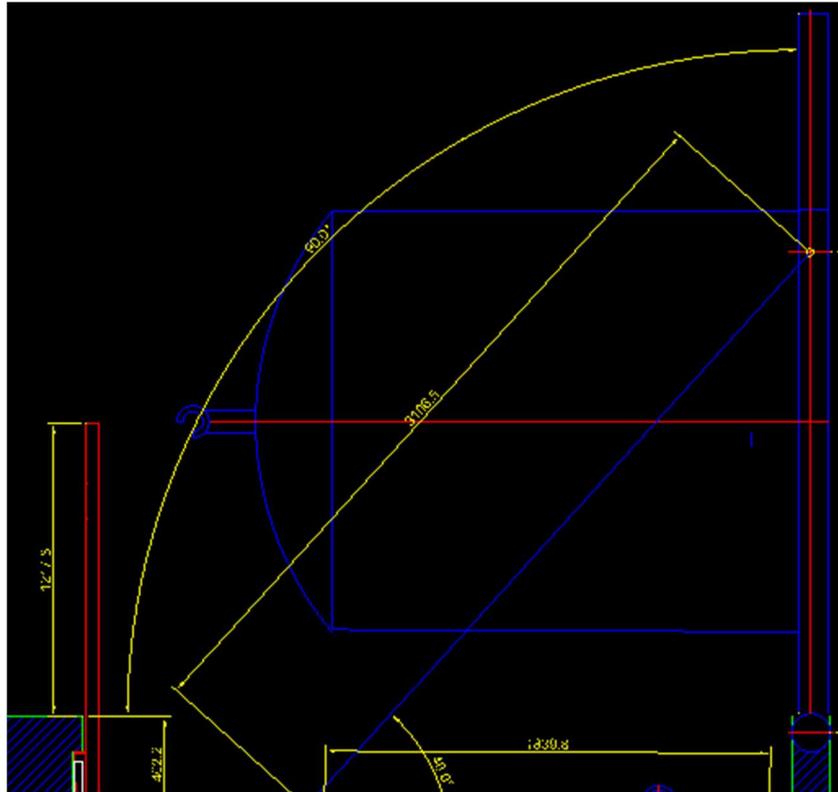


Ilustración 5.- Posición final barrera levantada y deposito a 90°

3. Diseño sistema

3.1 Tipo de mecanismo y estudio movimiento

Con el fin de seleccionar el tipo de mecanismo, se ha realizado un análisis de la situación.

La barrera debe ser accionada por el propio deposito por lo que deberá ir conectada de manera mecánica a este de algún modo. El motor del depósito no será un problema en cuanto a potencia o par necesario para arrastrar la barrera. Nos indican que la masa de la barrera es 100kg, representa menos de un 2% respecto de la masa del depósito.

Ante la exigencia de que deben estar conectados mecánicamente barrera y deposito, la solución propuesta, por ser simple y económica, y aceptada por la empresa demandante, ha sido la de un sistema de cable de acero

conducido por poleas, que ligue el movimiento de un punto del depósito con otro de la barrera.

Para definir dicho sistema cable – polea, se procede a medir el espacio disponible y croquizarlo.

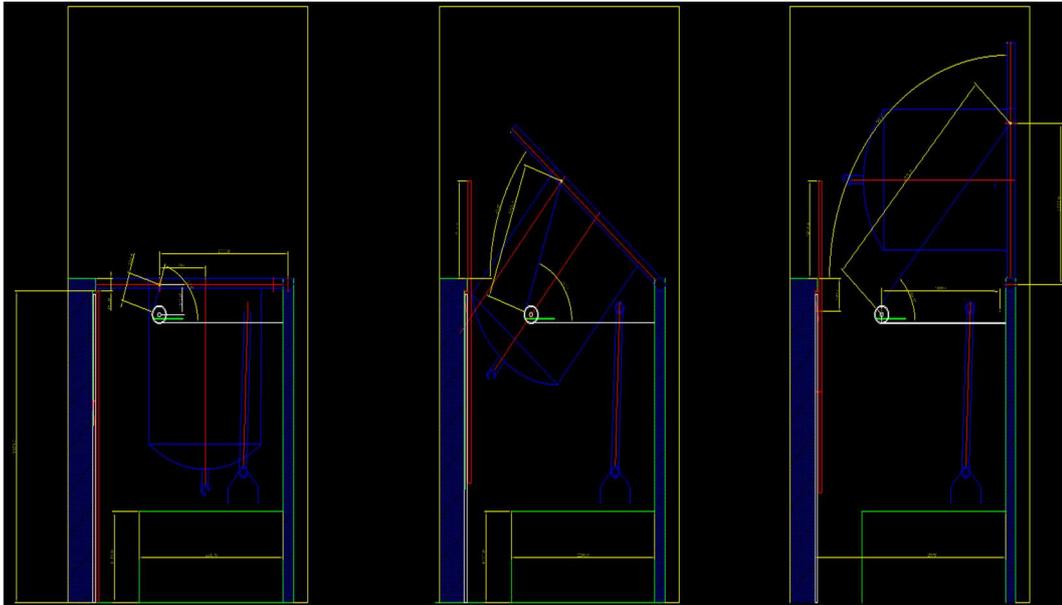


Ilustración 6.- Movimiento horno y barrera

El movimiento del punto de anclaje del horno realiza una trayectoria circular de 0° a 90° respecto al suelo. Este movimiento está exento de aceleraciones salvo en el inicio y el fin de carrera y su velocidad será muy reducida, menor a 0.5m/s según nos indica la empresa contratante.

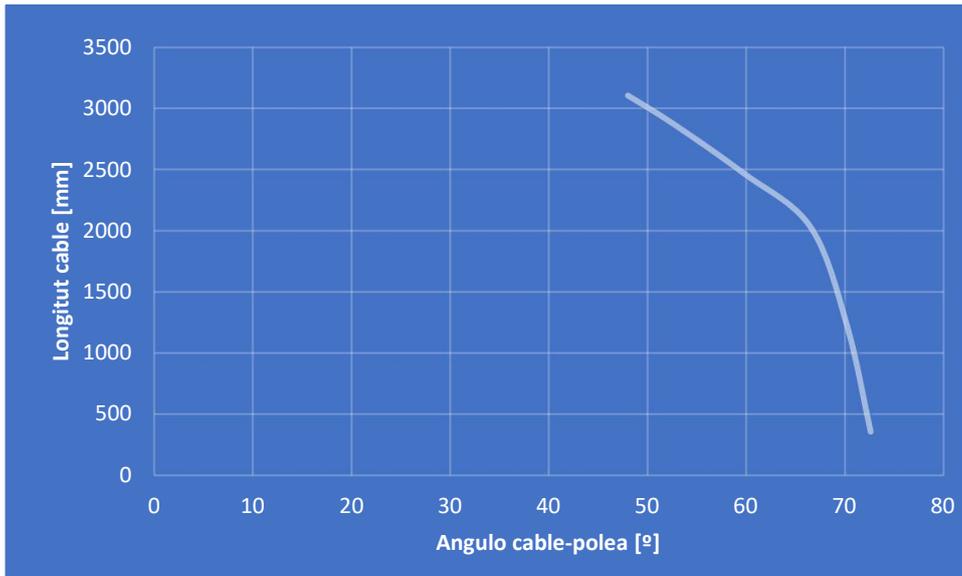


Ilustración 7.- Longitud del cable en función del ángulo cable-polea

En la ilustración 7, podemos apreciar la longitud del cable en función del ángulo de contacto con la polea.

Como muestra la ilustración 8, el desplazamiento del cable debido al movimiento del depósito es de 2,7m.

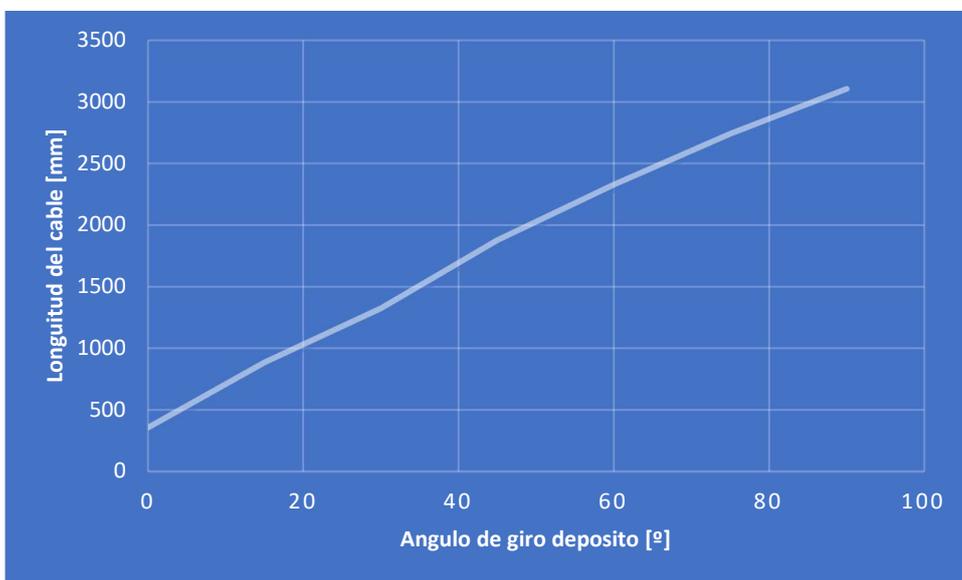


Ilustración 8.- Longitud del cable en función del ángulo de giro deposito

Nos establecen que la barrera debe alzarse 1,5m, para ello, a la barrera ya vienen soldados dos topes a la altura de 1,5m desde su parte superior que

impidan la continuación del movimiento por parte de esta. Estos topes ya formaban parte de la barrera que posee la empresa.

Para compensar la diferencia de desplazamientos de 1,2m, es necesario pensar en un tambor o sistema de retención donde almacenar este exceso de longitud del cable.

La exigencia de no utilizar sistemas electrónicos nos limita, ya que no podremos dar orden al tambor para que empiece almacenar cable. Además el tambor provocaría un esfuerzo reiterado y considerable a flexión que con el tiempo provocaría un fallo del cable por fatiga.

Ante esto, se ha propuesto añadir un sistema de contrapeso y poleas. Este contrapeso deberá estar situado en la parte izquierda del taller debido a que no hay espacio disponible en el otro lado por el motor y brazo del depósito.

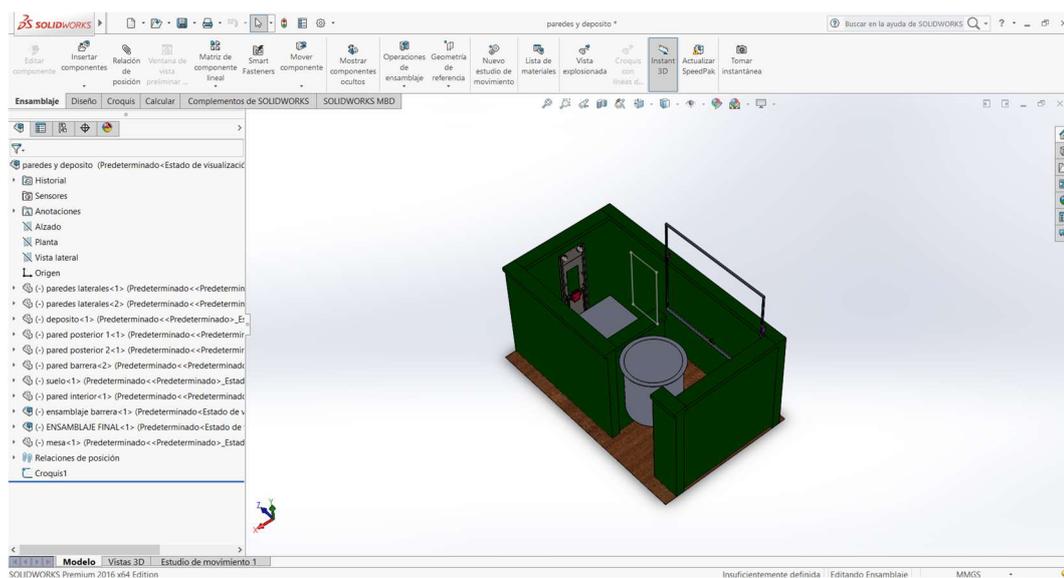


Ilustración 9.- Vista general disposición del depósito, barrera subida y contrapeso

Al iniciar el movimiento el depósito, la barrera se moverá en sincronía con este hasta la altura estimada de 1,5m, una vez llegada a esta parte del recorrido unos topes soldados en la barrera no permiten que esta se siga desplazando. Empezando así el movimiento del contrapeso que se desplazará los 1,2m restantes, este contrapeso deberá tener una masa superior a la barrera para no iniciar el movimiento en primer lugar, el movimiento de nuestra barrera al igual que el del contrapeso será solo en la dirección vertical.

Ahora debemos centrarnos en la disposición de las poleas, aunque podríamos establecer una polea que conecte directamente depósito con nuestro contrapeso, el recorrido del cable pasaría directamente por encima de la mesa en la que podría haber trabajadores o maquinaria. Por lo tanto, no tengo otra opción que aumentar el número de poleas, situándolas en las esquinas evitando así que el cable atravesase los lugares de paso de personal.

En cuanto a la disposición de las poleas, estas solo tienen un grado de libertad, permiten el giro en la dirección del eje que van montadas, por lo que su montaje debe ser muy preciso entre ellas impidiendo así el roce con sus paredes o un posible problema de desalineamiento, provocando la salida del cable de la garganta.

La ilustración 9 muestra una visión en 3D con la disposición de las poleas atendiendo al espacio disponible en la fábrica y a los espacios por donde no hay circulación de trabajadores.

