ANEXO 1: CÁLCULOS

ANCURA DE LONA

DATOS:

h= 450mm

L_{poleas}= 1050mm

$D_{eje\text{-}inicial}$ = 60mm

$$\frac{Ancho\ Lona}{2} = \sqrt{h^2 + \text{Lpoleas}^2}$$

$$\frac{Ancho\ Lona}{2} = \sqrt{450^2 + 1050^2}$$

$$\frac{Ancho\ Lona}{2} = 1142.36\ [mm]$$

$$Ancho\ Lona = 2284.73\ [mm]$$

LONGITUD DE LA LONA Y DIÁMETRO TOTAL ENROLLADA

Partiendo de este punto se realizarán cálculos para conocer el diámetro, perímetro y longitud de lona tras una revolución del eje. Estos cálculos serán los siguientes:

D_{eje}= $D_{inicial}$ + $2e_{Lona}$ = 50+12·2 =74mm

El espesor de la lona multiplica por dos (solo en el primer cálculo) debido a que al eje se le debe sumar una primera vuelta de la lona, cuando esta finaliza, lo hace sobre si misma, por lo que el espesor será dos veces mayor. En las siguientes iteraciones de este cálculo no se multiplicará por dos el espesor, debido que el espesor solo aumentará una vez (insertar dibujo).

L_{lona+} =L_{lona} – P = 5000-188.49 = 4811.5mm

A cada vuelta que dé el eje, la lona se irá enrollando en él, haciéndose esta más corta a medida que aumenta el diámetro y el perímetro del eje.

P+ = D_{eje} · π

Dicho esto y tras realizarse los cállculos en una tabla de Excel se obtiene un diámetro de 216mm. La conclusión de este primer caso es que para una lona de 5m el mayor diámetro que se consigue al enrollarla a un eje de 60mm, es D=216mm.

Tras esta iteración se consigue reducir el diámetro a 204mm. Siendo el diámetro del eje de 204mm (radio de 102mm) y estando situado a 150mm de la caja, se obtiene una distancia de menos de 5cm desde la caja a la lona enrollada (48mm de distancia entre la caja y la lona), por lo que no se tratará de reducir más el tamaño de la lona ni la distancia entre el eje y la caja, por lo que se llega a la conclusión de que la longitud de la lona será de 4350mm.

SISTEMA DE TENSADO DE LA CORREA

1. SEMEJANZA DE TRIÁNGULOS Y PERÍMETRO

   En este punto se mostrarán el triángulo formado en el punto inicial y final del recorrido del pistón y se calculará su perímetro para comprobar que es igual en ambos casos.

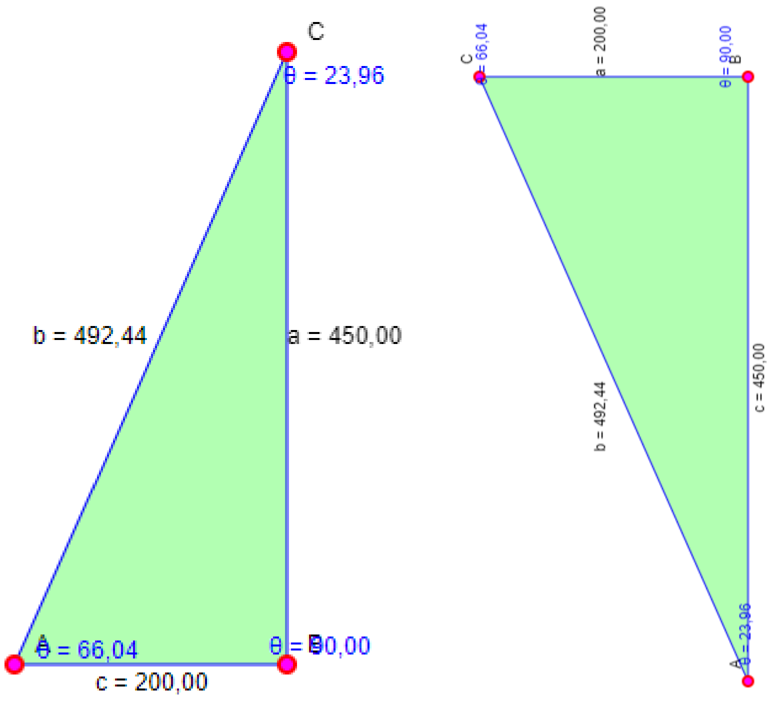


Imagen 18: Semejanza de triángulos formados por el eje y las poleas del cilindro.

Para la representación de los triángulos se ha utilizado una página web (https://www.micalculadora.net/matematicas/triangulo-area-lado-anguloe) para obtener la representación de estos con todos sus valores para que se pueda ver a simple vista que ambos triángulos son semejantes. Tras esto se realizarán los cálculos necesarios para obtener el perímetro de estos, pero se calcularán solo una vez ya que, al tener ambos los mismos datos iniciales, los resultados serán los mismos.

