

1. **MEMORIA DESCRIPTIVA:**

1.1 **OBJETO:**

El presente Proyecto Fin de Carrera recoge la documentación, al nivel de descripción y justificación de una Plataforma Elevadora Autopropulsada.

Por encargo del Departamento de Diseño de la E.S.I. de Sevilla, redacta el documento D.Francisco José Hinojosa Allely.

1.2 **DESCRIPCIÓN:**

1.2.1 **Plataforma o zona de trabajo:**

Descripción:

Se diseña una plataforma o zona de trabajo de $1,5\text{ m} \times 4\text{ m}$, para la realización de trabajos en altura, a diferentes cotas, de un espesor de 4 mm , dicha plataforma se diseña rigidizada tanto longitudinal, como transversalmente.

Dispondrá en su perímetro exterior de una barandilla de $1,10\text{ m}$, de altura, y de un rodapié de 20 cm y de 2 mm de espesor.

Las guías del apoyo móvil se disponen con un recorrido de 1 m .

Características:

Los datos de cálculo son:

- La resistencia a la tracción, del material de soldadura depositado, mayor de 42 kg/mm^2 .
- La plataforma está diseñada con un acero S-275, de densidad 7850 Kg/m^3 .
- Pesos de materiales: 600 kg .
- Carga por persona: 80 kg , a lo largo del perímetro cada $0,5\text{ m}$.

1.2.2 **Mecanismo de elevación:**

Descripción:

Se diseña un mecanismo 3-D, articulado “de tijeras” con simetría respecto al plano vertical longitudinal. Dicho mecanismo está formado por perfiles de sección rectangular $100\text{ mm} \times 200\text{ mm} \times 8\text{ mm}$, se encuentra articulado transversalmente por perfiles de sección circular de 6 mm de diámetro, el cilindro que acciona el mecanismo de elevación está apoyado en perfiles de sección circular de 11 cm , de diámetro.

El recorrido vertical de la plataforma es de $9,745\text{ m}$.

Características:

Los datos de cálculo son:

- La resistencia a la tracción, del material de soldadura depositado, mayor de 42 kg/mm^2 .
- El material de diseño es un acero S-275, de densidad 7850 Kg/m^3 .

1.2.3 Soporte y chasis:

Descripción:

El soporte está formado por un conjunto de perfiles de sección cuadrada $100 \text{ mm} \times 100 \text{ mm} \times 4 \text{ mm}$ excepto las dos transversales que son de $50 \text{ mm} \times 100 \text{ mm} \times 4 \text{ mm}$, el conjunto se apoya sobre el soporte, en su posición inferior de reposo, limitando el descenso de la misma, transmitiendo en dicha posición la carga al chasis, que a su vez, la transmite al terreno.

La cota mínima de la superficie transitable, de la plataforma móvil, es de $2,055 \text{ m}$.

El chasis está formado por perfiles de sección cuadrada $100 \text{ mm} \times 100 \text{ mm} \times 10 \text{ mm}$ sección sobre la cual van montadas las guías inferiores, y un entramado de sección rectangular $100 \text{ mm} \times 200 \text{ mm} \times 10 \text{ mm}$, que forma el resto de la estructura. El chasis dispone de 4 pistones para su enclavamiento, localizados en el extremo del mismo, a su vez dispone de una zona de $1,5 \text{ m} \times 0,55 \text{ m}$, resguardada en la que se situará los dispositivos de control hidráulico y eléctrico

Características:

Los datos de cálculo son:

- La resistencia a la tracción, del material de soldadura depositado, mayor de 42 kg/mm^2 .
- El material de diseño es un acero S-275, de densidad 7850 Kg/m^3 .

1.2.4 Mecanismo de dirección:

Descripción:

El mecanismo de dirección es un mecanismo de Ackerman, el cual a través de un movimiento lineal de un pistón se orientan las ruedas para describir giros.

Las barras que la componen son de diámetro de 6 y 8 cm .

Características:

Los datos de cálculo son:

- Para el mecanismo de dirección se emplea un acero S-355, de densidad 7850 Kg/m^3 .

1.2.5 Circuito hidráulico:

Descripción:

El circuito hidráulico gobernado por un circuito eléctrico, permite el enclavamiento de la maquinaria, elevación, detención y bajada de la plataforma de trabajo, desenclavamiento y así como el movimiento, dirección y parada del conjunto a lo largo de una superficie.

Características:

Los datos de cálculo son:

- Fluido incompresible.
- Pérdidas de carga a lo largo de los cilindros despreciable.
- Para el material de cálculo de cilindros, se toma un acero S-275, de densidad 7850 Kg/m³.

1.2.6 Circuito eléctrico:

Descripción:

El circuito eléctrico gobierna el funcionamiento, dispone de los subcircuitos de enclavamiento y desenclavamiento, subida, bajada y parada de la plataforma, orientación de las ruedas a izquierda o derecha, movimiento hacia adelante, atrás y freno.

- Se disponen de relés, que gobiernan el funcionamiento.

1.3 ANTECEDENTES:

Plataforma Elevadora Autopropulsada:

Características:

Las principales ventajas de una Plataforma Elevadora Autopropulsada “de Tijeras” son:

- Permite elevar personas, cargas o herramientas de forma segura a la altura deseada.
- Movilidad y maniobrabilidad en pasillos estrechos.
- Empleadas para mantenimiento, limpiezas y retirada de pequeños bultos en estanterías.
- Disponen de soporte regulables, que permiten la estabilidad en terrenos irregulares.

Evolución en España, de la maquinaria autopropulsada destinada al transporte de personas, materiales y/o cosas:

Es entre 1971 y 1979, cuando se desarrollan en España la fabricación de grúas telescópicas de camión, que alcanzaban alturas de más de 30 metros y elevaban cargas de 25 toneladas.



A partir de 1976 se desarrolla una nueva máquina de elevación, de transmisión hidrostática, conocidas como carretillas-grúas, en las que pluma podía ser fija o móvil, destinadas, para la manipulación de cargas en exteriores, en un principio industria, prefabricados de hormigón o puertos deportivos.



En 1980 se comienza la fabricación de plataformas aéreas sobre camión, las que se concibieron en un principio para equipos de extinción de incendio, desde cuya cesta se lanzaba agua o se encontraba el equipo de salvamento.



En 1989 se inicia la fabricación de otros equipos, tales como las plataformas autopropulsadas.



En 1995 entra en vigor la normativa de máquinas, y las empresas obtienen el certificado CE.

Plataforma Elevadora Autopropulsada de tijeras:

El presente proyecto tiene por objeto una plataforma elevadora del tipo Tijeras enfocado a las obras, mecanismos similares son en otros campos.

Plataforma Elevadora Autopropulsada



Estructura de Tijeras “portátil”



Elevadores para vehículos industriales



Elevadores sobre Land-Rover para cementerios

2. CÁLCULO DE LA ESTRUCTURA:

Combinaciones de carga y cálculos:

Se considera en general las distintas posibilidades de carga e hipótesis, que aparecen en la norma ISO 16369, salvo mención expresa a otras normativas.