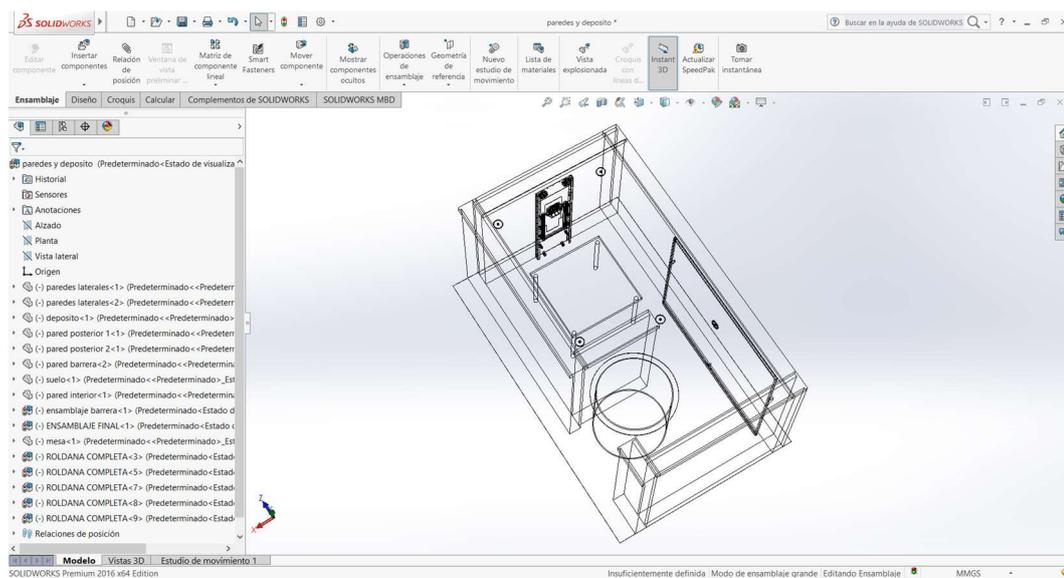


Ilustración 10.- Disposición sistema completo vista alámbrica

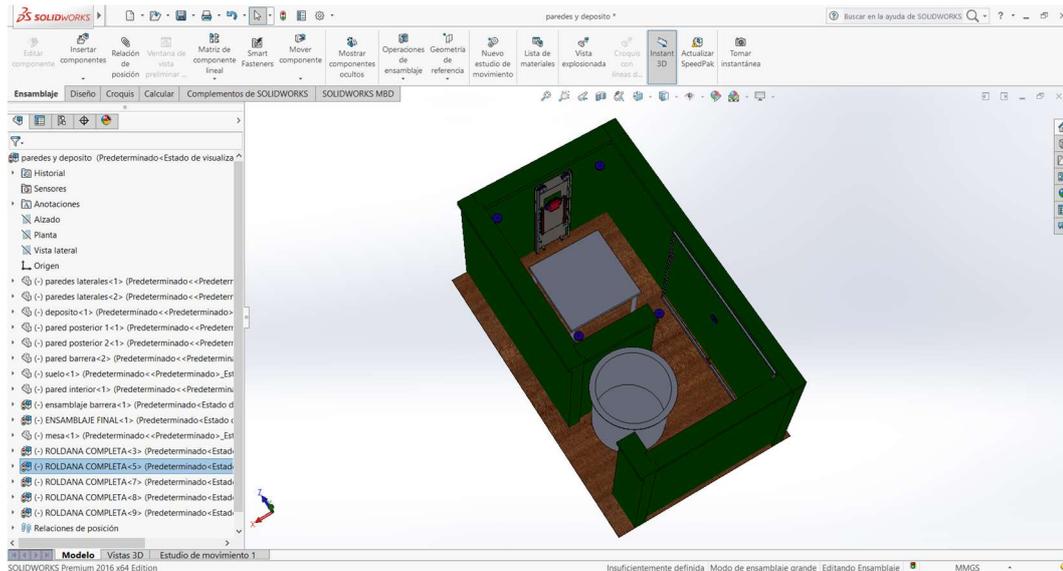


Ilustración 11.- Disposición sistema completo vista normal

En cuanto a los grados de libertad de nuestro sistema. Las poleas presentarán un par de revoluciones por lo que se restringen 5 grados de libertad permitiendo su movimiento solo en la dirección de rotación, será de especial importancia el alineamiento durante el montaje entre las diferentes poleas para evitar el rozamiento del cable con las paredes de la garganta y el correcto funcionamiento de esta.

La barrera y contrapeso, debido a los rodillos guía que también poseen solo un grado de libertad, solo tienen permitido el movimiento en la dirección vertical, eje Z.

El depósito en su movimiento presenta dos grados de libertad tanto para el movimiento en el eje Z como en el eje X, este va enganchado en su parte posterior por una eslinga que conecta con la primera polea mediante el cable de acero.

Para hacer un breve resumen, nuestro sistema se basa en un cable de acero conducido por poleas que conecta depósito, contrapeso y barrera. Al iniciar el movimiento el depósito arrastra la barrera hasta la altura acordada de 1,5m, en este momento el punto de anclaje del horno ha realizado una trayectoria circular de 43° . Ahora los topes no permiten que la barrera siga en movimiento, empezando así el movimiento del contrapeso, que se desplazará los 1,2m restantes.

Una vez tenemos el diseño completo empezamos a centrarnos en cada elemento del sistema dimensionándolo en función del depósito y de la barrera ya que son las partes inamovibles de nuestro sistema. La parte de diseño es fundamental hacerla lo más acertada posible para evitar modificaciones a posteriori que provocarían un aumento de los costes del

proyecto. Una cita que hace referencia a esto es que por cada 1 euro invertido en hacer el diseño correcto nos ahorramos alrededor de 25 euros a posteriori en modificaciones.

3.2 Componentes sistema

Mediante el programa SolidWorks he realizado todos los componentes en 3D de nuestro sistema. El cable de acero no ha sido representado ya que el programa no permite representar adecuadamente elementos deformables.

Listado componentes:

- Cable acero
- Poleas (roldanas)
- Eslingas
- Fijaciones
- Sistema contrapeso
 - Placa contrapeso y tacos nylon
 - Rodillo guía contrapeso
 - Doble polea contrapeso
 - Polea superior
 - Armazón

Las piezas normalizadas utilizadas son:

- Arandela M20 DIN-125
- Tornillo M12x40 DIN-931
- Tuerca M12x10 DIN-934
- Tuerca M16x12,5 DIN-934
- Tuerca M20 DIN-934
- Varilla roscada M16 DIN-975

- Eje 20x100 DIN-1444
- Perfil tubular 50x100 e=5 (parte inferior)
- Perfil tubular 50x50 e=2 (parte superior)
- Perfil U 50x35 e=2

3.2.1 Cable acero

Sera el elemento principal encargado del movimiento de la barrera y contrapeso. Los cables de acero deben cumplir una serie de normas:

- EN 12385-2
- EN 12385-4
- EN 12385-5
- ISO 2408
- DIN 3064

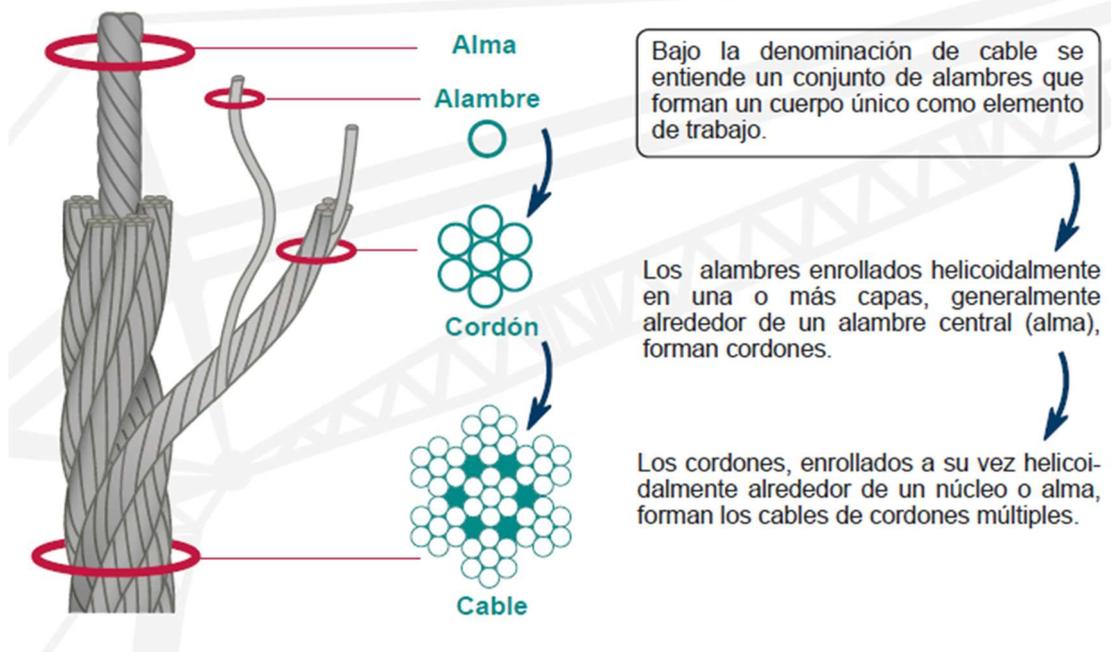


Ilustración 12. Cable acero (catalogo Cyesa)

Las almas son los núcleos de los cables, sirven de soporte al trenzado de sus alambres y cordones. Pueden ser metálicas (aporta alrededor de un

10% adicional de carga de rotura y evita aplastamiento de los cordones) o textiles (mayor flexibilidad y absorción de esfuerzos residuales, pero cuidado con humedad y temperatura).

Combinando de modo adecuado los alambres y los cordones, se pueden obtener cables de muy diversas composiciones. De su composición y de la resistencia unitaria de los hilos depende principalmente las propiedades de los cables.

Es necesario concretar la resistencia unitaria de los hilos a la tracción, las demás características del cable de acero vienen fijadas en función de esta resistencia a la tracción.

N/mm²	1370	1570	1770	1960	2160
kg/mm²	140	160	180	200	220

Ilustración 13.- Resistencia a rotura típica cables acero (catalogo Cyesa)

➤ Composición y notación

Composición de los cables y notación

La composición de un cable viene expresado por una notación compuesta de tres partes:

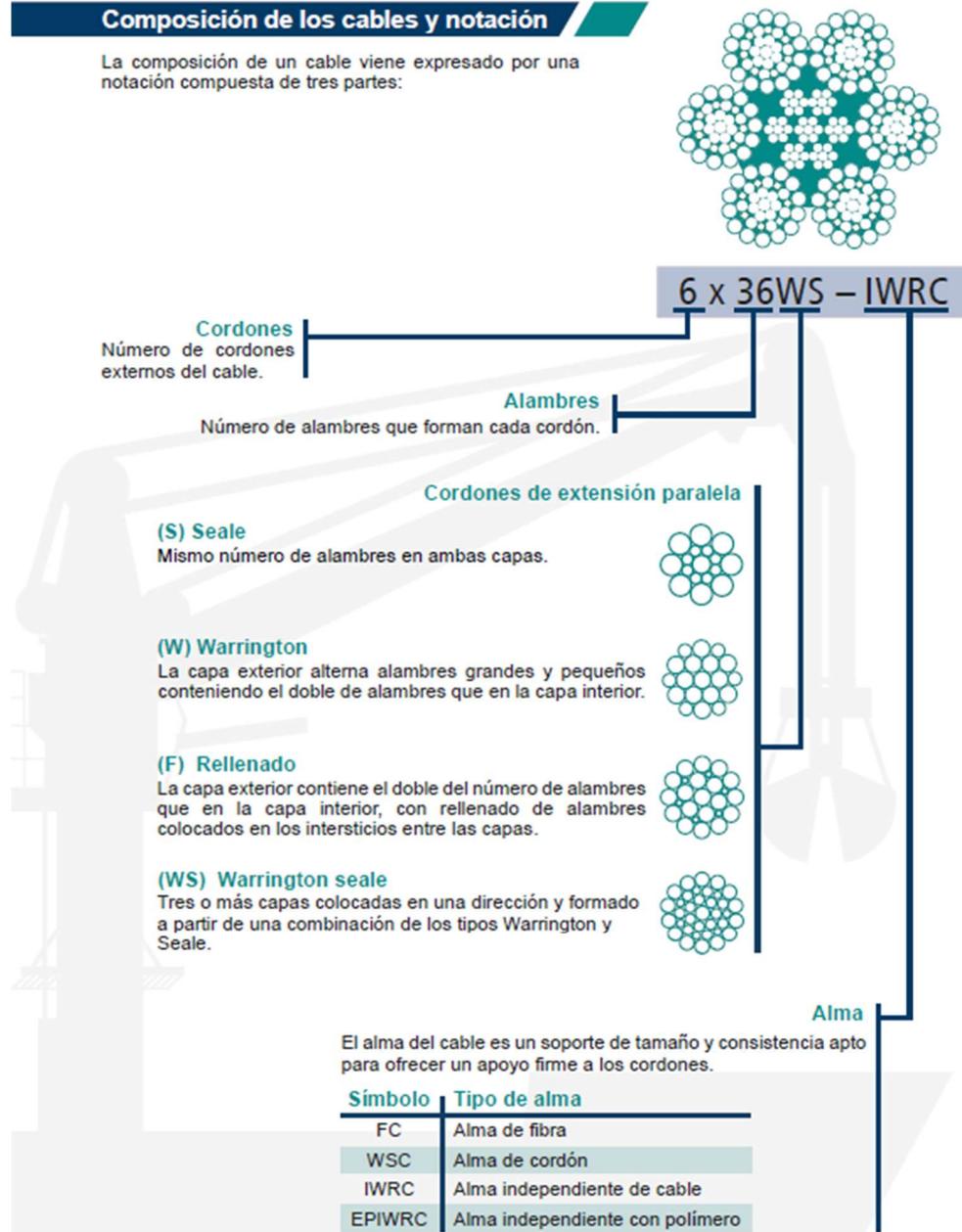


Ilustración 14.- Composición cable acero utilizado en los cálculos (catalogo Cyesa)

➤ Diámetro

Circunferencia circunscrita de la sección expresada en milímetros.

Diámetro nominal del cable, dimensión que sirve para denominar el cable.
Diámetro efectivo del cable, diámetro de la circunferencia que circunscribe el cable. El diámetro efectivo siempre será mayor que el diámetro nominal,

la norma solo contempla tolerancias positivas. Para mi caso cable de diámetro 8mm, no debe superar un 5% del diámetro nominal. Importante la relación entre el diámetro del cable y de la polea habiendo tablas con un coeficiente sugerido para cada tipo de cable en los catálogos de fabricante.