Los cálculos para conocer tanto los ángulos como todos los lados del triángulo son los siguientes:

DATOS:

TRIÁNGULOS INICIAL Y FINAL	
LADOS	
A	450.0
B	200.0
C	

ANGULOS	
α	
β	
μ	90.0

CÁLCULOS:

Conocidos los dos catetos del triángulo rectángulo, se procede a calcular la hipotenusa mediante el teorema de Pitágoras.

$$A^2 + B^2 = C^2$$

$$\sqrt{200^2 + 450^2} = \mathrm{C}$$

$$C = 492.44\ [mm]$$

Conocida la longitud de los tres lados, se calcula el perímetro de este triángulo:

$$P = A + B + C$$

$$P = 200 + 450 + 492.44$$

$$P = 1142.44\ [mm]$$

Aunque no sea necesario para este punto, para poder dimensionar la correa será necesario conocer el valor de los tres ángulos de los triángulos, por lo que a continuación estos serán calculados.

Para obtener el valor de los ángulos, se hace uso de las fórmulas trigonométricas necesarias:

$$\sin\beta = \frac{CO}{H} = \frac{B}{C}$$

$$\beta = \sin^{-1}(\frac{B}{C})$$

$$\beta = \sin^{-1}(\frac{200}{492.44})$$
$$\beta = 23.96º$$

Conociendo dos de los tres ángulos y sabiendo que la suma de los tres ángulos de un triángulo siempre da como resultado 180º se calcula el ángulo α.

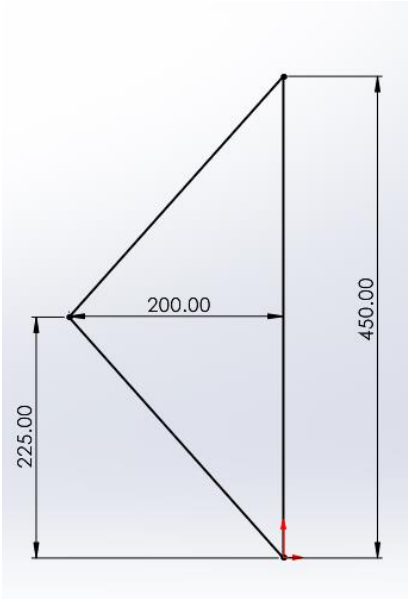
$$180 = \alpha + \beta + \mu$$
$$180 - \beta - \mu = \alpha$$
$$\alpha = 180 - 23.96 - 90$$
$$\alpha = 66.04º$$

De esta forma obtenemos todos los datos tanto del triángulo inicial como del triángulo final.

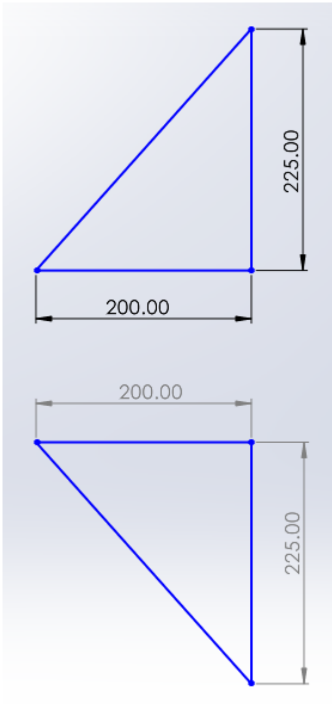
CASO INICIAL	
LADOS	
A	450.00
B	200.00
C	492.44
ANGULOS	
α	66.04
β	23.96
μ	90.00
Perimetro	1142.44

2. CÁLCULO DE TRIÁNGULO INTERMEDIO

Una vez calculado el perímetro de los triángulos inicial y final, se pasa a calcular el perímetro del triángulo intermedio que se forma en cuando el cilindro oleohidráulico se encuentra en el punto medio de su recorrido. Al ser los triángulos inicial y final equivalentes entre sí, el triángulo intermedio será un triángulo isósceles.



Al tratarse de un triángulo isósceles, este se puede dividir en dos triángulos rectángulos semejantes.



Tras observar ambas imágenes, obtenemos que simplemente conociendo la hipotenusa de uno de los dos triángulos rectángulos podemos conocer el perímetro del triángulo total, ya que al tratarse de un triángulo isósceles, ambos vértices serán iguales. Aun así, y al igual que en el caso anterior, se obtendrán también los perímetros exteriores para el posterior dimensionamiento de la polea.