La estructura de la carretilla elevadora se diseña de tal forma, que su resistencia sea satisfactoria en todas las condiciones previstas de funcionamiento.

2.1 Fuerzas y cargas consideradas:

2.1.1 Cargas de los elementos estructurales:

La plataforma está diseñada con un acero S-275, de densidad 7850 Kg/m^3 , tanto para la plataforma, como para la estructura articulada portante.

2.1.1 Cargas de uso, estimadas en el diseño:

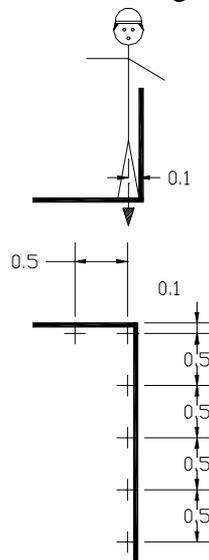
Las cargas de uso estimadas en el diseño se componen de:

- $m_p = 80 \text{ kg}$; peso de cada persona;
- $m_e = 40 \text{ kg}$; peso de equipamiento personal (solamente considerado, para las dos primeras personas, en la posición más desfavorable);
- $T = 600 \text{ kg}$, peso de materiales y equipación para trabajo en la plataforma de trabajo (excluido peso de equipamiento personal).

El peso de las personas y del equipamiento personal, así como el de los materiales y equipación para trabajo se considera actuando simultáneamente

El peso de equipamiento personal, m_e se asumirá que actuarán en aquellos puntos coincidentes con las dos personas que provoquen tensiones mayores.

Los puntos de aplicación de las cargas de las personas, se considerarán distanciados 0,5 metros unos de otros, todos ellos repartidos en el borde de la plataforma, y a 0,1 metros del borde dentro de la zona transitable, tal como se muestra en la figura.



En la normativa ISO 16369, se recoge que la carga T estará uniformemente distribuida sobre toda la plataforma principal, pero deja abierta la posibilidad de distribuir la carga de diferente manera, si de esa forma se producen tensiones mayores, en concreto se acude a la normativa UNE-EN 12159 de *Elevadores de obras de construcción para pasajeros y carga con caja guiada verticalmente*, en el que detalla la forma de considerar la carga de diseño.

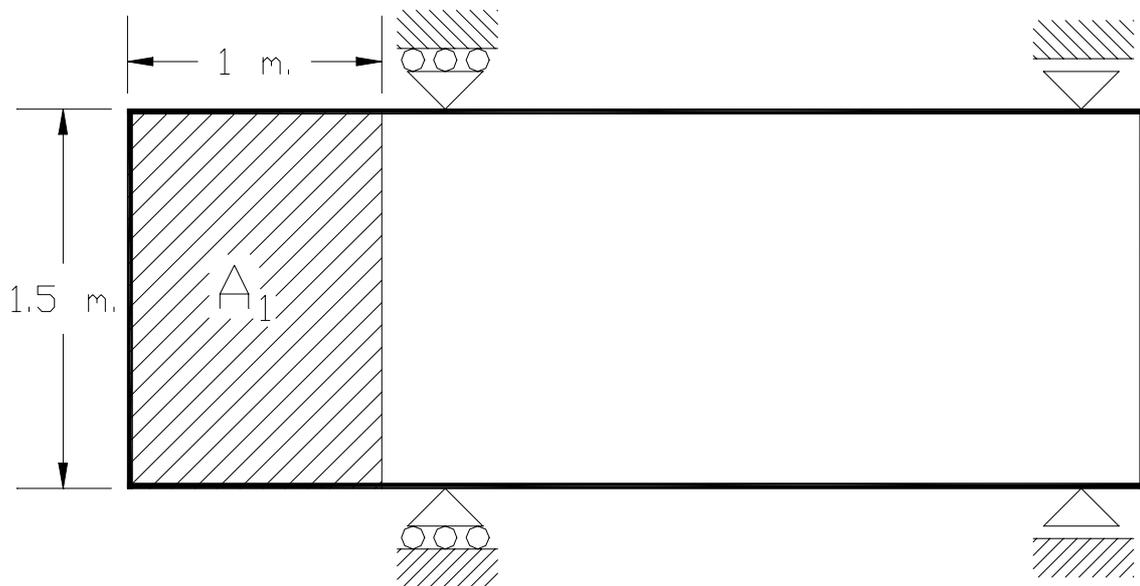
$$T = 600 \text{ kg} = 5,88 \text{ kN}$$

A = área total del piso [m^2].

$$\frac{T}{A \times 0,8} = 1,225 \text{ kN} / m^2 < 4,0 \text{ kN} / m^2$$

La carga nominal se distribuye tal como aparece en la figura en un área A_1 :

$$A_1 = T [kN] / 4 [kN/m^2] = 1,47 \text{ m}^2. \Rightarrow \text{Se toma } A_1 = 1,5 \text{ m}^2.$$



La carga superficial S_1 aplicada en esa área A_1 , será:

$$S_1 = T / A_1 = 5,88 \text{ kN} / 1,5 \text{ m}^2 = 3920 \text{ N} / m^2.$$

2.1.3 Fuerzas horizontales:

El valor de las fuerzas horizontales, que se asume es de 200 N, valor de las fuerzas para las dos primeras personas en las posiciones más desfavorables, para el resto de las personas adicionales es de 100 N.

Se asume que los puntos de aplicación, es de 1,1 metros sobre la planta de la plataforma de trabajo, en la dirección horizontal.

La dirección de las fuerzas horizontales, según apartado 5.1.5.1.3 de la citada norma ISO 16369:2000, para los cálculos es aquella que crea el mayor momento para el vuelco.

2.1.4 Fuerzas dinámicas:

La normativa ISO, recoge un factor para todas las cargas en movimiento de 1,15, para todas las masas en movimiento, no incluye las debidas a los movimientos verticales, de la plataforma de trabajo.

2.1.5 Solicitaciones debidas a los efectos climáticos:

Las sollicitaciones debidas a los efectos climáticos son las que resultan de la acción del viento, de las sobrecargas de la nieve y las producidas por cambios en la temperatura.

2.1.6 Viento en servicio:

El área ocupada por una persona será de $0,7 \text{ m}^2$ ($0,4 \text{ m}$ de ancho x $1,75 \text{ m}$ de altura), con el centro de masa aplicado a $1,1 \text{ m}$ de altura sobre la plataforma de trabajo.

El número de personas directamente expuestas al viento será la longitud de la plataforma de trabajo expuesta a la acción del viento redondeada al más cercano $0,5$ metros y dividido por $0,5$ metros, así en el presente caso se tiene $1,5$ metros, redondeado queda como $1,5$ metros y dividido queda $1,5/0,5 = 3$ personas directamente expuestas a la acción del viento.