Diámetro nominal del cable (mm)	Tolerancia % del Ø nominal del cable
De 2 a < 4	+ 8 0
De 4 a < 6	+ 7 0
De 6 a < 8	+ 6 0
8 y >	+ 5 0

Ilustración 15.- Tolerancia diámetro cable acero (Norma EN 12385-1)

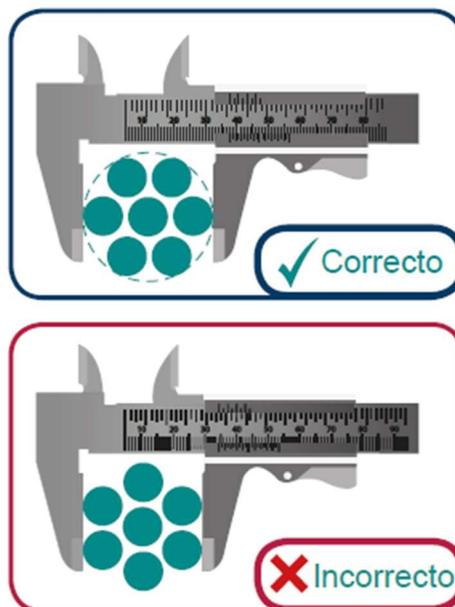
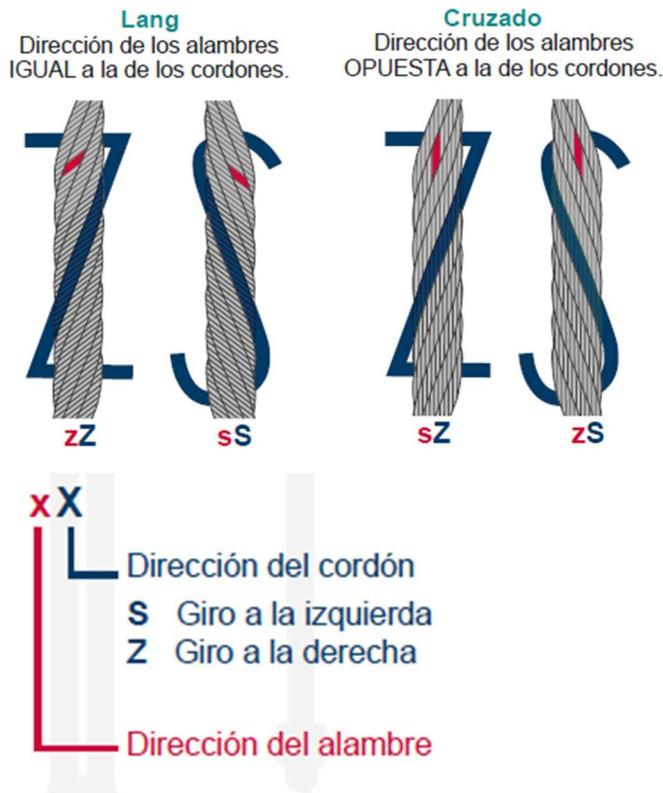


Ilustración 16.- Método medición diámetro cable acero (catalogo Cyesa)

➤ Torsión/Arrollamiento

Considerando el sentido de los alambres en el cordón y de los cordones en el cable, se pueden distinguir dos tipos de arrollamiento.



VENTAJAS Y DESVENTAJAS:

Arrollamiento CRUZADO.

Ventajas:

Es de manipulación más fácil que el cable Lang.
Tiene tendencia a girar y a descablearse.
Por su estructura, es más resistente al aplastamiento y a las deformaciones.

Inconvenientes:

Menos resistencia al rozamiento, porque posee una menor superficie de contacto con las poleas.
A igualdad de composición y diámetro, es menos flexible que el cable Lang.
El cable cruzado es empleado normalmente en las instalaciones de ascensores accionados por poleas de arrastre con gargantas en V, y cuando el cable debe enrollarse en varias capas sobre el tambor a elevadas presiones.

Arrollamiento LANG.

Ventajas:

Tiene una gran resistencia al desgaste por rozamiento.
A igualdad de composición y diámetro es más flexible que el cruzado.

Inconvenientes:

Hay que manipularlo con precaución para evitar la formación de cocas.
Tiene una gran tendencia a descablearse.
Se aplasta y sufre deformaciones considerables cuando está sometido a fuerte compresión lateral.
El arrollamiento Lang es preferible en aquellos casos en que el cable está sometido a un fuerte rozamiento, si la carga va guiada y la fijación de los extremos de cable impide el giro de éste sobre su eje.

Con el preformado disminuyen considerablemente los inconvenientes del cable Lang permitiendo ampliar el uso de esta clase de arrollamiento.

Ilustración 17.- Tipos y características arrollamiento cables de acero (catalogo Tenso)

En nuestro caso nos interesa un tipo de arrollamiento tipo cruzado, el mayor tipo de sollicitación es tracción y flexión y con mucha menor importancia la abrasión.

➤ Acabado superficial

El acabado superficial podrá seleccionarse entre negro, galvanizado e inoxidable siendo estos dos últimos acabados óptimos para atmosferas corrosivas y/o ambientes agresivos. En nuestro caso no tenemos ambientes agresivos asique primaremos el ahorro escogiendo negro.

➤ Lubricación

Debe cumplir la norma ISO 4346.

LUBRICACIÓN DE LOS CABLES

Los cables son lubricados durante su fabricación: el tipo de lubricante utilizado y la cantidad aplicada dependen del tipo y del uso que desde la planta se estime va a realizar el cable.

La lubricación desde la fabrica le aportará condiciones de protección contra lo corrosión y desgaste en condiciones normales de almacenamiento o trabajo.

Cuando el cable es puesto en servicio, es necesario que sea relubricado periódicamente.

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

- Debe estar libre de ácidos y agentes alcalinos.
- Debe poseer buena adhesión para que no se escurra o gotee.
- Debe tener una viscosidad que le permita fluir en los intersticios de los alambres y torones.
- No debe ser soluble en el medio ambiente de trabajo.
- Debe formar una película sumamente resistente.
- Debe ser resistente a la oxidación.

Antes de la aplicación de un lubricante, el cable ha de ser limpiado cuidadosamente para eliminar la acumulación de suciedad u otros materiales abrasivos. La limpieza debe ser efectuada mediante un firme cepillado, el empleo de disolvente y aire comprimido, vapor o presión. La lubricación debe ser realizada inmediatamente después de la limpieza del cable.

Es inadecuado limpiar los cables de acero con sistemas de presión con granalla.

Cuando los cables operan en un medio sucio, rocoso, expuesto a cualquier otro material abrasivo, el lubricante debe ser seleccionado con sumo cuidado y hacer que el mismo penetre firmemente en el cable.

La forma más eficiente de lubricación es utilizar un sistema que continuamente aplique lubricador mientras el cable esté operando.

Muchas técnicas son utilizadas, tales como baño continuo, goteo, vertido, engrase por trapo, pintado o, cuando las circunstancias lo hagan necesario, puede ser utilizado un sistema automático de rociado.

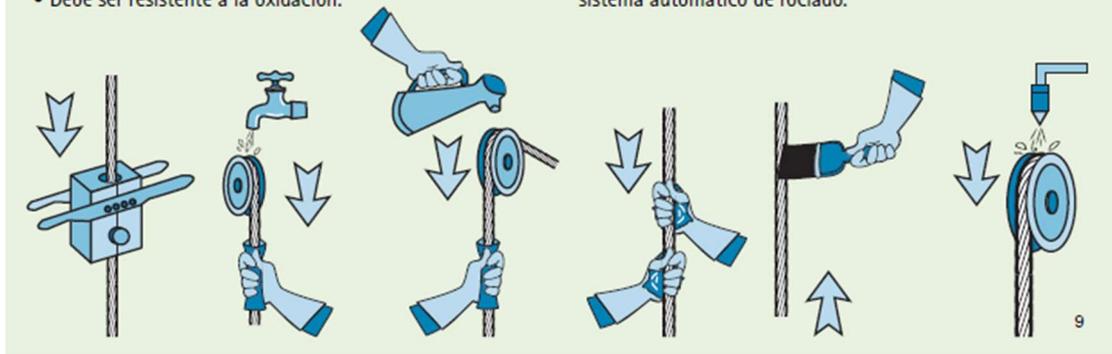


Ilustración 18.- Lubricación cables acero (catalogo cables 2019)

➤ Manipulación

Descarga y transporte

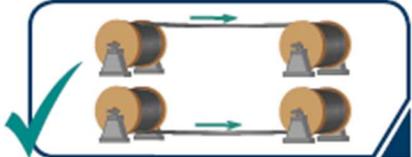
Utilizar ejes para las bobinas y eslingas para rollos.

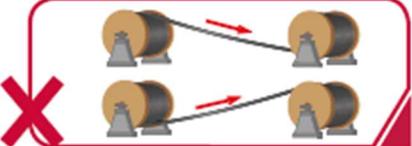


Evitar el contacto con el cable en el caso de utilizar elementos cortantes.

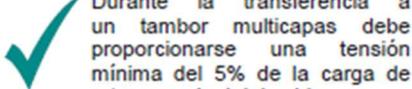


Enrollamiento









Mínimo 5%

Durante la transferencia a un tambor multicapas debe proporcionarse una tensión mínima del 5% de la carga de rotura nominal del cable.

Desenrollado

Rollo
Colocar el rollo en el suelo, desenrollarlo siguiendo una línea recta asegurando no mancharlo de polvo, humedad o cualquier otro elemento que pueda dañar el cable. Si el rollo es de grandes dimensiones se recomienda emplazar el cable en un cono giratorio y estirar de él. Nunca desenrollar el rollo si está fijo.



✓



✗

Carrete o bobina
Colocar un eje a través de la bobina y colocarla en algún soporte que le permita rotar y ser frenado para controlar la salida del cable.



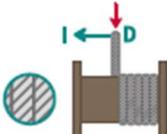
✓



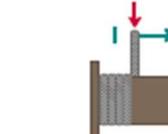
✓

Dirección del enrollamiento

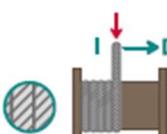
Conviene mantener siempre el mismo sentido de enrollado: si se enrolla el cable del carrete por debajo o por encima, el tambor deberá arrollarse también por debajo o por encima respectivamente.



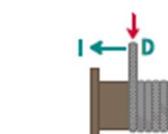
Cable torsión derechas.
Enrollamiento inferior.



Cable torsión izquierda.
Enrollamiento inferior.



Cable torsión derechas.
Enrollamiento superior.



Cable torsión izquierda.
Enrollamiento superior.

Ilustración 19.- Prácticas correctas manipulación cables acero Norma EN 12385-3 (catálogo Cyesa)

Los datos fundamentales del cable para cursar nuestro pedido serán:

-Diámetro	-Composición	-Alma
-Arrollamiento	-Resistencia de los hilos	-Superficie
-Longitud	-Engrase	-Embalaje

3.2.1.1 Solicitaciones cable acero - polea

En el anexo A de la norma 12385-4 como en la norma 12385-2 se establece el cálculo de la fuerza mínima a rotura F_{\min} para cables de acero que el fabricante debe suministrar en la ficha técnica del producto. En cuanto a las sollicitaciones teóricas y empíricas (estas últimas provenientes de los catálogos del fabricante) tendremos:

1.- Esfuerzo de tracción

Se origina cuando el cable está sometido a esfuerzo axial, en nuestro caso debido al peso del cable y contrapeso.

$$\sigma = \frac{F}{A} = \frac{m \cdot g}{A} \quad (1)$$

Donde:

- σ : esfuerzo de tracción estático [N/mm²]
- F: carga en el cable [N]
- m: masa contrapeso [kg]
- g: aceleración de la gravedad [m/s²]
- A: sección del cable [mm]

Al comenzar el movimiento el cable experimenta un esfuerzo dinámico dependiente de la aceleración del cable y de la gravedad

$$\sigma_d = \frac{\sigma * y}{g} \quad (2)$$

Donde:

- σ_d : esfuerzo de tracción dinámico [MPa]

- y : aceleración [m/s^2]

Cuando la velocidad nominal del cable no excede de 2 m/s se suele considerar el esfuerzo dinámico como un 10% del esfuerzo estático, siendo nuestro esfuerzo total a tracción:

$$\sigma_t = 1,1 * \frac{F}{A} \quad (3)$$

Los fabricantes establecen como norma general no someter al cable a carga superior al 50% de su carga mínima de rotura.

2.- Esfuerzo de flexión

Un cable es sometido a flexión al pasar por una polea, experimentando un estiramiento de su zona externa y una contracción de su zona interna.

Los esfuerzos de flexión son máximos cuando el alambre pasa cerca del núcleo, por lo que es esperable que los fallos originados debido a los esfuerzos de flexión se concentren al interior del cable, no siendo visibles desde el exterior.

$$\sigma_f = E * \frac{d_w}{D} \quad (4)$$

Donde:

- σ_f : esfuerzo de flexión [N/mm^2]

- E : módulo elasticidad del alambre [N/mm^2]

- d_w : diametro alambre [mm]
- D : diametro polea [mm]

Cuanto más delgados sean los alambres y torones, mayor es la flexibilidad del cable. Al disminuir el diámetro de los elementos que constituyen el cable, se debe tener precaución de no descender por debajo de cierto límite, ya que la flexibilidad de los cables de alambres muy delgados está limitada por el rozamiento y la presión interior de los mismos.

Tener en cuenta que el esfuerzo determinado en el anexo 1 hace referencia a la flexión completa, condición en la que la sollicitación es máxima, siendo el esfuerzo en la mayoría de las poleas inferior al indicado, pero debemos hallar el esfuerzo en el caso más desfavorable.

3.- Esfuerzo de contacto

Dos tipos de esfuerzos, esfuerzos de contacto entre elementos internos del cable y esfuerzos de contacto entre el cable y la polea.