A continuación se encuentran los datos iniciales y todos los cálculos necesarios para obtener el perímetro del triángulo total:

DATOS:

CASO INTERMEDIO	
LADOS	
A	450.00
B	
C	
ANGULOS	
α	
β	
μ	
Perimetro	
Subtriangulos	
α/2	
β i μ	
σ	90.00
A	225.00
B i C	
h	200.00

Partiendo de estos datos, al igual que en los caso anteriores, se utilizan los dos catetos de los triángulos rectángulos (llamados subtriángulos en la tabla) para obtener la hipotenusa, la cual es el lado B y C del triángulo total.

$$A^2 + h = B^2 = C^2$$

$$\sqrt{200^2 + 225^2} = \mathrm{B} = \mathrm{C}$$

$$B = C = 301.04\ [mm]$$

Conocido el valor de A, B y C se calcula el perímetro del triángulo total.

$$P = A + B + C$$

$$P = 200 + 301.04 + 301.04$$

$$P = 1052.08\ [mm]$$

Conocido el perímetro, se realizan los cálculos para obtener el valor de los ángulos que forma el triángulo.

Al igual que en el caso anterior, se calcularán los ángulos β y μ (ya que ambos son iguales) mediante la fórmula del seno para posteriormente obtener el valor de α/2 restando el valor de los ángulos conocidos a 180.

$$\beta = \mu$$

$$\sin\beta = \frac{CO}{H} = \frac{h}{B}$$

$$\beta = \sin^{-1}(\frac{h}{B})$$

$$\beta = \sin^{-1}(\frac{200}{301.04})$$

$$\beta = \mu = 41.63º$$

$$180 = \frac{\alpha}{2} + \beta + \mu$$

$$180 - \beta - \mu = \frac{\alpha}{2}$$

$$\frac{\alpha}{2} = 180 - 41.63 - 90$$

$$\frac{\alpha}{2} = 48.37º$$

$$\alpha = 48.37 \times 2$$

$$\alpha = 96.73º$$

Debido a que los cálculos se han realizado mediante un Excel se pueden apreciar errores de cálculo debido al redondeo de las cifras.

CASO INTERMEDIO	
LADOS	
A	450.00
B	301.04
C	301.04
ANGULOS	
α	96.73
β	41.63
µ	41.63
Perimetro	1052.08
Subtriangulos	
α/2	48.37
β i µ	41.63
σ	90.00
A	225.00
B i C	301.04
h	200.00

3. SOLUCIÓN AL PROBLEMA DEL TENSOR

DATOS PARA LOS CÁLCULOS:

Perímetro de ambos triángulos = 1052.08mm

TRIÁNGULO INICIAL/FINAL:

Lado A < 450mm

Lado B = 200mm

Lado C < 492.44mm

μ = 90º

TRIÁNGULO INTERMEDIO:

Lado A = 450mm

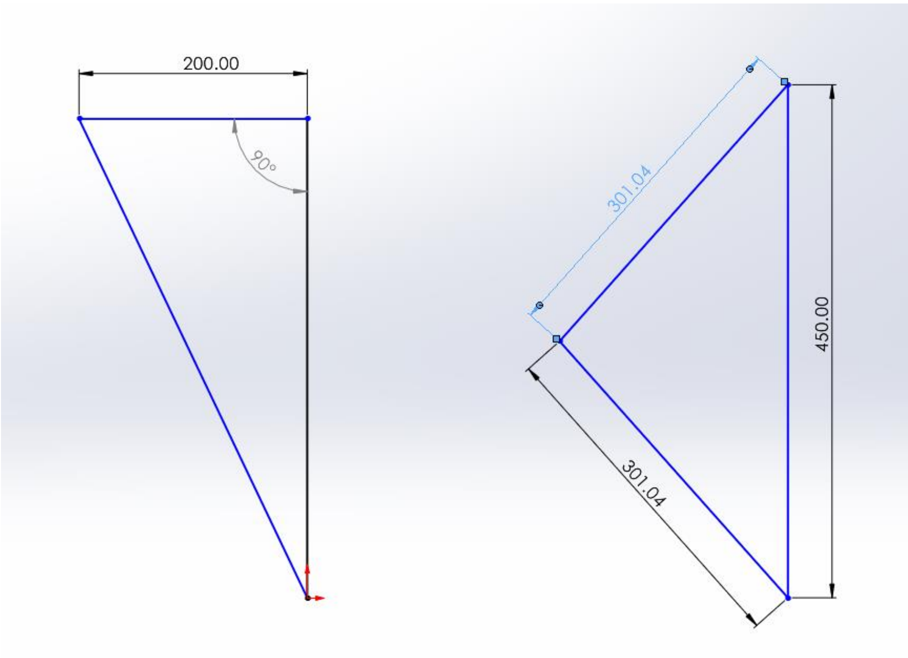
Lado B = 301.04mm

Lado C = 301.04mm

α = 96.73º

β = 41.63º

μ = 41.63º



Siendo el perímetro de los dos tríangulos 1052.08mm, se puede afirmar que:

$$1052.08 = 200 + A + C$$

$$A = 1052.08 - 200 - C$$

$$A = 852.08 - C$$

Conocido el valor de A en función de C, se puede calcular C mediante el teorema de Pitágoras, teniendo C como una incógnita a resolver:

$$C = \sqrt{A^2 + B^2}$$
$$C = \sqrt{(852.08 - C)^2 + 200^2}$$
$$C = \sqrt{C^2 - 2 \times 852.08C + 726040.33 + 4 \times 10^4}$$
$$C = \sqrt{C^2 - 1704.16C + 766040.3}$$
$$C^2 = C^2 - 1704.16C + 766040.33$$
$$1704.16C = 766040.33$$
$$C = \frac{766040.33}{1704.16}$$
$$C = 449.51\ [mm]$$

Conociendo C se procede a calcular A:

$$1052.08 = 200 + A + C$$
$$A = 1502.08 - 200 - 449.51$$
$$A = 402.57\ [mm]$$

Sabiendo los valores de los tres lados del triángulo, se calcularán los ángulos para poder obtener la longitud de la correa en un futuro.

$$\sin \beta = \frac{CO}{H} = \frac{B}{C}$$
$$\beta = \sin^{-1}(\frac{B}{C})$$
$$\beta = \sin^{-1}(\frac{200}{449.51})$$
$$\beta = 26.41º$$

$$180 = \alpha + \beta + \mu$$
$$\alpha = 180 - \beta - \mu$$
$$\alpha = 180 - 26.41 - 90$$
$$\alpha = 63.59º$$

Conocidos tanto el lado A del triángulo inicial (Ain) como el del triángulo intermedio (A_{inter}), se puede calcular el desplazamiento del tensor para así poder realizar el rediseño del cabezal del pistón delantero.

$$Desplazamiento\ Tensor = Ainter - Ain$$
$$Desplazamiento\ Tensor = 450 - 402.57$$
$$Desplazamiento\ Tensor = 47.43\ [mm]$$

Conocido el desplazamiento del tensor se procede a rediseñar el cabezal del cilindro delantero

CÁLCULO DE LOS CILINDROS OLEOHIDRÁULICOS

Datos iniciales:

Carrera del cilindro (C) = 500mm

Tiempo (t) = 3s

Masa total a elevar (Mt) = 62kg

Rentimiento total (Rt) =0.7

Rendimiento mecánico (Rm) : 0.8

Rentimiento volumétrico (Rv) = 0.9

Con estos datos se procede a la realización de los cálculos.

Velocidad

$$v = \frac{C}{t}$$

$$v = \frac{500}{3} = 166.6\, mm/s = 0.166\, m/s$$

Potencia desarrollada

$$Na = \frac{v \cdot F}{Rtot} = \frac{v \cdot (Mt \cdot g)}{Rtot}$$

$$Na = \frac{v \cdot Mt \cdot g}{Rtot} = 114.04\, W$$

Diámetro

Primero se calcula la superficie. Los cálculos se realizarán teniendo en cuenta que se cuenta con cuatro pistones para levantar la carga. Como no conoce la presión que ejercerá la carga se realizarán varios cálculos variando la presión entre tres valores distintos (60bar, 100bar, 200bar).

$$S = \frac{F}{4 \cdot p} = \frac{Mt \cdot g}{4 \cdot p} = \frac{62 \cdot 9.81}{4 \cdot p}$$

P = 60bar S = 2.53 cm3

P = 100bar S = 1.52 cm3

$\mathrm{P} = 200\mathrm{bar} \qquad \mathrm{S} = 0.76\ \mathrm{cm3}$

$$\textit{Conocida la sección se calcula el diámetro}$$

$$D = \sqrt{= \frac{S \cdot 4}{\pi} =}$$

$\mathrm{P} = 60\mathrm{bar} \qquad \mathrm{D} = 1.79\mathrm{cm}$

$\mathrm{P} = 100\mathrm{bar} \qquad \mathrm{D} = 1.39\mathrm{cm}$

$\mathrm{P} = 200\mathrm{bar} \qquad \mathrm{D} = 0.98\ \mathrm{cm}$

Visto la ridícula cantidad de potencia necesaria para elevar el cilindro, así como el reducido diámetro necesario, se ha llegado a la conclusión de no seguir realizando los cálculos ya que nuestro tractor puede elevar la carga necesaria sin ninguna duda, debido al estudio d este y a los ridículos valores obtenidos de los cálculos. A continuación se va a buscar un cilindro normalizado que cumpla con la carrera de 0.5m y tenga el diámetro más reducido posible.