Al ser el número de personas permitidas en la plataforma de trabajo mayor de 3, el resto se reduce con un coeficiente de $0,6$.

La acción del viento sobre el equipamiento y materiales, estará calculada como el 3% de la masa (T), actuando horizontalmente a una altura de $1,1$ metros.

Según normativa UNE-EN 12159, la presión aerodinámica viene dado por:

$$q = \frac{v^2}{1,6}$$

De la cual:

q = presión aerodinámica en N/m^2 .

v_w = velocidad del viento en m/s .

Según la citada norma, el valor mínimo, de la presión del viento será de $q = 250 \text{ N/m}^2$, que corresponde a una velocidad dinámica de 20 m/s .

El coeficiente aerodinámico será de $1,2$.

2.1.7 Viento fuera de servicio:

Es un viento fuerte o tempestad, para el cual la plataforma deberá permanecer estable, en las condiciones fuera de servicio.

A una altura del aparato le corresponde una presión de 800 N/m^2 , constante en toda su altura.

2.1.8 Sobrecarga de nieve:

En este tipo de aparatos, no se tienen en cuenta.

2.1.9 Variaciones por la temperatura:

No se tienen en cuenta, ya que en el presente caso los elementos pueden dilatarse libremente.

2.1.10 Solicitaciones debidas a los movimientos verticales:

Estas son ocasionadas por las oscilaciones debidas a aceleraciones o deceleraciones en el movimiento de elevación y del levantamiento más o menos brusco de la carga en servicio.

Se toma de UNE-EN 12159 *Elevadores de obras de construcción para pasajeros y carga con caja guiada verticalmente*, el factor de impacto $\mu=(1,1+0,264v)$ donde v es la velocidad nominal en m/s, en nuestro caso de 0,2 m/s.

Así se tiene:

$$\mu=1,1528.$$

Dicho factor multiplica a la fuerza de la gravedad, en los términos que impliquen movimiento de la plataforma de trabajo, en la subida y bajada de ésta.

2.1.11 Inclinación del chasis de la plataforma:

a) Inexactitudes y errores del montaje:

Se considera una inclinación de 0,5°, en la plataforma, por errores de montaje.

b) Máxima inclinación permitida por diseño:

La máxima inclinación del chasis definida en el presente proyecto será de 10°.

2.2 Combinaciones:

Combinación de carga A1: En servicio sin viento, caso estático.

Combinación de carga A2: En servicio sin viento, caso dinámico.

Combinación de carga B1: En servicio con viento, caso estático.

Combinación de carga B2: En servicio con viento, caso dinámico.

Combinación de carga B3: Cambio de posición en la vertical de la plataforma

Combinación de carga C1: Situación con carga de uso.

Combinación de carga C2: fuera de servicio.

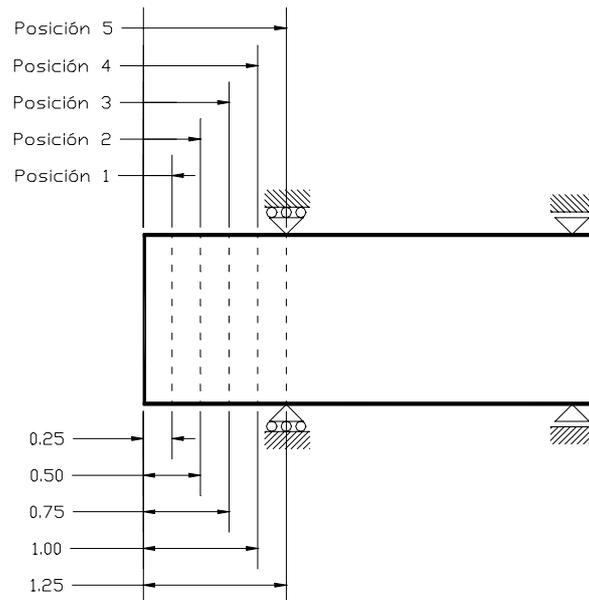
Cargas	Combinación de carga							
	A1	A2	B1	B2	B3	C1	C2	Coef
Carga de los elementos estructurales	X	X	X	X	X	X	X	1,1
Carga de uso	X	X	X	X		X		1,2
Fuerzas horizontales	X		X					1,2
Fuerzas dinámicas		X		X				1,2
Viento en servicio			X	X	X			1,2
Viento fuera de servicio							X	1,2
Producidas por movimientos verticales					X			1,2
Inexactitudes de montaje	X	X	X	X	X			1,2

Los coeficientes que se establecen en la normativa ISO, son:

Para aquellas cargas que producen un momento de vuelco se utiliza un coeficiente de 1,2, excepto las provocadas por la propia estructura, que será de 1,1.

Todas las cargas que provoquen un momento que estabilice la estructura, se verán afectada por un coeficiente de 1,0.

2.3 Posiciones consideradas:



2.4 Cálculo de la plataforma:

Se emplea un acero S275 (Fe430) de límite elástico $f_y=275 \text{ N/mm}^2=0,275 \cdot 10^9 \text{ Pa}$.

Para hallar la tensión admisible, se acude a la norma para obtener los coeficientes:

Caso de carga	Hipótesis A	Hipótesis B	Hipótesis C
Coeficiente de seguridad (S)	1,5	1,33	1,25
Acero	S275	S275	S275
$\sigma_{\text{admisible}}=\sigma_o$	183	206	220
$\tau_{\text{admisible}}=\sigma_o/\sqrt{3}$	106	119	127
Tabla válida hasta un espesor de 40 mm. $\sigma_o=f_y/S$.			

La tensión de Von Mises, es la que se compara con estos valores:

$$\sigma_{VM} = \left(\frac{1}{2} \left[(\sigma_I - \sigma_{II})^2 + (\sigma_{II} - \sigma_{III})^2 + (\sigma_{III} - \sigma_I)^2 \right] \right)^{1/2}$$
, En dicha expresión: σ_I , σ_{II} y σ_{III} son las tensiones principales.

Tanto la estructura de la plataforma como los rigidizadores transversales y longitudinal de la misma, tendrán un espesor de 4 mm, el rodapié se calcula con espesor de 2 mm, la estructura que forma la barandilla se calcula con perfiles huecos cuadrados (40 mm)x(40 mm)x(4 mm de espesor).

Se obtiene por ANSYS para cada caso, el punto de mayor tensión equivalente de Von Mises, en 10^9 Pa, que se refleja en la siguiente tabla:

CASO	A1	A2	B1	B2	B3	C1	C2
POSICIÓN 1	0.065	0.071	0.066	0.072	0,024	0,064	0,021
POSICIÓN 2	0.064	0.070	0.065	0.071	0,023	0,063	0,020
POSICIÓN 3	0.062	0.068	0.062	0.068	0,022	0,061	0,019
POSICIÓN 4	0.059	0.065	0.059	0.065	0,021	0,059	0,019
POSICIÓN 5	0.056	0.062	0.056	0.062	0,021	0,056	0,018
VALOR LÍMITE	0,183	0,183	0,206	0,206	0,206	0,220	0, 220

En ningún caso se sobrepasa el valor teórico, luego en tensiones, es admisible.