Los esfuerzos de contacto entre el cable y la polea se originan debido a que el cable, al plegarse sobre la polea, ejerce una presión sobre el fondo de la garganta que produce desgaste y aplasta el cable. Al aplastarse de forma excesiva el cable, se alteran las posiciones relativas de sus elementos, resultando en un debilitamiento de éste.

Mejor almas de acero, los cordones con un menor número de alambres exteriores con diámetros más gruesos tienen mayor resistencia al aplastamiento.

Cuando un cable pasa por una polea la carga sobre la polea depende de la fuerza de tensión del cable y del ángulo de contacto.

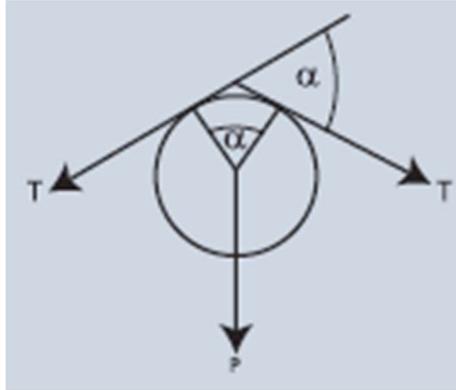


Ilustración 20.- Diagrama polea-cable

$$P = 2 * T * \sin \left(\frac{\alpha}{2} \right) \quad (5)$$

Si se considera cable trabajando en la canaleta asentado de forma correcta la presión entre el cable y la canaleta dependerá solo de la tensión y de la relación entre diámetro de la polea y del cable. El esfuerzo en el fondo de la garganta dependerá del área de contacto del cable:

$$\sigma_p = \frac{2 * T * \sin \left(\frac{\alpha}{2} \right)}{L * m} = \frac{2 * T}{D * m} \quad (6)$$

Donde:

- σ_p : esfuerzo de aplastamiento [N/mm²]
- T: tensión en el cable [N]
- L: longitud de contacto del cable en [mm] ($L = D * \sin \left(\frac{\alpha}{2} \right)$)
- m: ancho transversal de contacto del cable [mm] ($m = 0,8 * d$)

4.- Resistencia a la abrasión y fatiga

La abrasión se produce por el roce y la fatiga por fuerzas fluctuantes reiteradas en el tiempo, por eso hay que tener en cuenta que si se requiere mayor resistencia a la abrasión se deben utilizar torones con menos

alambres y si se requiere mejor resistencia a la fatiga debida a la flexión se deben utilizar cables con más alambres y cordones.

Para nuestro caso más interesante mayor resistencia a la fatiga, es decir, mayor resistencia a la flexión, por tanto, un mayor número de alambres con menor diámetro.

Construcción	Nivel de resistencia	Cantidad de alambres exteriores
6 x 7		6
6 x 19		9
6 x 25		12
6 x 26		10
6 x 36		14
6 x 49		18

Ilustración 21.- Relación abrasión-fatiga para distintas composiciones (catalogo Cyesa)

5.- Ambiente de trabajo

Usar cables galvanizados e inoxidables en ambientes corrosivos, la lubricación también incrementara la protección a la corrosión.

En nuestro caso no tenemos un ambiente de trabajo agresivo, por lo tanto, nos ahorraremos el precio mayor de los galvanizados frente al negro.

6.- Resistencia a la rotación

Los cables giraran al colgar libres o con baja carga, los cables con arrollamiento cruzado mejor resistencia a la rotación que arrollamiento Lang. Cables con alma de acero giran menos que alma textil. También hay cables específicos anti giratorios para casos específicos.

Para nuestro caso no será un efecto importante debido a que el cable no está libre.

7.- Resistencia la vibración

Las ondas dinámicas que producen las vibraciones son absorbidas por el cable pudiendo causar la destrucción localizada de este sin ser necesariamente visible en los alambres exteriores. Los cables con mayor flexibilidad tienden a tener mejor resistencia a la vibración.

En nuestro caso no tenemos vibraciones a tomar en cuenta.

8.- Resistencia a la pulsación (efecto de estrepada)

Debido a los cambios de tensión en el cable producidos por arranques y paradas en el sistema, la vida útil de nuestro cable y de sus terminales se verá afectada.

Los cables con mayor flexibilidad son más apropiados para estas cargas intermitentes. En nuestro caso solo serán importantes en el inicio y fin de carrera, ya tomadas en cuenta en el esfuerzo de tracción.

9.- Ranuras de las poleas

La norma ISO 4308 recomienda que el canal de las poleas este comprendido entre 1,05-1,1 del diámetro del cable asentando con un ángulo de 135° a 150° de la circunferencia del cable. Se determinará primero el diámetro del cable y en función de este la polea.

En nuestro caso, cable de diámetro 8mm elegiremos una roldana que se adecue a este diámetro, la roldana elegida es de la marca Rema modelo 3064003. Representada en SolidWorks en los componentes del sistema.

El ángulo de desviación entre las diferentes poleas por las que pasara el cable no debe ser superior al 2% para prevenir el rozamiento del cable contra las paredes internas de la polea. Para ello habrá que prestar especial atención en el montaje, comprobando la colocación correcta del soporte de la polea en referencia a las otras dos con las que conecta.

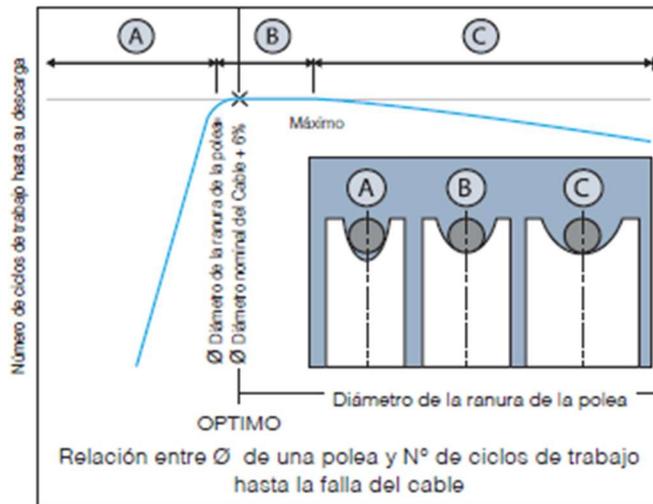


Ilustración 22.- N.º ciclos/Diámetro cable-polea (catalogo cables 2019)

10.- Factor de seguridad

Relación entre la carga mínima garantizada por el cable y la carga de trabajo, tener en cuenta que es necesario aumentar el factor de seguridad si hay vidas en juego, ambientes corrosivos o es difícil llevar a cabo inspecciones frecuentes.

Para nuestro caso cable de tracción sin ambiente agresivo, el factor de seguridad será 5.

Aplicación	Factor
Tirantes de cables o torones (Trabajo estático)	3 a 4
Cables principales para puentes colgantes	3 a 3,5
Cables de suspensión (Péndulos para puentes colgantes)	3,5 a 4
Cables carril para teleféricos y andariveles	3 a 4
Cables de tracción para teleféricos y andariveles	5 a 6
Cables de arrastre para ski	5 a 5,5
Cada cable de operación de una grúa almeja	4 a 5
Palas mecánicas - excavadoras	5
Cable de arrastre en minas	4 a 5
Cables de izaje en minas (vertical e inclinado)	7 a 8
Grúas tacles y polipastos industriales	6 (mínimo)
Grúas - tipo puente, portal, pluma, Derrick, etc.	6 (mínimo)
Ascensores - elevadores para personas	12 a 15
Ascensores - elevadores para materiales y equipos (montacargas)	7 a 10
Grúas con crisoles calientes de fundición	8 mínimo
Cables No rotatorios - Antigiratorios	5 mínimo
Cables de tracción o arrastre	5

Ilustración 23.- Factor seguridad cable acero en función del uso (catalogo cables 2019)

Los cálculos en el anexo A.1 muestran la validez del cable 6x36WS-IWRC para las sollicitaciones de tracción, flexión y presión. Se elige esta configuración atendiendo a que el esfuerzo principal es de flexión y nos interesa configuración con gran número de alambres.

Para la fatiga es muy complicado hacer una estimación, por lo tanto, me puse en contacto con la empresa de cables Cyesa ya que ellos poseen estudios de fatiga de sus productos.

En nuestro caso haciéndoles saber las horas de funcionamiento y la disposición del número de poleas y metros de cable, así como los pesos de los componentes, nos recomendó el cable veropro8.

Cumple todas las exigencias anteriores en cuanto a sollicitaciones, reduciendo además el esfuerzo de flexión (ya que posee un mayor número de torones y alambres) y dando una extraordinaria resistencia a la fatiga.

Las formulas descritas se encuentran señalizadas en la bibliografía.

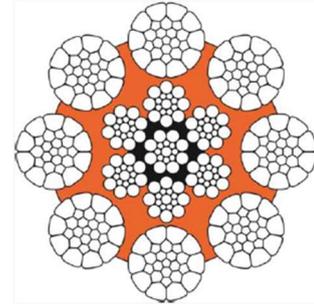
VEROPRO 8

verope 



Cable de 8 cordones, sin resistencia a la rotación con cordones externos compactados y con el alma cubierta con una capa plástica.

- Tiene una carga de rotura muy elevada
- Presenta una estructura muy estable y alcanza excelentes resultados en ensayos de fatiga por flexión
- Ofrece excelente resistencia al aplastamiento y abrasión
- Excelente comportamiento de arrollamiento en tambores multicapas
- No debe ser utilizado con un dispositivo giratorio



Construcción:

8-42mm 8xK26WS-EPIWRC
43-48mm 8xK31WS-EPIWRC
49-60mm 8xK36WS-EPIWRC

Alma: 6x17S-WSC

Marcado: According to standard

Certificación: EN 12385-4

Factor medio relleno: 0.666

Tolerancia: +2% to +4%



Referencia CYE	Ø cable mm	Área sección transversal metálica mm ²	Fuerza mínima de rotura kN 1960 N/mm ²	Peso kg kg/100m
Y1VPRO8Pxy08	8	33	57,7	28,8

Ilustración 24. -<https://www.cyesa.com/productos-de-elevacion/cables-de-acero/cables-altas-prestaciones/veropro-8-p115916>

3.2.2 Terminales

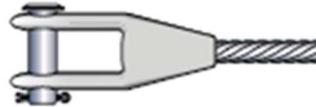
La función de nuestro terminal será enganchar la barrera de protección al depósito para provocar el movimiento de esta en el instante en el que el depósito empiece su trayectoria.

Los terminales más comunes junto con su porcentaje de eficiencia respecto al cable son:

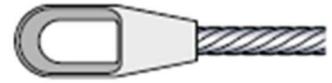
Ensamblado por procedimiento químico



Terminal de pera
(100%)



Terminal cónico abierto
(100%)



Terminal cónico cerrado (100%)

Ensamblado por procedimiento mecánico



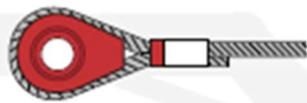
Terminal gaza con casquillo aluminio (90%)



Terminal gaza con casquillo de acero (Superloop) (90%)



Terminal gaza con guardacabo y casquillo (90%)



Terminal gaza con vigota y casquillo (90%)



Terminal prensado de ojo (90%)



Terminal prensado horquilla (90%)



Terminal prensado roscado (90%)



Botón prensado acero (90%) - otros (50%)

Ensamblado por procedimiento manual



Terminal abrazaderas con perno en U (80%)



Terminal abierto de cuña (80%)



Terminal cuña para elevador (80%)

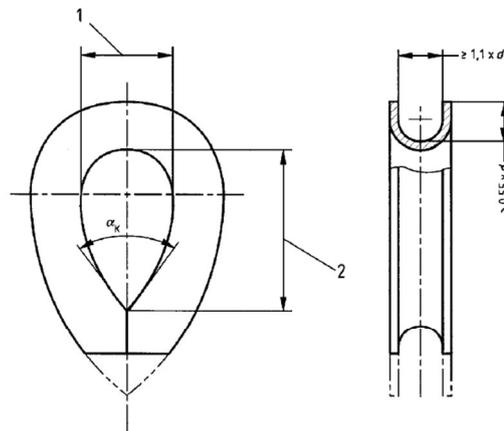
Ilustración 25.- Tipos terminales cable acero (catalogo Cyesa)

Elegimos un terminal gaza con guardacabo y casquillo ya que su función es la de arrastre siendo este tipo el más adecuado y de menor coste que los ensamblados por procedimiento químico. Deberá cumplir una serie de normas:

UNE-EN 13414-1. Eslingas de cables de acero. Seguridad. Parte 1: Eslingas para aplicaciones generales de elevación.

UNE-EN 13414-2. Eslingas de cables de acero. Seguridad. Parte 2: Especificación sobre la información acerca de la utilización y el mantenimiento a suministrar por el fabricante.

UNE-EN 13411-1. Terminales para cables de acero. Seguridad. Parte 1: Guardacabos para eslingas de cables de acero. El material de fabricación debe ser acero de acuerdo con la norma EN 10025. En la construcción no deben tener ningún fallo o defecto pudiendo abrirse o cerrarse una vez, sin aplicar calor, para permitir la inserción de un componente 1,5 veces el diámetro del cable



Leyenda

- 1 de $2,5$ a $3,5 \times d$
- 2 de $1,5$ a $2 \times$ dimensión 1
- d = diámetro nominal del cable
- $\alpha_k \leq 50^\circ$

Figura 1 – Dimensiones de guardacabos

Ilustración 26.- Dimensiones guardacabos norma UNE EN13411-1 Establece las dimensiones de cualquier tamaño de guardacabos, las cuales deben cumplir la figura.

UNE-EN 13411-2. Terminales para cables de acero. Seguridad. Parte 2: Empalme de ojales para eslingas de cable de acero. Establece como debe ser el empalme, este debe ser realizado por un obrero formado para tal acción.

Para cada cordón el empalme debe tener un mínimo de 5 series de pliegues que soportan la carga, tres de ellos mínimo se deben efectuar por la totalidad del cordón, el resto se deben realizar con los cordones que componen mínimo el 50% de los alambres.

En cuanto a los alambres que sobresalen se reintroducen sus extremidades en el cable. Las extremidades de los cordones del alma no deben sobresalir.