Tras una búsqueda se ha llegado a la conclusión de utilizar el cilindro oleohidráulico de la marca Bastimec modelo S.E.25-32/40-500.

Sus datos son los siguientes:

Vástago : Ø25 mm. (D).

Tubo lapeado : Ø Interior 32mm (B) x Ø Exterior 40mm (C).

Carrera : 500 mm. (C).

Especificaciones técnicas:

Presión de trabajo : 200 bars.

Velocidad : 0.5 mt/seg.

Temperatura de trabajo : -25º / +80º.

Fluido : Aceite mineral.

Vástago: Ck45 f7 25 micras.

Tubo lapeado: St52.3 H9.

Con los datos del cilindro, la carga que debe elevar y la información sobre la bomba y el tractor, se procede a calcular los valores reales de funcionamiento del cilindro oleohidráulico.

Velocidad

$$v = \frac{Q}{S}$$

La **sección (S)** se calcula a partir de:

$$S = \frac{\pi \cdot D^2}{4}$$

Ajustando las unidades obtenemos que:

$$S = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot 100 \cdot 4\ Cilindros = 32.17\text{cm2}$$

Se calcula la velocidad ajustando la fórmula para que cuadren las unidades:

$$v = \frac{36 * 10}{32.17} = 11.19\ m/\min = 0.19\ m/s$$

Tiempo de despliegue

$$t = \frac{C}{v}$$

$$t = \frac{500/1000}{0.19} = 2.68s$$

Presión

$$p = \frac{F}{S}$$

$$p = \frac{62}{32.17} = 1.927\ bar$$

Potencia

$$Na = \frac{Q \cdot p}{450 \cdot Rm}$$

$$Na = \frac{36 \cdot 1.93}{450 \cdot 0.8} = 0.171\ CV$$

Cubicaje de la bomba

$$Vb = \frac{Q \cdot n}{1000 \cdot Rv}$$

$$Vb = \frac{36 \cdot 1297.5}{450 \cdot 0.9} = 24.97cm3$$

Una vez calculados todos los parámetros importantes se concluye en que la bomba instalada consigue hacer funcionar los cilindros de manera óptima, minimizando el tiempo de despliegue de 3s a 2.7s.

CÁLCULO DEL MOTOR OLEOHIDRÁULICO

DATOS:

Masa eje (Me)= 60kg

Masa lona (Ml) = 10kg

Masa total (Mt) = 70kg

Diámetro eje (D) = 50mm

Carrera lona (C) = 4m

Tiempo (t)= 3s

Revoluciones del eje para enrollar la lona REV = 12

Velocidad angular del eje

Mediante una operación simple se obtiene que:

w= 60·$REVSt$

w= 60·123=240 rpm=25.13 rad/s

Debido a que estas revoluciones son un valor bastante bajo, se realizarán varios cálculos, unos con un coeficiente de transmisión entre el eje y el motor igual a 1, y otro con este mismo coeficiente igual a 2.

Torque

El cálculo del torque necesario se realiza para el caso más desfavorable. Este es cuando la lona está enrollada y por tanto el diámetro es mayor.

Debido a la diferencia de peso y diámetros del eje y de la lona, se calcularán dos momentos distintos y se sumarán según material y diámetro. Sabiendo que la potencia es suficiente para generar un momento superior al que va a necesitar el sistema, se utilizará un factor de seguridad (μs) de 1.5 y se calcularán los momentos colocando la masa en el punto más alejado, para sobredimensionar aún más el sistema y así asegurar un buen funcionamiento de este.

$$T=F\cdot r$$

$$T=(Teje+ Tlona)\cdot \mu s=(Feje\cdot r\ eje+Tlona\cdot r\ lona)\cdot \mu s$$

$$T=60\cdot 9.8\cdot 0.025+10\cdot 9.8\cdot 0.102\cdot 1.5= 37.07 \text{ Nm}$$

Potencia

$$Nb = T \cdot w$$

Debido a que según nuestros cálculos la velocidad angular del motor debe ser 240rpm para que la lona se desplace a la velocidad deseada, se realizarán dos cálculos distintos, unos con una relación de transmisión entre el eje y el motor de 1 y otros con una relación de 2.

$$Nb=T\cdot w\cdot z$$

$$Nb=37.07\cdot 240\cdot 1 =931.67\ W= 1.25\ CV$$

$$Nc=37.07\cdot 240\cdot 2 =1863.34\ W=2.5\ CV$$

A sabiendas de estos datos así como los de la bomba, se puede pasar a buscar un motor oleohidráulico que pueda cumplir con estos datos.

Selección del motor oleohidráulico

Tras una búsqueda en internet se ha seleccionado el motor Kratch KM2/28 con una relación de transmisión z=2 entre el eje y el motor. A continuación se listan los datos técnicos del motor para seguidamente realizar la selección del motor oleohidráulico mediante el uso de tablas y fórmulas de los catálogos tanto del motor como de la bomba oleohidráulica..