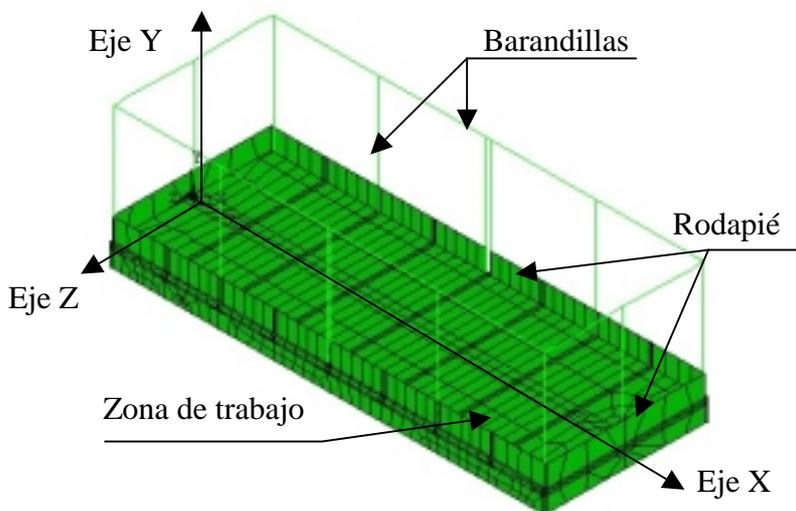


Figura. Vista Isométrica del mallado, parte superior de la plataforma.

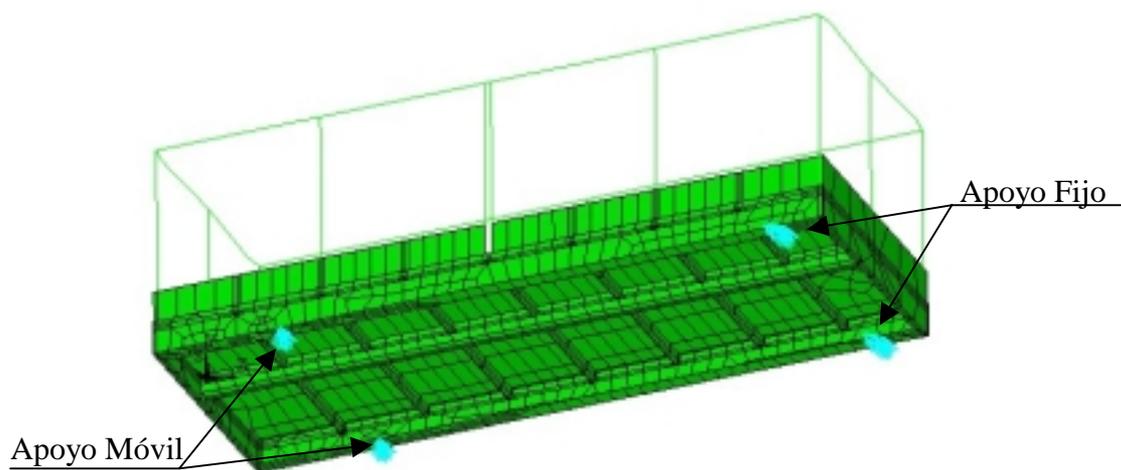


Figura. Vista Isométrica del mallado, parte inferior de la plataforma.

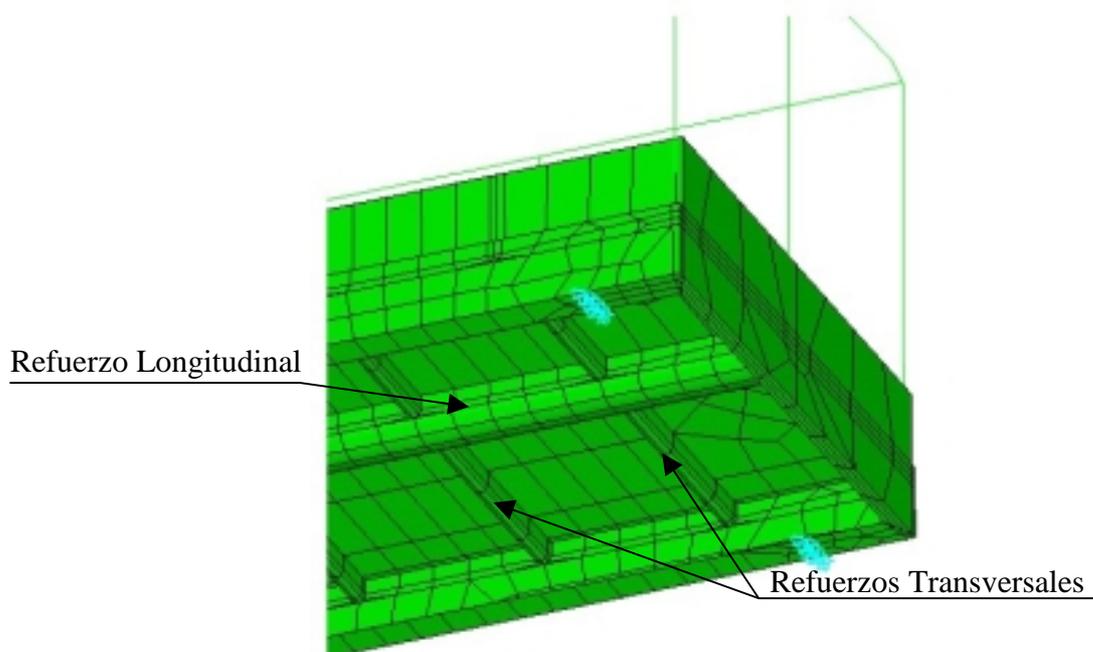


Figura. Vista Isométrica del mallado, detalle de mallado, de los refuerzos.

Las reacciones en los apoyos de la plataforma se muestran, en la siguiente tabla:

Hipótesis	Apoyo Móvil	Apoyo Fijo	
	Fy (N)	Fx (N)	Fy (N)
Posición 1			
A1	7657	1957	-774
A2	7752	665	-204
B1	8594	3940	-1711
B2	8689	2647	-1140
B3	2965	2503	-150
C1	6808	582	-31
C2	1818	1114	633
Posición 2			
A1	6961	1957	-78
A2	7047	665	501
B1	7813	3940	-930
B2	7899	2647	-351
B3	2696	2503	119
C1	6189	582	588
C2	1653	1114	799
Posición 3			
A1	6381	1957	502
A2	6460	665	1088
B1	7162	3940	-279
B2	7240	2647	308
B3	2471	2503	344
C1	5673	582	1104
C2	1515	1114	936
Posición 4			
A1	5890	1957	993
A2	5469	1957	1413
B1	6611	3939	272
B2	6684	2647	865
B3	2281	2503	534
C1	5237	582	1540
C2	1399	1114	1053
Posición 5			
A1	5963	665	1585
A2	5537	665	2011
B1	6139	3940	744
B2	6206	2647	1342
B3	2118	2503	697
C1	4863	582	1914
C2	1299	1114	1153

2.5 Verificación de los elementos sometidos a abolladura de la plataforma:

Se comprueba en el rodapié y en la base de la plataforma:

Símbolos:

e Espesor.

b Ancho o dimensión de la chapa plana, entre centro de rigidizadores en el sentido perpendicular a los esfuerzos de compresión.

a Dimensión de chapa plana, entre centro de rigidizadores en dirección perpendicular a la dimensión b, al haber en la base de la chapa varios valores posibles de a y b, en la base se toma la relación más desfavorable, desde el punto de vista de la comprobación a abolladura.