UNE-EN 13411-3. Terminales para cables de acero. Seguridad. Parte 3: Casquillos y asegurado de casquillos. Establece como debe ser el casquillo y su asegurado.

UNE-EN 13414-1. Eslingas de cables de acero. Seguridad. Parte 1: Eslingas para aplicaciones generales de elevación. Proporciona los requisitos de fabricación, el método de cálculo de la carga máxima de utilización, la verificación, certificación y el marcado de las eslingas de acero para aplicaciones generales de elevación.

UNE-EN 13414-2. Eslingas de cables de acero. Seguridad. Parte 2: Especificación sobre la información acerca de la utilización y el mantenimiento a suministrar por el fabricante. Establece la información de tener en cuenta en el uso y mantenimiento del producto que el fabricante debe suministrarlos.

3.2.2.1 Cálculos de los terminales

Para las instrucciones de uso y los cálculos para comprobar que las eslingas con guardacabo y casquillo son adecuadas, usaremos el procedimiento del catálogo Tenso tal como se muestra en la figura:

1. Asegurarse de que la eslinga es adecuada para la carga. Las eslingas no deben ser sobrecargadas, hay que cumplir con las CMU indicadas.
2. Los ángulos de apertura de los ramales no deben superar los 120°.
3. Examinar el estado de la eslinga. No se deben utilizar nunca eslingas dañadas, todas las eslingas dañadas deben ser retiradas de servicio, pues sólo pueden ser reparadas por personal cualificado.
4. Las operaciones con las eslingas deben efectuarse siempre con la carga estable y equilibrada.
5. Comenzar y terminar la operación de forma lenta. No utilizar las eslingas en uso interno sin la protección de las gazas.
6. No emplear en las gazas elementos que las puedan deteriorar o cortar. Se recomiendan enganches lisos sin bordes.
7. No arrastrar las eslingas en los desplazamientos, ni dejar que queden atrapadas bajo la carga. No deben ser empleadas sobre superficies con bordes o aristas sin la debida protección anticorte.
8. Deben ser almacenadas siempre colgadas por las gazas, o en varios puntos longitudinalmente.
9. En el caso de que las eslingas sean utilizadas con productos químicos o a temperaturas elevadas, es necesario consultar al fabricante.
10. Cuando se detecte a simple vista la rotura de aproximadamente un 20% de los alambres del cable que forma la eslinga, se debe dejar de utilizar.

1. Resistencia a la rotura nominal de los alambres empleados: 1770 N/mm²
2. Coeficiente cable = 6,25
3. Coeficiente eslinga = 5:1
4. Carga máxima de utilización (CMU) = carga de rotura / coeficiente de seguridad

ÁNGULO ENTRE RAMALES OPUESTOS	ÁNGULO CON LA VERTICAL	FACTORES PARA CALCULAR LA CMU		
		NÚMERO DE RAMALES		
α	β	2	3	4
$\alpha \leq 90^\circ$	$\beta \leq 45^\circ$	1,4	2,1	2,1
$90^\circ < \alpha \leq 120^\circ$	$45^\circ < \beta \leq 60^\circ$	1	1,5	1,5

ATENCIÓN A LOS ÁNGULOS FACTOR DE MODO



Cuando los ramales de una eslinga no trabajan verticalmente hay que tener en cuenta que el esfuerzo por ramal aumenta según crece el ángulo formado por éstos con la vertical.

Para calcular el esfuerzo de cada ramal ha de multiplicarse su carga por el coeficiente que corresponde al ángulo según la tabla adjunta.

	ÁNGULO A°	MULTIPLICADO POR
1	20°	1,06
2	30°	1,16
3	45°	1,42
4	60°	2,00
5	70°	2,92
6	80°	5,76

ÁNGULOS DE LOS RAMALES CON LA VERTICAL (A°)

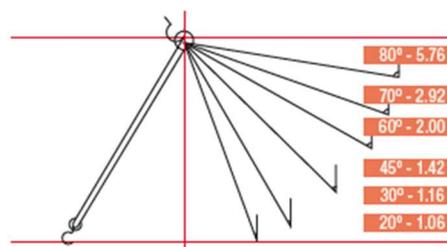


Ilustración 27.- Método calculo terminales (catalogo Tenso)

Para el amarre entre la última polea y la barrera el ángulo con la vertical será entorno a los 5°, el coeficiente será 1,06.

El terminal gaza con guardacabo y casquillo soporta un 90% de la fuerza mínima a rotura del cable y al superar este las solicitudes de manera holgada no será necesario hacer cálculos muy complejos (Anexo A.2) referentes al guardacabo o casquillo ya que hemos determinado la resistencia del cable y el fabricante nos asegura ese porcentaje de eficiencia con respecto al cable.

3.2.3 Fijaciones

Todas las fijaciones del sistema se basarán en tornillería. El tipo de tornillo vendrá determinado por la calidad del acero empleado en su fabricación

Valores nominales del límite elástico f_{yb} y de la resistencia a tracción última f_{ub} de tornillos							
Tipo de tornillo	4.6	4.8	5.6	5.8	6.8	8.8	10.9
f_{yb} (N/mm ²)	240	320	300	400	480	640	900
f_{ub} (N/mm ²)	400	400	500	500	600	800	1000

Ilustración 28.- Limite elástico y resistencia ultima a tracción para las diferentes clases de tornillos

Tendremos uniones roscadas en la sujeción de las poleas en las paredes, así como en la unión de las placas de contrapeso con la placa de esquinas curvadas y en el armazón del propio contrapeso.

Los agujeros para la tornillería se realizan mediante taladro, el diametro del agujero será el diametro del vástago del tornillo más 1mm para tornillos de 12-14mm y 1-2mm para tornillos de 16-24mm.

3.2.3.1 Cálculos de las fijaciones

Las uniones atornilladas se distinguen en la manera de trabajar de los tornillos habiendo cinco categorías, para nuestro mecanismo (categoría A) comprobaremos la resistencia a cortante y aplastamiento ya que los tornillos solo están solicitados en dirección perpendicular a su eje por un esfuerzo cortante. Este esfuerzo cortante no podrá ser superior a la resistencia a cortante del tornillo ($F_{V,Rd}$) o a la resistencia a aplastamiento de la pieza contigua al tornillo ($F_{b,Rd}$).

- Resistencia a cortante

Si el plano de corte pasa por la zona roscada

$$F_{V,Rd} = \frac{0.6 * f_{ub} * A_s}{\gamma_{Mb}} \quad (7)$$

Donde:

- A_s : área resistente a tracción del tornillo [mm^2]
- f_{ub} : tensión última a tracción del tornillo [N/mm^2]
- γ_{Mb} : coeficiente parcial de seguridad (1,25)

Si el plano de corte pasa por la zona no roscada:

$$F_{V,Rd} = \frac{0.6 \cdot f_{ub} \cdot A}{\gamma_{Mb}} \quad (8)$$

- Resistencia a aplastamiento

$$F_{b,Rd} = \frac{2.5 \cdot \alpha \cdot f_{ub} \cdot d \cdot t}{\gamma_{Mb}} \quad (9)$$

Siendo:

- d: diámetro del tornillo [mm]
- t: espesor de la chapa [mm]
- α : coeficiente en función de la separación entre tornillos, distancia al extremo frontal o resistencia de la chapa respecto tornillo (para nuestro caso, su valor es 1).

En el Anexo A.3 he comprobado que tanto el eje de las poleas como las varillas del sistema contrapeso que trabajan a cortante cumplan este requisito, siendo la función del resto de tornillería la sujeción de elementos que no ejercen apenas esfuerzo en comparación con estas dos citadas.

No tenemos un ambiente agresivo que pueda provocar el fallo por corrosión.

3.2.4 Sistema contrapeso

Las piezas realizadas junto con el árbol de operaciones realizadas para su ejecución en SolidWorks2016 son:

- Contrapeso completo

La imagen muestra el sistema sin carcasa delantera para poder apreciar los componentes anteriormente citados ya ensamblados. Las dimensiones del contrapeso son 3,5m de alto y 1m de ancho, el armazón que hace la función estructural se compone de tres placas unidas mediante dos perfiles U atornillados.

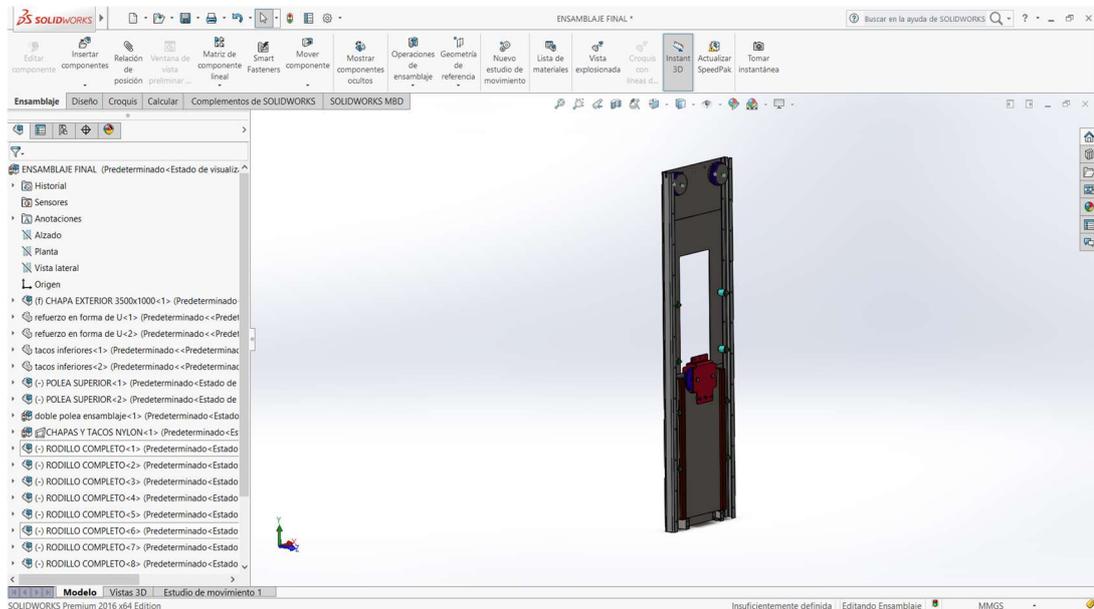


Ilustración 29.- Sistema contrapeso completo sin carcasa en posición inicial

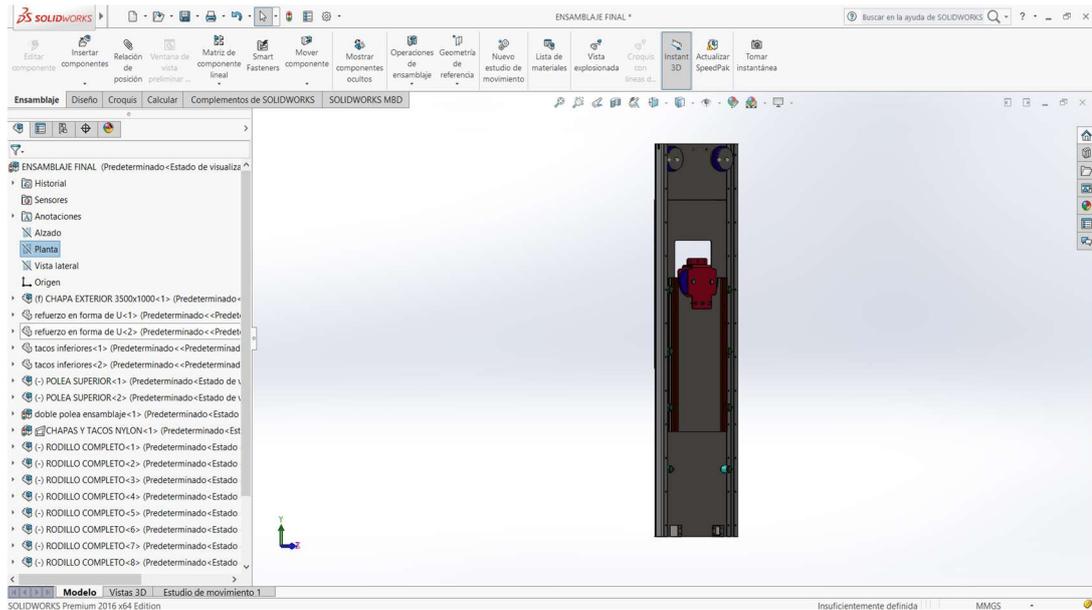


Ilustración 30.- Sistema contrapeso completo sin carcasa en posición final

- Placa contrapeso y tacos nylon

Formada por placas de acero (disponibles por la empresa contratante) y cuatro tacos de nylon, el sistema está diseñado para poder modificar el peso del contrapeso añadiendo o quitando placas de acero cada una con un área de $904136,75\text{mm}^2$.

Para nuestro caso usaremos la placa de 20mm de espesor o las dos de 10mm, que nos proporciona una masa de 141,95kg, consiguiendo que la masa sea en poca medida superior a la de la barrera. Las placas van unidas a los tacos de nylon mediante 2 varillas a cada de lado de diámetro 10mm.