Nombre del motor: KRACHT KM2/28

Tipo de motor: Motor de engranajes bidireccional

Cilindrada: 28cm3

Presión nominal máxima: 315bar

Presión nominal mínima: 0

Torque máxima: 130 bar

Torque mínima: 7.5 bar

Velocidad angular máxima: 2980 rpm

Velocidad angular mínima: 300 rpm

Conocidos los datos del motor oleohidráulico, se comprueba mediante las tablas y las fórmulas del motor y de la bomba. E**n la tabla ¡!** se explica el proceso a seguir para obtener todos los datos necesarios del rendimiento del motor: caudal, presión, torque y velocidad angular.

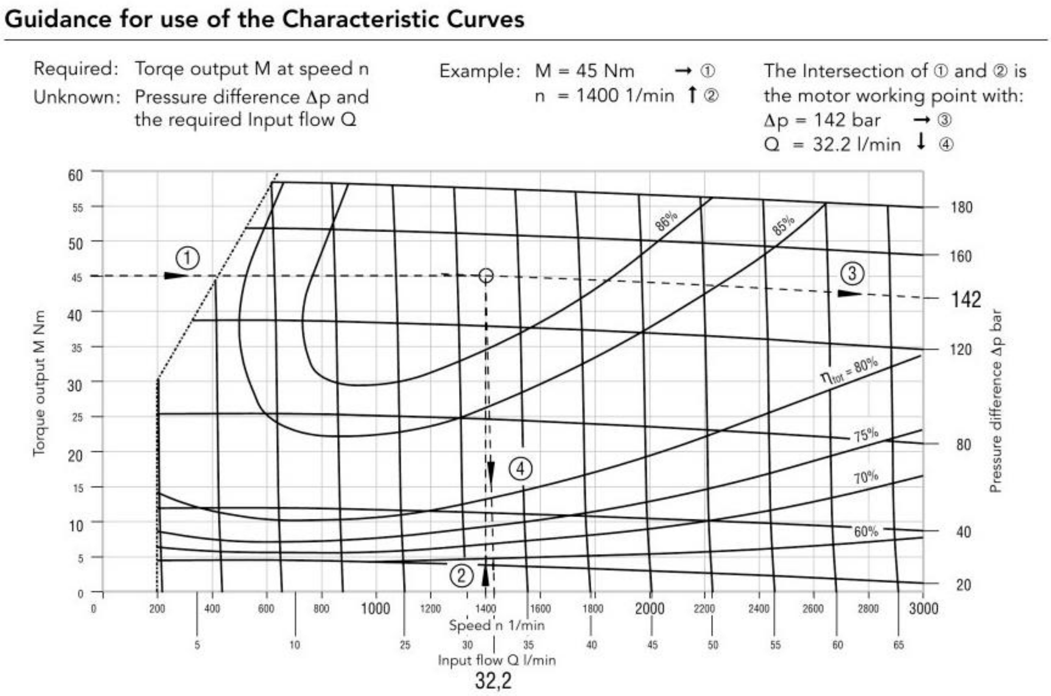


Imagen 21: Pasos a seguir para la obtención del motor.

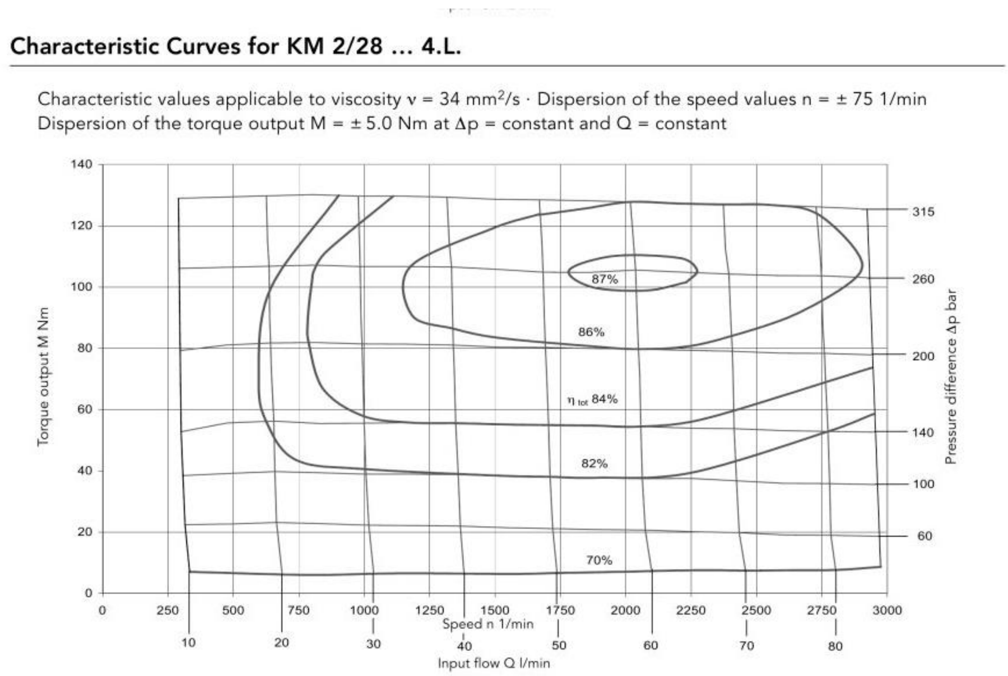
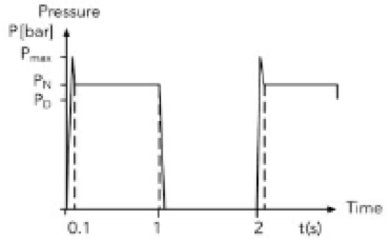