α Relación entre a y b, $\alpha=a/b$.

E Módulo de Young, (para el acero $E= 2,1 \cdot 10^{11} \text{ Kg/m}^2$).

ν Coeficiente de Poisson, $\nu =0,3$.

σ_R^E Tensión de referencia de Euler: $\sigma_R^E = \frac{\pi^2 E}{12(1-\nu^2)} \cdot \left(\frac{e}{b}\right)^2$

σ_1 Tensión principal de valor más alto de la chapa.

σ_2 Tensión principal de valor más bajo de la chapa.

ν_V Coeficiente de seguridad para la tensión crítica de abolladura, es función de la relación de borde (ψ).

Coeficientes de seguridad ν_V		
CASO A	CASO B	CASO C
$1,71+0,18 \cdot (\psi-1)$	$1,5+0,125 \cdot (\psi-1)$	$1,33+0,075 \cdot (\psi-1)$

σ_{cr}^V Tensión crítica de abolladura, para el caso de compresión:

$$\sigma_{cr}^V = k_\sigma \sigma_R^E$$

τ_{cr}^V Tensión crítica de abolladura, para el caso de cortadura:

$$\tau_{cr}^V = k_\tau \sigma_R^E$$

$\sigma_{cr,c}^V$ Tensión crítica de comparación, para el caso de compresión y cortadura:

$$\sigma_{cr,c}^V = \frac{\sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2}}{\frac{1+\psi}{4} \frac{\sigma}{\sigma_{cr}^V} + \sqrt{\left(\frac{3-\psi}{4} \frac{\sigma}{\sigma_{cr}^V}\right)^2 + \left(\frac{\tau}{\tau_{cr}^V}\right)^2}}$$

σ_{vk} Tensión reducida de abolladura:

Si $\sigma_{cr,c}^V < 0,7 \cdot fy = 192500000 \text{ N/m}^2$. $\sigma_{vk} = \sigma_{cr,c}^V$

Si $\sigma_{cr,c}^V > 0,7 \cdot fy$ $\sigma_{vk} = fy \sqrt[4]{1 - 0,461(\sigma_{cr,c}^V / fy)^{1,4}}$

En la comprobación de abolladura, se debe verificar:

$$\frac{\sigma_{vk}}{v_V} > \sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2}$$

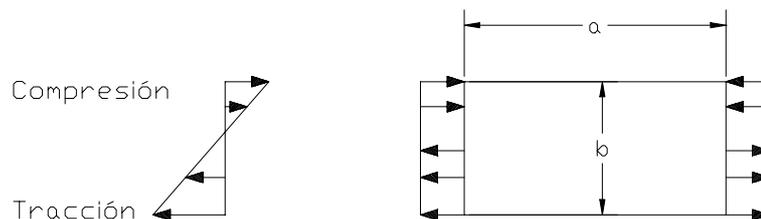
ψ Relación de tensión de borde $-1 < \psi = \frac{\sigma_1}{\sigma_2} < -1$

k_σ y k_τ Coeficientes de abolladura, dependen de la relación $\alpha=a/b$, del tipo de apoyo, sobre los bordes, del tipo de sollicitación y refuerzos de la placa por rigidizadores.

Si $\alpha \geq 1$ $k_\tau = 5,34 + \frac{4}{\alpha^2}$

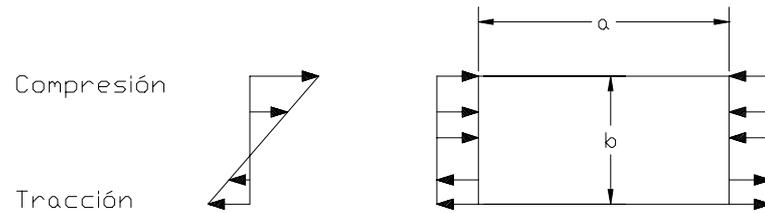
Si $\alpha < 1$ $k_\tau = 4 + \frac{5,34}{\alpha^2}$

Caso de flexión pura $\psi=-1$, o flexión con tracción dominante:



$\alpha \geq 2/3$ $k_\sigma = 23,9$

$\alpha < 2/3$ $k_\sigma = 15,87 + \frac{1,87}{\alpha^2} + 8,6 \cdot \alpha^2$

Caso con $-1 < \psi < 0$, o flexión con compresión dominante:

$$k_{\sigma} = (1 + \psi) \kappa' - \psi \kappa'' + 10\psi(1 + \psi)$$

de donde:

$$\text{Si } \alpha \geq 1 \quad \kappa' = 7,6364$$

$$\text{Si } \alpha < 1 \quad \kappa' = 1,91 \cdot (\alpha + 0,5)^2$$

$\kappa'' = k_{\sigma}$ del caso de flexión pura.

Datos base:

Espesor (e) = 4 mm.

a = 0,5 m.

b = 0,69 m.

Datos rodapié:

Espesor (e) = 2 mm.

a = 1 m.

b = 0,2 m.