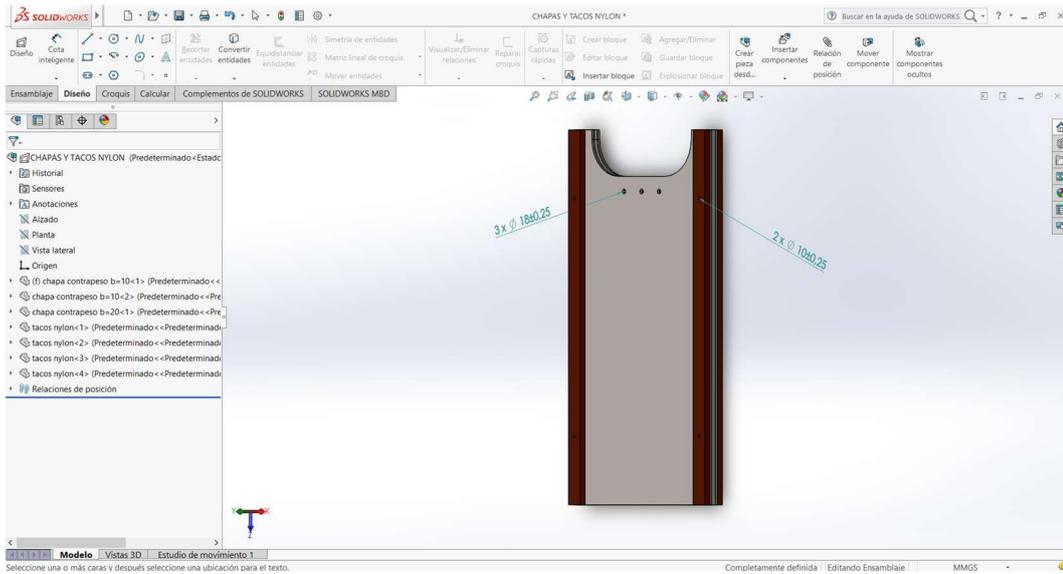


Ilustración 31.- Placas contrapeso y tacos nylon

- Rodillo guía contrapeso

Una serie de rodillos guía a cada lado, de la marca Ameise tipo ACY 20x65x70mm permiten a las chapas la rodadura provocando el movimiento vertical del contrapeso. Estos rodillos van sujetos al armazón mediante el eje (representado en verde) de diámetro 20mm.

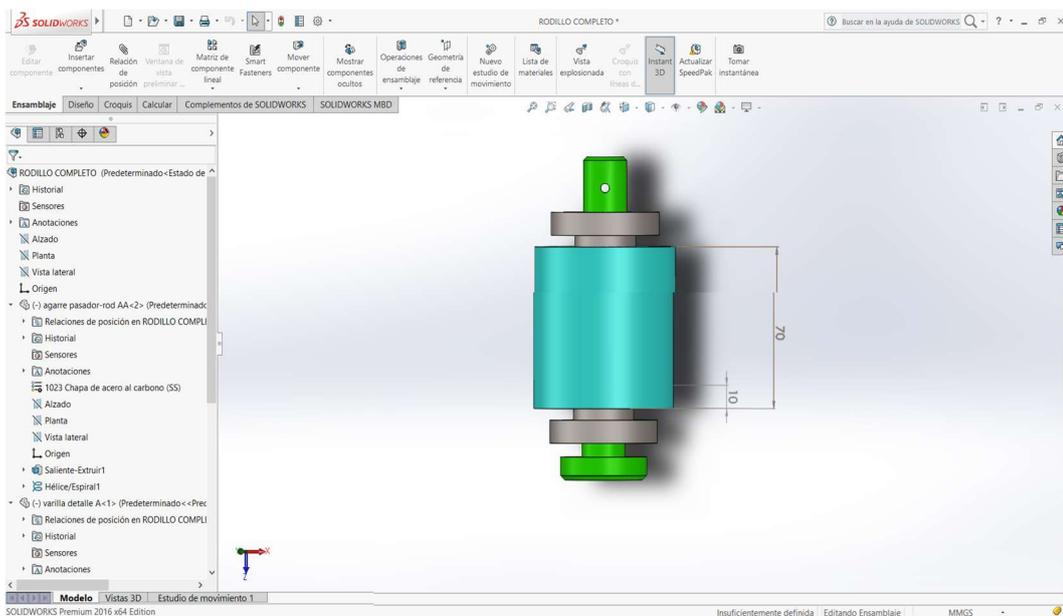


Ilustración 32.- Rodillo guía Ameise ACY 20x65x70

- Roldana (polea)

Roldana de carga de la marca Rema modelo 3064003 con un diametro de garganta y exterior respectivamente de 200 y 235 mm, usada para cables de diametro comprendido entre 8 - 10mm, montado con rodamientos 6304ZZ. Tiene una masa de 10,6kg y una capacidad de carga de 1000kg. Cuenta con sistema para atornillar a la pared o montar en un eje.

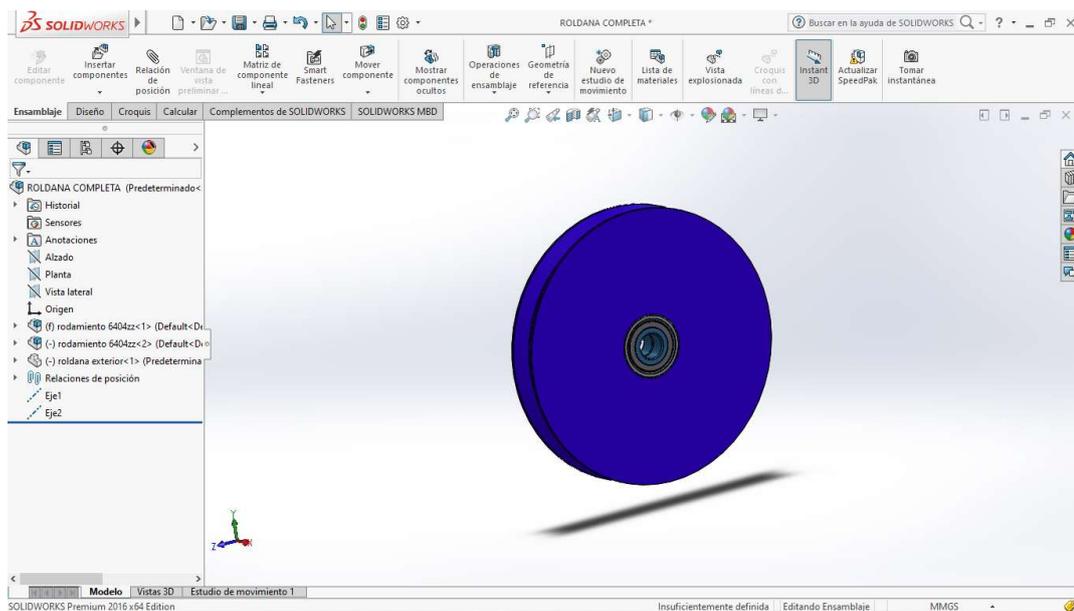


Ilustración 33.- Polea Rema modelo RBZ 3064003

- Doble polea contrapeso

Sistema responsable de izar la placa de contrapeso, este se compone de dos placas curvas unidas en la parte superior e inferior (donde estará situadas las placas de contrapeso mediante tres varillas de diametro 16mm y longitud 180mm con sus respectivas tuercas) en las que se dispondrá de dos poleas alineadas con sus sistemas de retención para evitar el movimiento en el plano horizontal de estas.

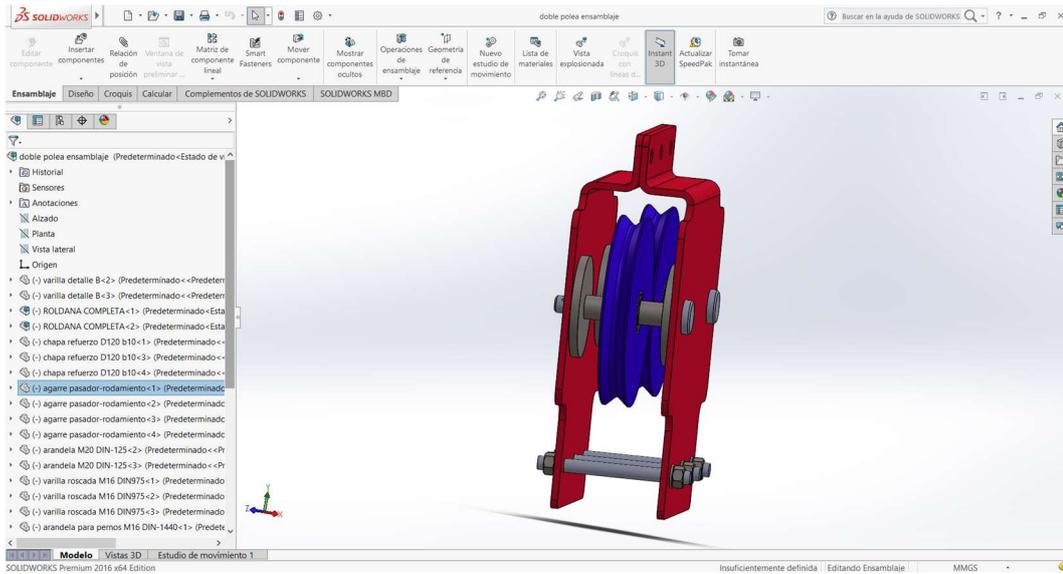


Ilustración 34.- Ensamblaje doble polea para izar contrapeso

- Polea superior

Situadas en la parte superior del armazón del contrapeso, enganchado a este mediante la varilla de diámetro 20mm y con sistema de retención para evitar el movimiento en el plano horizontal.

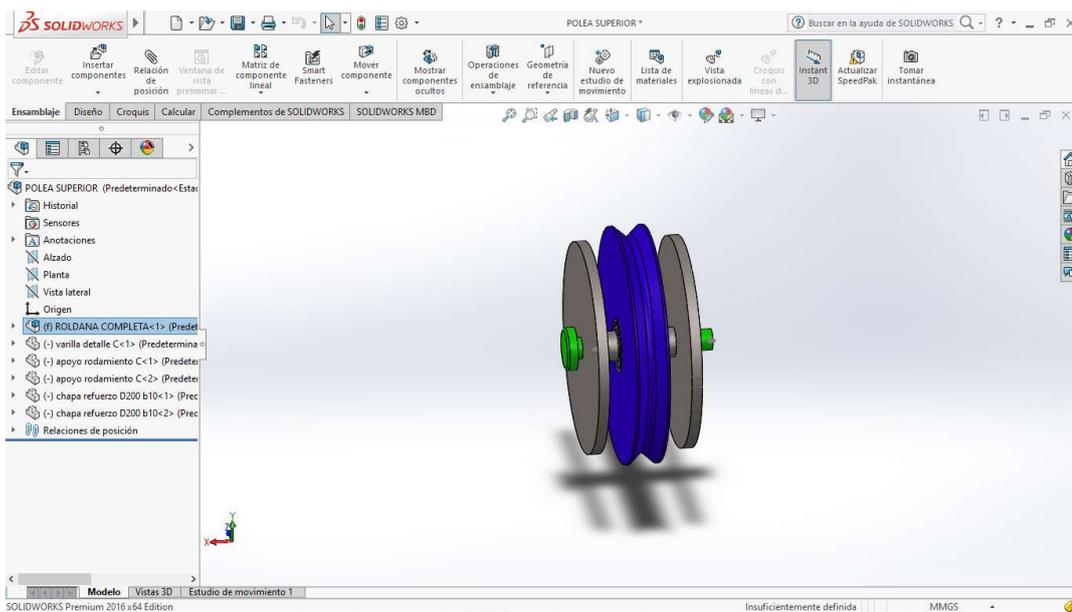


Ilustración 35.- Polea con varilla y sistema de retención

4. Software de diseño SolidWorks2016

SolidWorks es un software de diseño CAD para modelar piezas y ensamblajes en 3D, así como obtener los planos 2D, ofreciendo soluciones para cubrir los aspectos de desarrollo del producto: crear, diseñar, simular, fabricar y gestionar los datos del proceso de diseño.

Tiene la gran ventaja de ser un software de diseño más fácil de usar que su competencia (esto según usuarios de los distintos softwares de diseño, haciendo hincapié a su interfaz altamente intuitiva).

El tiempo invertido en aprender a usarlo es menor pues ofrece una interfaz de usuario coherente en todo momento y procedimientos de dibujo lógicos de principio a fin. Además, incorpora tutoriales y muchos ajustes ya fijados para que el diseño desde un inicio sea rápido y sin excesivas complicaciones.

Los inconvenientes más importantes en mi opinión son el desarrollo de superficies y la creación de roscas. En la creación de superficies con SolidWorks hemos de recurrir a los métodos convencionales, lo que nos demandará mayor tiempo de trabajo, un árbol de operaciones muy extenso y difícil de editar, además de obtener superficies con menor calidad. En esta cuestión hay otros programas más adecuados, como Inventor, con la capacidad de trabajar con T-Splines para desarrollar formas complejas de manera más sencilla y con mejor calidad.

El otro inconveniente es la realización de roscas, no posee comando específico, para realizar la rosca se debe crear un perfil (único para cada diámetro y tipo de roscado), una trayectoria y la operación de barrido de ese perfil en la trayectoria, la cual, nos removerá el material para visualizar el roscado (en versiones de años posteriores esto lo han solventado).

Es obvio que es mucho más rentable en cuanto a tiempo, marcar la trayectoria de rosca en el dibujo, pero no realizar la operación de barrido, debido al tiempo que invertiríamos en crear el perfil del roscado.

Una característica imprescindible en programas CAD es la de establecer un vínculo de migración con AutoCad (programa más extendido para la realización de planos), SolidWorks maneja opciones para trasladar archivos AutoCad a su entorno e incluso transformarlas de 2D a 3D.

Algunos "trucos" que fui aprendiendo con la utilización del programa son:

El que más tiempo ahorra y considero imprescindible de usar, finalizar comando con la tecla derecha del ratón en lugar de hacer clic en la parte superior de la ventana gráfica.

Al insertar componentes intentar insertarlos en la posición más parecida a la final del assembly, debido a que al meter restricciones como caras o centros coincidentes nos las realiza siguiendo el movimiento más cercano entre las piezas y si la cara o centro que queremos restringir no es el más cercano nos producirá solapación de piezas. También es interesante para que esto no suceda utilizar el comando detección de interferencias para los ensamblajes.

Para ver rápidamente las cotas de un croquis que faltan o están definidas en exceso tener establecido el mostrar relaciones, en la barra de herramientas de relaciones de croquis seleccionar las cotas de la lista de relaciones.

Para copiar elemento de un croquis usar 'ctrl' y arrastrar la entidad a la posición deseada en lugar de copiar y pegar ('ctrl+c' - 'ctrl+v'). Mantener pulsado 'ctrl' para desactivar las relaciones automáticas en croquis complejos para que no te seleccione el elemento más cercano.

Se puede mover, rotar o escalar un croquis entero en el desplegable de mover entidades. Cuando sean croquis 3D usar el tabulador para cambiar de plano.