Imagen 22: Gráfico del motor seleccionado.

Siguiendo las instrucciones de obtención de los datos tal y como aparece en el catálogo se obtiene que para un par de 40Nm a 480rpm se obtienen un caudal de unos 15 l/min y una presión aproximada de 100 bar. Para la obtención de los datos precisos se realizarán los cálculos siguiendo las fórmulas del catálogo las cuales se muestran a continuación

Cálculos del motor siguiendo las fórmulas del catálogo

Time / Pressure chart



Maximum pressure ≙ pressure peak
Rated pressure p_N < 6s ≙ 50 % ED
see time / pressure chart
max. perm. working cycles: 30/min
Pressures as specified are applicable
to $\nu \geq 30\ mm^2/s$

Calculation Formulas for Hydraulic Pumps and Motors

Characteristic data, formula signs, units

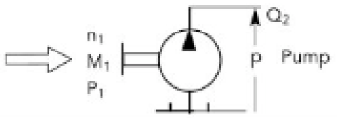
1.	Discharge flow / input flow	Q	l/min
2.	Pump / motor displacement	V_g	cm^3/r
3.	Pressure	p	bar
4.	Speed	n	1/min
5.	Torque	M	Nm
6.	Power	P	kW
7.	Total efficiency	η_{tot}	—
8.	Volumetric efficiency	η_{vol}	—
9.	Hydr./mech. efficiency	η_{hm}	—
10.	Flow velocity	v	m/s
11.	Piping diameter	d	mm

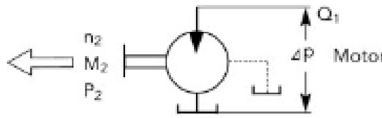
General

1 ≙ input, driven
2 ≙ output, driving

$Q_{th} = V_g \cdot n,\ \ \eta_{tot} = \eta_{vol} \cdot \eta_{hm}$

$M = 9549 \cdot \frac{P}{n},\ \ v = 21.22\ \frac{Q}{d^2}$





Characteristic data for:		Pump		Motor	
Volumetric flow	Discharge flow	$Q_2 = \frac{V_g \cdot n_1 \cdot \eta_{vol}}{10^3}\ \left[\frac{l}{min}\right]$	Input flow	$Q_1 = \frac{V_g \cdot n_2}{10^3 \cdot \eta_{vol}}\ \left[\frac{l}{min}\right]$	
Torque	Drive torque	$M_1 = \frac{p \cdot V_g}{20 \cdot \pi \cdot \eta_{hm}}$ [Nm]	Output torque	$M_2 = \frac{\Delta p \cdot V_g \cdot \eta_{hm}}{20 \cdot \pi}$ [Nm]	
Power	Input power	$P_1 = \frac{p \cdot Q_2}{600 \cdot \eta_{tot}}$ [kW]	Output power	$P_2 = \frac{\Delta p \cdot Q_1 \cdot \eta_{tot}}{600}$ [kW]	

Imagen 23: Fórmulas obtenidas del catálogo del motor.

Caudal

$$Q = \frac{28 \cdot 480}{1000 \cdot 0.9} = 16.8\ l/min$$

Presión

Ya que nuestro torque ha de ser 37.07 Nm, de la fórmula del torque se despeja y obtiene la presión del sistema a nuestro par seleccionado.

$$p = \frac{T \cdot 20\pi}{V \cdot Rm}$$

$$p = \frac{T \cdot 20\pi}{V \cdot Rm} = \frac{37.07 \cdot 20\pi}{28 \cdot 0.8} = 97.86\ bar$$

Potencia

$$Nc = \frac{p \cdot Q \cdot Rtot}{600}$$

$$Nc = \frac{97.86 \cdot 16.8 \cdot 0.7}{600} = 1.91\ kW$$

Una vez calculado el motor se obtiene que para poder mover el toldo a 480rpm y en un tiempo de 3s será necesario que el motor ofrezca 1.91kW de potencia a una presión de 97.86 bar y con un caudal de 16.8 l/min.