Caso de carga	A1	A1	A1	A1	A1
Posición	1	2	3	4	5
α (m) de la base	0,725				
α (m) rodapié	5				
σ_R^E (N/m ²) base	6378494,8				
σ_R^E (N/m ²) rodapié	18980008,5				
σ_1 (N/m ²) base	5,653·10 ⁷	5,314·10 ⁷	5,007·10 ⁷	4,724·10 ⁷	4,480·10 ⁷
σ_1 (N/m ²) rodapié	1,77·10 ⁷	1,58·10 ⁷	1,28·10 ⁷	1,25·10 ⁷	1,21·10 ⁷
σ_2 (N/m ²) base	-6,37·10 ⁷	-6,21·10 ⁷	-5,93·10 ⁷	-5,61·10 ⁷	-5,28·10 ⁷
σ_2 (N/m ²) rodapié	-1,3·10 ⁷	-1,29·10 ⁷	-1,27·10 ⁷	-1,24·10 ⁷	-1,22·10 ⁷
$\psi = \sigma_1 / \sigma_2$ base	-0,887	-0,856	-0,845	-0,842	-0,848
$\psi = \sigma_1 / \sigma_2$ rodapié	-1	-1	-1	-1	-0,991
k_σ base	20,52	19,64	19,33	19,25	19,41
k_σ rodapié	23,9	23,9	23,9	23,9	23,61
k_τ base	12,96	12,96	12,96	12,96	12,96
k_τ rodapié	4,21	4,21	4,21	4,21	4,21
$\sigma_{cr}^V = k_\sigma \sigma_R^E$ base (N/m ²)	1,31·10 ⁸	1,27·10 ⁸	1,23·10 ⁸	1,23·10 ⁸	1,24·10 ⁸
$\sigma_{cr}^V = k_\sigma \sigma_R^E$ rodapié (N/m ²)	4,54·10 ⁸	4,54·10 ⁸	4,54·10 ⁸	4,54·10 ⁸	4,48·10 ⁸
u_V base	1,37	1,38	1,38	1,38	1,38
u_V rodapié	1,35	1,35	1,35	1,35	1,35
$\sigma_{cr,c}^V$ (N/m ²) base	1,31·10 ⁸	1,26·10 ⁸	1,24·10 ⁸	1,24·10 ⁸	1,25·10 ⁸
$\sigma_{cr,c}^V$ (N/m ²) rodapié	2,1·10 ⁸	2,71·10 ⁸	2,88·10 ⁸	2,95·10 ⁸	2,82·10 ⁸
σ_{vk} (N/m ²) base	1,31·10 ⁸	1,26·10 ⁸	1,24·10 ⁸	1,24·10 ⁸	1,25·10 ⁸
σ_{vk} (N/m ²) rodapié	2,08·10 ⁸	2,34·10 ⁸	2,39·10 ⁸	2,40·10 ⁸	2,37·10 ⁸
σ_{vk} / u_V base	9,6·10 ⁷	9,2·10 ⁷	9,01·10 ⁷	8,98·10 ⁷	9,06·10 ⁷
σ_{vk} / u_V rodapié	1,54·10 ⁸	1,74·10 ⁸	1,77·10 ⁸	1,78·10 ⁸	1,76·10 ⁸
σ base	6,37·10 ⁷	6,21·10 ⁷	5,93·10 ⁷	5,61·10 ⁷	5,28·10 ⁷
σ rodapié	1,3·10 ⁷	1,29·10 ⁷	1,27·10 ⁷	1,24·10 ⁷	1,22·10 ⁷
τ base	9,8·10 ⁶	8,71·10 ⁶	8,59·10 ⁶	8,49·10 ⁶	8,38·10 ⁶
τ rodapié	5,8·10 ⁶	3,55·10 ⁶	3,11·10 ⁶	2,90·10 ⁶	3,09·10 ⁶
$\sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2}$ base	6,6·10 ⁷	6,4·10 ⁷	6,11·10 ⁷	5,80·10 ⁷	5,48·10 ⁷
$\sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2}$ rodapié	1,64·10 ⁷	1,43·10 ⁷	1,38·10 ⁷	1,34·10 ⁷	1,33·10 ⁷
$\sigma_{vk} / u_V > \sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2}$ base	SÍ	SÍ	SÍ	SÍ	SÍ
$\sigma_{vk} / u_V > \sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2}$ rodapié	SÍ	SÍ	SÍ	SÍ	SÍ

Caso de carga	A2	A2	A2	A2	A2
Posición	1	2	3	4	5
α (m) de la base	0,725				
α (m) rodapié	5				
σ_R^E (N/m ²) base	6378494,8				
σ_R^E (N/m ²) rodapié	18980008,5				
σ_1 (N/m ²) base	6,141·10 ⁷	5,798·10 ⁷	5,491·10 ⁷	3,111·10 ⁷	4,961·10 ⁷
σ_1 (N/m ²) rodapié	1,84·10 ⁷	1,79·10 ⁷	1,14·10 ⁷	6,77·10 ⁶	6,95·10 ⁶
σ_2 (N/m ²) base	-6,93·10 ⁷	-6,79·10 ⁷	-6,51·10 ⁷	-6,19·10 ⁷	-5,86·10 ⁷
σ_2 (N/m ²) rodapié	-1,2·10 ⁷	-1,22·10 ⁷	-1,22·10 ⁷	-4,47·10 ⁷	-1,16·10 ⁷
$\psi = \sigma_1 / \sigma_2$ base	-0,887	-0,854	-0,844	-0,503	-0,846
$\psi = \sigma_1 / \sigma_2$ rodapié	-1	-1,00	-0,93	-1,00	-0,60
k_σ base	20,51	19,59	19,30	10,94	19,37
k_σ rodapié	23,9	23,90	21,84	23,90	13,12
k_τ base	12,96	12,96	12,96	12,96	12,96
k_τ rodapié	4,21	4,21	4,21	4,21	4,21
$\sigma_{cr}^V = k_\sigma \sigma_R^E$ base (N/m ²)	1,31·10 ⁸	1,25·10 ⁸	1,23·10 ⁸	6,98·10 ⁷	1,24·10 ⁷
$\sigma_{cr}^V = k_\sigma \sigma_R^E$ rodapié (N/m ²)	4,54·10 ⁸	4,54·10 ⁸	4,15·10 ⁸	4,54·10 ⁸	2,49·10 ⁸
u_V base	1,37	1,38	1,38	1,44	1,38
u_V rodapié	1,35	1,35	1,36	1,35	1,42
$\sigma_{cr,c}^V$ (N/m ²) base	1,31·10 ⁸	1,26·10 ⁸	1,24·10 ⁸	8,62·10 ⁷	1,25·10 ⁷
$\sigma_{cr,c}^V$ (N/m ²) rodapié	2,2·10 ⁸	2,63·10 ⁸	2,48·10 ⁸	1,47·10 ⁸	2,10·10 ⁸
σ_{vk} (N/m ²) base	1,31·10 ⁸	1,26·10 ⁸	1,24·10 ⁸	8,62·10 ⁷	1,25·10 ⁷
σ_{vk} (N/m ²) rodapié	2,15·10 ⁸	2,32·10 ⁸	2,27·10 ⁸	1,47·10 ⁸	2,08·10 ⁸
σ_{vk} / u_V base	9,6·10 ⁷	9,13·10 ⁷	9,00·10 ⁷	5,99·10 ⁷	9,04·10 ⁷
σ_{vk} / u_V rodapié	1,59·10 ⁸	1,72·10 ⁸	1,67·10 ⁸	1,09·10 ⁸	1,46·10 ⁸
σ base	6,93·10 ⁷	6,79·10 ⁷	6,51·10 ⁷	6,19·10 ⁷	5,86·10 ⁷
σ rodapié	1,2·10 ⁷	1,22·10 ⁷	1,22·10 ⁷	0,45·10 ⁷	1,16·10 ⁷
τ base	1,03·10 ⁷	9,66·10 ⁶	9,55·10 ⁶	3,38·10 ⁶	9,34·10 ⁶
τ rodapié	4,91·10 ⁶	3,54·10 ⁶	3,79·10 ⁶	6,88·10 ⁶	2,89·10 ⁶
$\sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2}$ base	7,15·10 ⁷	6,99·10 ⁷	6,71·10 ⁷	8,51·10 ⁷	6,08·10 ⁷
$\sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2}$ rodapié	1,47·10 ⁷	1,36·10 ⁷	1,39·10 ⁷	1,27·10 ⁷	1,26·10 ⁷
$\sigma_{vk} / u_V > \sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2}$ base	SÍ	SÍ	SÍ	SÍ	SÍ
$\sigma_{vk} / u_V > \sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2}$ rodapié	SÍ	SÍ	SÍ	SÍ	SÍ