Al arrastrar una pieza dentro del árbol de un ensamblaje el origen de la pieza pasara a ser el mismo que el origen del ensamblaje reestructurando los planos de pieza y ensamblaje.

Algunos de los comandos básicos que pueden agilizar el proceso son:

Interfaz de usuario

Atajo	Función
Ctrl + B	Reconstruye el modelo.
Ctrl + R	Redibuja la pantalla.
Ctrl + Tab	Se mueve entre documentos abiertos.
Intro	Repite el último comando.
S	Abre la barra de métodos abreviados.

Visualización

Atajo	Función
Alt + teclas de flechas	Gira el modelo paralelo al plano de visualización.
Alt + arrastrar con el botón central del ratón	Gira el modelo paralelo al plano de visualización.
Mayús + teclas de flechas	Gira el modelo 90 °.
Mayus + Z	Aumenta el zoom en un modelo.
Z.	Aleja el zoom en un modelo.
Mayús + arrastrar con el botón central del ratón	Aumenta y aleja el zoom en un modelo con respecto al centro de la pantalla.
F	Zoom para ajustar.
Alt + clic	Muestra un sólido o un componente oculto cuando se coloca el ratón sobre el sólido o el componente.
Alt + rueda central del ratón	Muestra una vista de sección cuando se utiliza la lupa.
Ctrl + barra espaciadora	Abre el Selector de vistas.

Selección

Atajo	Función
Alt + clic	Te permite seleccionar las caras posteriores en el cubo del Selector de vistas.
Ctrl + clic	Te permite seleccionar varias entidades.
Mayús	Te permite seleccionar una cara transparente en una pieza.
Mayús + clic	Selecciona todo el contenido de dos elementos seleccionados en el gestor de diseño del FeatureManager.

Croquis

Atajo	Función
Alt + arrastrar	Ajusta simétricamente las dos asas de un punto de control en una spline.
Ctrl + arrastrar	Suprime las líneas de inferencia al arrastrar un punto final.
Pulsar la tecla Ctrl mientras croquiza	Desactiva las relaciones de croquis automáticas.
Mayús + clic	Activa el ajuste.
Mayús + arrastrar	Cuando se croquiza una línea, esta se ajusta a la longitud específica.
Tabulador	Cambia el plano XYZ al realizar un croquis en un croquis 3D.

Cotas y anotaciones

Atajo	Función
Alt + clic	Desactiva la alineación automática al colocar cotas y anotaciones.
Alt + arrastrar	Mueve una anotación independientemente del grupo que la contiene.
Alt + valores especificados	Inserta símbolos estándar de Windows: – Alt + 0176 : inserta el símbolo de grados °. – Alt + 0216 : inserta el símbolo de diámetro Ø. – Alt + 0181 : inserta el símbolo μ.
Ctrl + arrastrar	Crea líneas indicativas adicionales en una nota cuando pulsas Ctrl y arrastras una punta de flecha de una línea indicativa.
Mayús + clic	Ajusta una cota en la ubicación máxima o mínima al acotar los arcos y los círculos con la herramienta Cota inteligente .
Tecla `	Te permite cambiar el plano de vista de la anotación de una cota o anotación.

Ilustración 36.- Comandos básicos SolidWorks (help.solidworks.com)

5. Presupuesto

El presupuesto hace referencia a la realización del proyecto. La empresa contratante se hace cargo de la compra de los diferentes materiales para su ejecución y puesta en marcha.

Concepto	Horas/Unidades	Coste unitario (€/h o €/u)	Coste total
<u>Coste personal y mano de obra</u>			
Ingeniero estudiante	500h	10	5000
Ingeniero profesional	20h	20	400
<u>Coste equipos</u>			
Ordenador personal	1u	800	200
Ordenador universidad	1u	500	0
Software SolidWorks	1u	120	60
Software Office	1u	30	15
Software AutoCad	1u	110	55
Libros de texto (UVA)	4u	0	0
Normas AENOR (UVA)	15u	0	0
Total			5730€

6. Conclusiones

Lo primero determinar que este trabajo de fin de grado realizado durante las practicas curriculares tiene un objetivo muy específico. El diseño de solventar el movimiento de una barrera en sincronía con un depósito, cumpliendo una serie de condiciones para una empresa externa.

Por lo que es obvio, no es extrapolable a otros problemas parecidos o empresas, ya que el pliego de condiciones y disposición de los elementos presentes en la fábrica modifica el diseño idóneo.

El diseño de nuestro sistema y su montaje deben cumplir una serie de normas, las cuales se encuentran detalladas en la bibliografía.

La mayor carga de trabajo de este trabajo de fin de grado es el diseño de todas las piezas 3D del mecanismo utilizando el software SolidWorks2016.

No he querido centrar el trabajo excesivamente en la parte de diseño referente a los distintos comandos para la obtención de las piezas 3D, no viendo beneficio para otras personas.

La carga correspondiente al aprendizaje de estos programas CAD se basa en un conocimiento teórico previo, pero, sobre todo, en dedicarle tiempo a la práctica. Pudiendo acceder a videos en la red mucho más adecuados para aprender permitiendo practicar al mismo tiempo que el profesor realiza los distintos comandos.

He buscado resaltar una serie de pautas para la ayuda en el uso de este programa a otros usuarios. Haciendo de este trabajo de fin de grado una adaptación de manual inicial para solventar problemas frecuentes y de utilización de comandos que agilicen el proceso de diseño de piezas y ensamblajes.

Dejo los archivos completos de SolidWorks a disposición publica para que cualquiera pueda usarlos y modificarlos a su antojo, valoro el aprendizaje que me ha supuesto y espero poder ayudar a otros usuarios a empezar en el uso de este programa.

También sirve de ayuda para usuarios que busquen la obtención de esfuerzos en cables de acero ya que he resaltado todas las posibles solicitaciones, con cálculos tanto teóricos como empíricos, sacados estos últimos de los fabricantes.

7. Bibliografía

- [1] Aparatos de elevación y transporte. Tomo 1
Hellmunt Ernst, editorial Blume, 1970.

Ecuaciones (1), (2), (3), (4), (5), (6)
- [2] Teoría de maquinas
Salvador Cardona, edicions UPC, 2001.
- [3] Teoría de maquinas
Alejo Avello, Tecnun – Universidad de Navarra, 2014.
- [4] Manual de seguridad de los útiles de elevación de cargas
Ramon Rodríguez Roel, Fremap, 2012.
- [5] Diseño fatigador de cables de acero a flexión sobre poleas:
<http://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/138433/Diseno-de-una-fatigadora-de-cables-de-acero-a-flexion-sobre-poleas.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- [6] Diseño de montacargas para almacén:
<https://repositorio.upct.es/bitstream/handle/10317/3575/pfc5101.pdf;jsessionid=0963ACD29AE404F4F7ADCCF8EE1E6F19?sequence=1>

Ecuaciones (1), (2), (3), (4)
- [7] NTP155: Guía de buenas prácticas para cables de acero
- [8] Catalogo ResorPlast manufactura de alambre
- [9] Catalogo Cyesa
- [10] Catalogo Tenso
- [11] Catalogo cables 2019
- [12] Catalogo EYT

[13] <https://ingemecanica.com>

Ecuaciones (7), (8), (9)

[14] <https://ingelibreblog.wordpress.com/2014/02/03/introduccion-al-proyecto-y-diseno-de-maquinas/>

Normas consulta:

EN 12385-2. Cables de acero. Seguridad. Parte 2: Definiciones, designación y clasificación.

EN 12385-3. Cables de acero. Seguridad. Parte 3: Información para la utilización y el mantenimiento.

UNE-EN 12385-4. Cables de acero. Seguridad. Parte 4: Cables trenzados para aplicaciones generales de elevación.

UNE-EN 13411-1. Terminales para cables de acero. Seguridad. Parte 1: Guardacabos para eslingas de cables de acero.

UNE-EN 13411-2. Terminales para cables de acero. Seguridad. Parte 2: Empalme de ojales para eslingas de cable de acero.

UNE-EN 13411-3. Terminales para cables de acero. Seguridad. Parte 3: Casquillos y asegurado de casquillos.

UNE-EN 13414-1. Eslingas de cables de acero. Seguridad. Parte 1: Eslingas para aplicaciones generales de elevación.

UNE-EN 13414-2. Eslingas de cables de acero. Seguridad. Parte 2: Especificación sobre la información acerca de la utilización y el mantenimiento a suministrar por el fabricante.

UNE-EN 13414-3. Eslingas de cables de acero. Seguridad. Parte 3: Eslingas sin fin y eslingas de cuerda

UNE-EN 1677-1. Accesorios para eslingas. Seguridad. Parte 1: Accesorios de acero forjado. Clase 8.

UNE-EN 1677-2. Accesorios para eslingas. Seguridad. Parte 2: Ganchos de elevación de acero forjado con lengüeta de seguridad. Clase 8.

UNE-EN 1677-3. Accesorios para eslingas. Seguridad. Parte 3: Ganchos autoblocantes de acero forjado. Clase 8.

UNE-EN 1677-4. Accesorios para eslingas. Seguridad. Parte 4: Eslabones. Clase 8.

UNE-EN 13889. Grilletes de acero forjados para aplicaciones generales de elevación. Grilletes rectos y grilletes tipo lira. Grado 6. Seguridad.

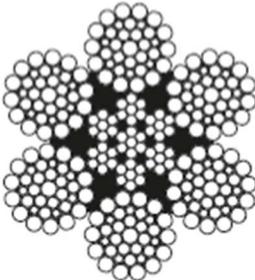
ISO 2408

DIN 3064

Anexo A. Cálculos

A.1 Cálculos cable acero y polea

6x36WS-IWRC

Certificación: UNE-EN 12385-4
 Construcción: 6x36WS-IWRC
 Alma: 6x7-WSC

Referencia CYE 1770 N/mm ²	Referencia CYE 1960 N/mm ²	Cable acero		Área sección transversal metálica mm ²	Fuerza mínima de rotura		Peso kg/100m
		∅ mm			1770 N/mm ²	1960 N/mm ²	
Y106360Lxy08	Y106360Nxy08	8		29,4	40,3	44,7	26,2

Ilustración 37.- Cable 6x36WS-IWRC (catalogo Cyesa)

- Cable acero 6x36WS-IWRC
 - D = 8 mm
 - E = 1,1*10⁵ N/mm²
 - d = D/22 mm
 - m = 0,8*D
- Roldana Rema modelo 3064003
 - D1 = 200 mm
 - D2 = 235 mm

Solicitaciones cable en el momento de contrapeso en movimiento (mayor sollicitación):

- Tracción

$$\sigma = \frac{F}{A} = \frac{150kg * 9,8m/s^2}{29,4mm^2} = 50N/mm^2$$

$$\sigma_t = 1,1 * \sigma = 1.1 * 50N/mm^2 = 55N/mm^2$$

- Flexión

$$\sigma_f = E * \frac{d}{D1} = 2,1 * 10^5 N/mm^2 \frac{8}{200mm} = 381.81 N/mm^2$$

- Contacto (presión)

$$\sigma_p = \frac{2 * T}{D1 * m} = \frac{2 * 1470N}{200mm * 0,8 * 8mm} = 2,297 N/mm^2$$

Por lo tanto, la tensión total máxima en el cable será de 489,107N/mm² siendo un 24,95% de su tensión mínima a rotura establecida por el fabricante, 1960N/mm².

Aunque esta configuración de cable es satisfactoria para la función a desempeñar con un coeficiente de seguridad igual a 4.

Usaremos el cable veropro8 ya que el fabricante nos establece que tiene una importante mejora en cuanto a resistencia a fatiga y observamos que la sollicitación a flexión también se reduce por poseer un mayor número de torones y alambres dando un área transversal de 33mm² superior a los 29,4mm² del cable 6x36WS-IWRC.

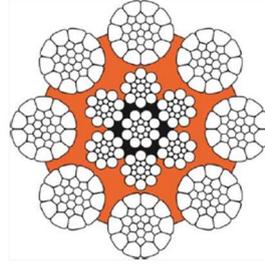
VEROPRO 8

verope



Cable de 8 cordones, sin resistencia a la rotación con cordones externos compactados y con el alma cubierta con una capa plástica.

- Tiene una carga de rotura muy elevada
- Presenta una estructura muy estable y alcanza excelentes resultados en ensayos de fatiga por flexión
- Ofrece excelente resistencia al aplastamiento y abrasión
- Excelente comportamiento de arrollamiento en tambores multicapas
- No debe ser utilizado con un dispositivo giratorio



Construcción:

8-42mm 8xK26WS-EPIWRC
43-48mm 8xK31WS-EPIWRC
49-60mm 8xK36WS-EPIWRC

Alma: 6x17S-WSC

Marcado: According to standard

Certificación: EN 12385-4

Factor medio relleno: 0.666

Tolerancia: +2% to +4%



Referencia CYE	Ø cable mm	Área sección transversal metálica mm ²	Fuerza mínima de rotura kN 1960 N/mm ²	Peso kg kg/100m
Y1VPRO8Pxy08	8	33	57,7	28,8

Ilustración 38.- Cable VEROPRO 8 (catalogo Cyesa)

• Cable VEROPRO 8

$$- D = 8 \text{ mm}$$

$$- E = 1,1 \cdot 10^5 \text{ N/mm}^2$$

$$- d = D/29 \text{ mm}$$

$$- m = 0,8 \cdot D$$

- Tracción

$$\sigma = \frac{F}{A} = \frac{150 \text{ kg} \cdot 9,8 \text{ m/s}^2}{33 \text{ mm}^2} = 44,55 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_t = 1,1 \cdot \sigma = 1,1 \cdot 44,55 \text{ N/mm}^2 = 49 \text{ N/mm}^2$$

-Flexión

$$\sigma_f = E * \frac{d}{D1} = 2,1 * 10^5 N/mm^2 \frac{\frac{8}{29}}{200mm} = 289.655 N/mm^2$$

-Contacto (presión)

$$\sigma_p = \frac{2 * T}{D1 * m} = \frac{2 * 1470N}{200mm * 0,8 * 8mm} = 2,297N/mm^2$$

Por lo tanto, la tensión total máxima en esta configuración de cable será de 340,952N/mm² siendo un 17,39% de su tensión mínima a rotura establecida por el fabricante, 1960N/mm². Pudiendo establecer un coeficiente de seguridad igual a 5.