Comprobación de la bomba oleohidráulica

Una vez conocidos los datos del motor se comprueba si la bomba del tractor es capaz de ofrecer dichos parámetros al motor oleohidráulico. Para ello contamos con la tabla de la bomba y con las fórmulas de esta.

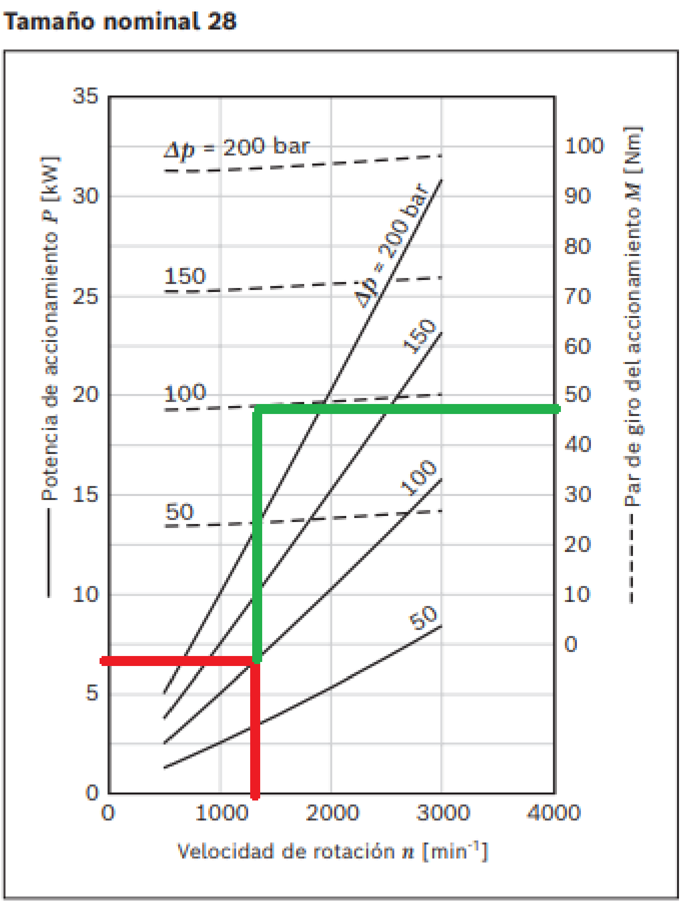


Imagen 24: Gráfica de la bomba del tractor.

De la tabla obtenemos que para una velocidad de 1300rpm y 100 bar la potencia será de 7kW y el torque de casi 50Nm. Aunque estos valores son válidos para hacer funcionar el sistema de toldo automático, a continuación se obtendrán estos mismos valores a partir de las fórmulas para así conocer el valor exacto de cada uno.

Cálculo de las magnitudes		
Caudal	$q_v = \dfrac{V_g \times n \times \eta_v}{1000}$	[l/min]
Torque	$M = \dfrac{V_g \times \Delta p}{20 \times \pi \times \eta_{hm}}$	[Nm]
Potencia	$P = \dfrac{2\pi \times M \times n}{60000} = \dfrac{q_v \times \Delta p}{600 \times \eta_t}$	[kW]

Leyenda

V_g	Cilindrada por rotación [cm^3]
Δp	Presión diferencial [bar]
n	Velocidad de rotación [min^{-1}]
η_v	Rendimiento volumétrico
η_{hm}	Rendimiento hidráulico-mecánico
η_t	Rendimiento total ($\eta_t = \eta_v \cdot \eta_{hm}$)

Imagen 25: Fórmulas de la bomba obtenidas del catálogo

$$\text{Caudal}$$

$$Q = \frac{28 \cdot 1297.5 \cdot 0.9}{1000} = 32.7\ l/min$$

$$\text{Torque}$$

$$T = \frac{28 \cdot 97.86}{20\pi \cdot 0.8} = 54.51\ Nm$$

$$\text{Potencia}$$

$$Nc = \frac{97.86 \cdot 32.7}{600 \cdot 0.7} = 7.61\ kW$$

Una vez calculada nuestra bomba obtenemos que con el tractor al relantí (bomba a 1297.5rpm) la bomba es capaz de generar la potencia, torque y caudal suficiente para alimentar el motor. El único problema que encontramos es que el caudal suministrado es prácticamente el doble que el necesario para la bomba. Para ello se hará uso del regulador de caudal del tractor para que lo limite a 17 l/min para que este sea siempre un poco superior al necesario.