Caso de carga	B1	B1	B1	B1	B1
Posición	1	2	3	4	5
α (m) de la base	0,725				
α (m) rodapié	5				
σ_R^E (N/m ²) base	6378494,8				
σ_R^E (N/m ²) rodapié	18980008,5				
σ_1 (N/m ²) base	5,729·10 ⁷	5,346·10 ⁷	4,996·10 ⁷	4,675·10 ⁷	4,398·10 ⁷
σ_1 (N/m ²) rodapié	2,10·10 ⁷	2,03·10 ⁷	1,44·10 ⁷	1,35·10 ⁷	1,32·10 ⁷
σ_2 (N/m ²) base	-6,45·10 ⁷	-6,29·10 ⁷	-5,97·10 ⁷	-5,61·10 ⁷	-5,24·10 ⁷
σ_2 (N/m ²) rodapié	-1,42·10 ⁷	-1,41·10 ⁷	-1,39·10 ⁷	-1,38·10 ⁷	-1,42·10 ⁷
$\psi = \sigma_1 / \sigma_2$ base	-0,889	-0,850	-0,837	-0,833	-0,839
$\psi = \sigma_1 / \sigma_2$ rodapié	-1,00	-1,00	-1,00	-0,98	-0,93
k_σ base	20,57	19,46	19,10	19,00	19,16
k_σ rodapié	23,90	23,90	23,90	23,34	21,71
k_τ base	12,96	12,96	12,96	12,96	12,96
k_τ rodapié	4,21	4,21	4,21	4,21	4,21
$\sigma_{cr}^V = k_\sigma \sigma_R^E$ base (N/m ²)	1,31·10 ⁸	1,24·10 ⁸	1,22·10 ⁸	1,21·10 ⁸	1,22·10 ⁸
$\sigma_{cr}^V = k_\sigma \sigma_R^E$ rodapié (N/m ²)	4,54·10 ⁸	4,54·10 ⁸	4,54·10 ⁸	4,43·10 ⁸	4,12·10 ⁸
u_V base	1,26	1,27	1,27	1,27	1,27
u_V rodapié	1,25	1,25	1,25	1,25	1,26
$\sigma_{cr,c}^V$ (N/m ²) base	1,32·10 ⁸	1,25·10 ⁸	1,23·10 ⁸	1,22·10 ⁸	1,23·10 ⁸
$\sigma_{cr,c}^V$ (N/m ²) rodapié	1,93·10 ⁸	2,34·10 ⁸	2,78·10 ⁸	2,76·10 ⁸	2,57·10 ⁸
σ_{vk} (N/m ²) base	1,32·10 ⁸	1,25·10 ⁸	1,23·10 ⁸	1,22·10 ⁸	1,23·10 ⁸
σ_{vk} (N/m ²) rodapié	1,93·10 ⁸	2,22·10 ⁸	2,36·10 ⁸	2,36·10 ⁸	2,31·10 ⁸
σ_{vk} / u_V base	1,04·10 ⁸	9,84·10 ⁷	9,67·10 ⁷	9,62·10 ⁷	9,70·10 ⁷
σ_{vk} / u_V rodapié	1,55·10 ⁸	1,77·10 ⁸	1,89·10 ⁸	1,88·10 ⁸	1,83·10 ⁸
σ base	6,45·10 ⁷	6,29·10 ⁷	5,97·10 ⁷	5,61·10 ⁷	5,24·10 ⁷
σ rodapié	1,42·10 ⁷	1,41·10 ⁷	1,39·10 ⁷	1,38·10 ⁷	1,42·10 ⁷
τ base	1,06·10 ⁷	8,74·10 ⁶	9,14·10 ⁶	8,48·10 ⁶	8,35·10 ⁶
τ rodapié	7,65·10 ⁶	5,14·10 ⁶	3,65·10 ⁶	3,61·10 ⁶	4,06·10 ⁶
$\sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2}$ base	6,70·10 ⁷	6,47·10 ⁷	6,18·10 ⁷	5,80·10 ⁷	5,44·10 ⁷
$\sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2}$ rodapié	1,94·10 ⁷	1,67·10 ⁷	1,53·10 ⁷	1,51·10 ⁷	1,58·10 ⁷
$\sigma_{vk} / u_V > \sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2}$ base	SÍ	SÍ	SÍ	SÍ	SÍ
$\sigma_{vk} / u_V > \sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2}$ rodapié	SÍ	SÍ	SÍ	SÍ	SÍ