A.2 Cálculos terminales

La Fmin a rotura para la eslinga con guardacabo y casquillo es de 90% la Fmin del cable.

$$F_{min} = 0.9 * 44.7kN = 40.23kN$$

Siendo la fuerza de tracción ocasionada por el peso del contrapeso de 1470N (Anexo A.1) y estableciéndole el coeficiente de 1,06 recomendado por el fabricante debido al ángulo máximo de desviación respecto a la vertical de 5°.

$$F = 1470N * 1.06 = 1558.2N$$

La carga máxima de utilización para la situación más desfavorable considerando un factor de seguridad de 6 será:

$$CMU = 1770 * 50,26/6 = 14826,7N$$

La carga de tracción corresponde a un 10.51% con respecto a la carga máxima de utilización de la eslinga.

A.3 Cálculos fijaciones

- Resistencia a cortante

$$F_{V,Rd} = \frac{0.6 * f_{ub} * A}{\gamma_{Mb}}$$

GRADO	DIAMETRO DEL TORNILLO (mm)						
	12	14	16	20	22	24	27
4.6	21,71	29,55	38,60	60,32	72,98	86,86	109,93
5.6	27,14	36,95	48,25	75,40	91,23	108,57	137,41
6.8	32,57	44,33	57,90	90,48	109,48	130,28	164,89
8.8	43,43	59,11	77,21	120,64	145,97	173,72	219,86
10.9	54,28	73,89	96,50	150,80	182,46	217,14	274,82

Ilustración 39.- Resistencia a cortante en kN de tornillos usuales

- Resistencia a aplastamiento

$$F_{b,Rd} = \frac{2.5 * \alpha * f_{ub} * d * t}{\gamma_{Mb}}$$

DIÁMETROS	DISTANCIAS MÍNIMAS (mm)					RESISTENCIA PARA ACEROS		
	d_0	e_1	e_2	p_1	p_2	S 235	S 275	S 355
12	13	25	20	40	40	55,38	66,15	78,46
14	15	30	25	45	45	67,20	80,27	95,20
16	17	35	25	50	50	79,06	94,43	112,0
20	21	40	30	65	65	91,43	109,21	129,52
22	23	50	35	75	75	114,78	137,10	162,61
24	26	50	40	80	80	120,0	143,33	170,0
27	29	60	45	90	90	134,07	160,14	189,93

Ilustración 40.- Resistencia a aplastamiento en kN para chapas de espesor 10mm

Las poleas van montadas en ejes de diametro 20mm o con cuatro tornillos de diametro 18mm anclados en el soporte. Para el soporte, el fabricante establece la carga máxima 1000kg, siendo está muy superior a nuestra carga, en la que el esfuerzo cortante es la suma del peso de la polea (6,1kg) más la presión ejercida por el cable debido a la tensión de este (calculada en el anexo A.1 de 2940N).

$$\text{Carga a cortante} = 2940\text{N} + 6,1\text{kg} * 9,8\text{m/s}^2 = 2999,78\text{N}$$

Por lo tanto, para el eje de diametro 20mm la resistencia debe ser mayor a 2999,78N, el grado de calidad puede ser 4,6.

En cuanto a las varillas de diametro 16mm que unen las placas de contrapeso con el sistema, suponiendo el caso más desfavorable de que utilizamos todo el contrapeso (300kg).

$$\text{Carga a cortante} = 300\text{kg} * 9,8\text{m/s}^2 = 2940\text{N}$$

La resistencia debe ser mayor a 2940N, el grado de calidad al igual que en el caso anterior puede ser 4,6.

Anexo B. Medidas elementos normalizados

Poleas de carga RBZ- 3064003

Descripción del producto

Polea de acero con soporte para transmisión automática y manual

Características:

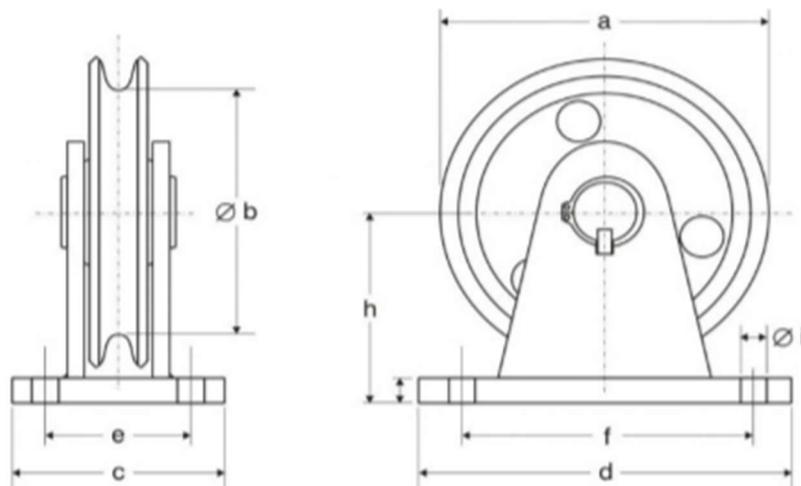
Adecuadas para transmisión mecánica y manual.

Sin mantenimiento.

Soporte de acero.

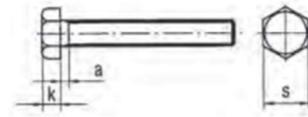
Rodamientos lubricados.

CARACTERÍSTICAS	
Código	3064003
EAN	8717365025631
Modelo	RBZ-1.5
Capacidad (kg)	1000
Diámetro cable (mm)	8 - 10
A (mm)	235
B (mm)	200
C (mm)	108
D (mm)	187
E (mm)	70
F (mm)	150
G (mm)	20
H (mm)	138
I (mm)	18
Peso (kg)	10.6



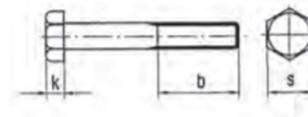
DIN 933-961-931-960

	M 2	M 3	M 4	M 5	M 6	M 7	M 8	M 10
$S_{DIN/ISO}$	4	5,5	7	8	10	11	13	17 / 16
k	1,4	2	2,8	3,5	4	4,8	5,3	6,4
a_{max}	1,2	1,5	2,1	2,4	3	3	3,75	4,5
b_1	10	12	14	16	18	20	22	26
b_2	-	-	-	22	24	26	28	32
b_3	-	-	-	-	-	-	-	45



DIN 933-961

	M 12	M 14	M 16	M 18	M 20	M 22	M 24	M 27
$S_{DIN/ISO}$	19/18	22 / 21	24	27	30	32 / 34	36	41
k	7,5	8,8	10	11,5	12,5	14	15	17
a_{max}	5,25	6	6	7,5	7,5	7,5	9	9
b_1	30	34	38	42	46	50	54	60
b_2	36	40	44	48	52	56	60	66
b_3	49	53	57	61	65	69	73	79



DIN 931-960

	M 30	M 33	M 36	M 39	M 42	M 45	M 48
$S_{DIN/ISO}$	46	50	55	60	65	70	75
k	18,7	21	22,5	25	26	28	30
a_{max}	10,5	10,5	12	12	13,5	13,5	15
b_1	66	72	78	84	90	96	102
b_2	72	78	84	90	69	102	108
b_3	85	91	97	103	109	115	121



b_1) Para $L \leq 125$ mm.
 b_2) Para 125 mm $< L \leq 200$ mm
 b_3) Para $L > 200$ mm.

DIN 934

	M 1	M 1,2	M 1,4	M 1,6	M 1,7*	M 2	M 2,3*	M 2,5
$m_{DIN/ISO}$	0,8	1	1,2	1,3	1,4	1,6	1,8	2
$S_{DIN/ISO}$	2,5	3	3	3,2	3,5	4	4,5	5

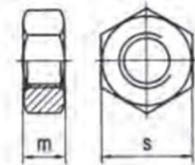
	M 2,6	M 3	M 3,5	M 4	M 5	M 6	M 7	M 8
$m_{DIN/ISO}$	2	2,4	2,8	3,2	4/4,47	5/5,2	5,5	6,5/6,8
$S_{DIN/ISO}$	5	5,5	6	7	8	10	11	13

	M 10	M 12	M 14	M 16	M 18	M 20	M 22	M 24
$m_{DIN/ISO}$	8/8,4	10/10,8	11/12,8	13/14,8	15/15,8	16/18	18/19,4	19/21,5
$S_{DIN/ISO}$	17/16	19/18	22/21	24	27	30	32/34	36

	M 26*	M 27	M 30	M 33	M 36	M 39	M 42	M 45
$m_{DIN/ISO}$	22	22/23,8	24/25,6	26/28,7	29/31	31/33,4	34	36
$S_{DIN/ISO}$	41	41	46	50	55	60	65	70

	M 48	M 52	M 56	M 60	M 64	M 68	M 72	M 76
$m_{DIN/ISO}$	38	42	45	48	51	54	58	61
$S_{DIN/ISO}$	75	80	85	90	95	100	105	110

	M 80	M 85	M 90	M 95*	M 100	M 105	M 110	M 2,5
$m_{DIN/ISO}$	64	68	72	75	80	82	88	95
$S_{DIN/ISO}$	115	120	130	135	145	150	155	175



DIN 125 arandelas planas

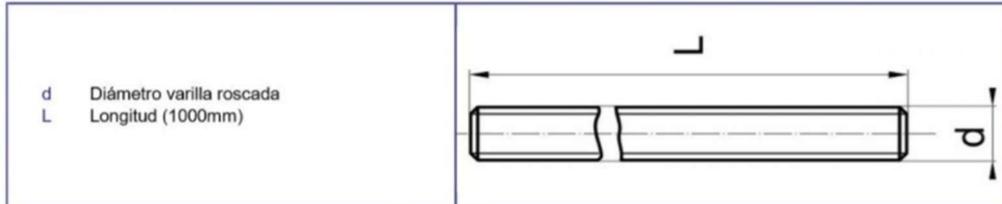


Ref.	Para tornillos	d1	d2	s
0514300	M - 3	3,2	7	0,5
0504301	M - 4	4,3	9	0,8
0504302	M - 5	5,3	10	1
0504303	M - 6	6,4	12	1,6
0504304	M - 7	7,4	14	1,6
0504305	M - 8	8,4	16	1,6
0504306	M - 10	10,5	20	2
0504307	M - 12	13	24	2,5
0504308	M - 14	15	28	2,5
0504309	M - 16	17	30	3
0504310	M - 18	19	34	3
0504311	M - 20	21	37	3
0504312	M - 22	23	39	3
0504313	M - 24	25	44	4
0504314	M - 27	28	50	4
0504315	M - 30	31	56	4
0504316	M - 32	33	56	5
0504317	M - 33	34	60	5
0504318	M - 35	36	66	5
0504319	M - 36	37	66	5
0504321	M - 39	42	72	6
0504322	M - 40	40	72	6
0504323	M - 42	43	78	8
0504324	M - 45	48	85	8
0504325	M - 48	50	92	8
0504326	M - 50	52	92	8
0504327	M - 52	54	98	8

VARILLA ROSCADA 1000mm DIN-975 | MÉTRICO

Acero inoxidable - AISI 304

Clase 70

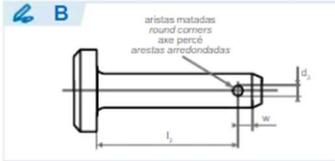
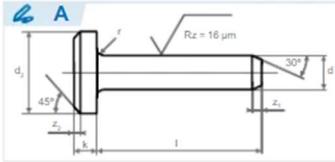


d Diámetro varilla roscada
L Longitud (1000mm)

Cotas en milímetros (mm)

d	M2	M2.5	M3	M4	M5	M6	M8	M10	M12	M14
paso	0,4	0,45	0,5	0,7	0,8	1	1,25	1,5	1,75	2
d	M16	M18	M20	M22	M24	M27	M30	M33	M36	M39
paso	2	2,5	2,5	2,5	3	3	3,5	3,5	4	4
d	M42	M45	M48							
paso	4,5	4,5	5							

DIN 1444



Perno con cabeza
 Clevis pins with head
 Boulon à clavette
 Cavilha com cabeça

Material: 9SMnPb28K
 Material: 9SMnPb28K
 Matière: 9SMnPb28K
 Material: 9SMnPb28K

Tolerancia: h11
 Tolerance: h11
 Tolérance: h11
 Tolerância: h11

Forma A y B
 Type A & B
 Forme A et B
 Forma A e B

d	h11	3	4	5	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24
d ₂	h14	5	6	8	10	14	18	20	22	25	28	30	33	36
d ₃	H13	0,8	1	1,2	1,6	2	3,2	3,2	4	4	5	5	5	6,3
k	js14	1	1	1,6	2	3	4	4	4	4,5	5	5	5,5	6
r		0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	1	1	1	1
w		1,6	2,2	2,9	3,2	3,5	4,5	5,5	6	6	7	8	8	9
z ₁	max	1	1	2	2	2	2	3	3	3	3	4	4	4
z ₂	=	0,5	0,5	1	1	1	1	1,6	1,6	1,6	1,6	2	2	2
l	js15	06	08	10	12	16	20	25	30	35	40	40	45	50
		08	10	12	14	• 18	• 22	• 28	35	40	45	45	50	55
		10	12	14	16	20	25	30	40	45	50	50	55	60
		12	14	16	• 18	• 22	• 28	35	45	50	55	55	60	65
		14	16	• 18	20	25	30	40	50	55	60	60	65	70
		16	• 18	20	• 22	• 28	35	45	55	60	65	65	70	75
		• 18	20	• 22	25	30	40	50	60	65	70	70	75	80
		20	• 22	25	• 28	35	45	55	65	70	75	75	80	85
		• 22	25	• 28	30	40	50	60	70	75	80	80	85	90
		25	• 28	30	35	45	55	65	75	80	85	85	90	• 95
		• 28	30	35	40	50	60	70	80	85	90	90	• 95	100
		30	35	40	45	55	65	75	85	90	• 95	• 95	100	
		40	45	50	60	70	80	90	• 95	100	100			