Caso de carga	B2	B2	B2	B2	B2
Posición	1	2	3	4	5
α (m) de la base	0,725				
α (m) rodapié	5				
σ_R^E (N/m ²) base	6378494,8				
σ_R^E (N/m ²) rodapié	18980008,5				
σ_1 (N/m ²) base	6,217·10 ⁷	5,830·10 ⁷	5,480·10 ⁷	5,157·10 ⁷	4,878·10 ⁷
σ_1 (N/m ²) rodapié	2,06·10 ⁷	1,86·10 ⁷	1,23·10 ⁷	8,93·10 ⁶	8,31·10 ⁶
σ_2 (N/m ²) base	-7,00·10 ⁷	-6,87·10 ⁷	-6,55·10 ⁷	-6,19·10 ⁷	-5,82·10 ⁷
σ_2 (N/m ²) rodapié	-1,30·10 ⁷	-1,32·10 ⁷	-1,33·10 ⁷	-1,31·10 ⁷	-1,25·10 ⁷
$\psi = \sigma_1 / \sigma_2$ base	-0,888	-0,848	-0,837	-0,833	-0,838
$\psi = \sigma_1 / \sigma_2$ rodapié	-1,00	-1,00	-0,93	-0,68	-0,64
k_σ base	20,55	19,42	19,09	19,00	19,14
k_σ rodapié	23,90	23,90	21,70	15,08	14,09
k_τ base	12,96	12,96	12,96	12,96	12,96
k_τ rodapié	4,21	4,21	4,21	4,21	4,21
$\sigma_{cr}^V = k_\sigma \sigma_R^E$ base (N/m ²)	1,31·10 ⁸	1,24·10 ⁸	1,22·10 ⁸	1,21·10 ⁸	1,22·10 ⁸
$\sigma_{cr}^V = k_\sigma \sigma_R^E$ rodapié (N/m ²)	4,54·10 ⁸	4,54·10 ⁸	4,12·10 ⁸	2,86·10 ⁸	2,68·10 ⁸
u_V base	1,26	1,27	1,27	1,27	1,27
u_V rodapié	1,25	1,25	1,26	1,29	1,29
$\sigma_{cr,c}^V$ (N/m ²) base	1,32·10 ⁸	1,25·10 ⁸	1,23·10 ⁸	1,22·10 ⁸	1,23·10 ⁸
$\sigma_{cr,c}^V$ (N/m ²) rodapié	1,97·10 ⁸	2,51·10 ⁸	2,68·10 ⁸	2,26·10 ⁸	2,12·10 ⁸
σ_{vk} (N/m ²) base	1,32·10 ⁸	1,25·10 ⁸	1,23·10 ⁸	1,22·10 ⁸	1,23·10 ⁸
σ_{vk} (N/m ²) rodapié	1,97·10 ⁸	2,28·10 ⁸	2,34·10 ⁸	2,18·10 ⁸	2,09·10 ⁸
σ_{vk} / u_V base	1,04·10 ⁸	9,82·10 ⁷	9,66·10 ⁷	9,61·10 ⁷	9,69·10 ⁷
σ_{vk} / u_V rodapié	1,58·10 ⁸	1,83·10 ⁸	1,86·10 ⁸	1,69·10 ⁸	1,62·10 ⁸
σ base	7,00·10 ⁷	6,87·10 ⁷	6,55·10 ⁷	6,19·10 ⁷	5,82·10 ⁷
σ rodapié	1,30·10 ⁷	1,32·10 ⁷	1,33·10 ⁷	1,31·10 ⁷	1,25·10 ⁷
τ base	1,11·10 ⁷	9,70·10 ⁶	9,56·10 ⁶	9,44·10 ⁶	9,31·10 ⁶
τ rodapié	6,71·10 ⁶	4,20·10 ⁶	3,48·10 ⁶	3,42·10 ⁶	3,58·10 ⁶
$\sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2}$ base	7,26·10 ⁷	7,08·10 ⁷	6,76·10 ⁷	6,40·10 ⁷	6,04·10 ⁷
$\sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2}$ rodapié	1,75·10 ⁷	1,50·10 ⁷	1,46·10 ⁷	1,43·10 ⁷	1,39·10 ⁷
$\sigma_{vk} / u_V > \sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2}$ base	SÍ	SÍ	SÍ	SÍ	SÍ
$\sigma_{vk} / u_V > \sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2}$ rodapié	SÍ	SÍ	SÍ	SÍ	SÍ

Caso de carga	B3	B3	B3	B3	B3
Posición	1	2	3	4	5
α (m) de la base	0,725				
α (m) rodapié	5				
σ_R^E (N/m ²) base	6378494,8				
σ_R^E (N/m ²) rodapié	18980008,5				
σ_1 (N/m ²) base	2,133·10 ⁷	1,993·10 ⁷	1,879·10 ⁷	1,776·10 ⁷	1,684·10 ⁷
σ_1 (N/m ²) rodapié	8,32·10 ⁶	8,70·10 ⁶	6,82·10 ⁶	4,77·10 ⁶	4,21·10 ⁶
σ_2 (N/m ²) base	-2,43·10 ⁷	-2,28·10 ⁷	-2,17·10 ⁷	-2,07·10 ⁷	-1,98·10 ⁷
σ_2 (N/m ²) rodapié	-5,46·10 ⁶	-5,70·10 ⁶	-5,96·10 ⁶	-6,16·10 ⁶	-6,34·10 ⁶
$\psi = \sigma_1 / \sigma_2$ base	-0,877	-0,873	-0,865	-0,857	-0,849
$\psi = \sigma_1 / \sigma_2$ rodapié	-1,00	-1,00	-1,00	-0,77	-0,66
k_σ base	20,23	20,13	19,89	19,66	19,45
k_σ rodapié	23,90	23,90	23,90	17,40	14,61
k_τ base	12,96	12,96	12,96	12,96	12,96
k_τ rodapié	4,21	4,21	4,21	4,21	4,21
$\sigma_{cr}^V = k_\sigma \sigma_R^E$ base (N/m ²)	1,29·10 ⁸	1,28·10 ⁸	1,27·10 ⁸	1,25·10 ⁸	1,24·10 ⁸
$\sigma_{cr}^V = k_\sigma \sigma_R^E$ rodapié (N/m ²)	4,54·10 ⁸	4,54·10 ⁸	4,54·10 ⁸	3,30·10 ⁸	2,77·10 ⁸
u_V base	1,27	1,27	1,27	1,27	1,27
u_V rodapié	1,25	1,25	1,25	1,28	1,29
$\sigma_{cr,c}^V$ (N/m ²) base	1,30·10 ⁸	1,29·10 ⁸	1,28·10 ⁸	1,26·10 ⁸	1,25·10 ⁸
$\sigma_{cr,c}^V$ (N/m ²) rodapié	1,99·10 ⁸	2,37·10 ⁸	2,28·10 ⁸	2,05·10 ⁸	1,91·10 ⁸
σ_{vk} (N/m ²) base	1,30·10 ⁸	1,29·10 ⁸	1,28·10 ⁸	1,26·10 ⁸	1,25·10 ⁸
σ_{vk} (N/m ²) rodapié	1,99·10 ⁸	2,23·10 ⁸	2,19·10 ⁸	2,04·10 ⁸	1,91·10 ⁸
σ_{vk} / u_V base	1,03·10 ⁸	1,02·10 ⁸	1,01·10 ⁸	9,94·10 ⁷	9,84·10 ⁷
σ_{vk} / u_V rodapié	1,59·10 ⁸	1,78·10 ⁸	1,75·10 ⁸	1,60·10 ⁸	1,48·10 ⁸
σ base	2,43·10 ⁷	2,28·10 ⁷	2,17·10 ⁷	2,07·10 ⁷	1,98·10 ⁷
σ rodapié	5,46·10 ⁶	5,70·10 ⁶	5,96·10 ⁶	6,16·10 ⁶	6,36·10 ⁶
τ base	3,59·10 ⁶	2,70·10 ⁶	2,95·10 ⁶	2,72·10 ⁶	2,76·10 ⁶
τ rodapié	2,75·10 ⁶	2,04·10 ⁶	2,28·10 ⁶	2,47·10 ⁶	2,63·10 ⁶
$\sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2}$ base	2,51·10 ⁷	2,33·10 ⁷	2,23·10 ⁷	2,13·10 ⁷	2,04·10 ⁷
$\sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2}$ rodapié	7,25·10 ⁶	6,73·10 ⁶	7,15·10 ⁶	7,50·10 ⁶	7,80·10 ⁶
$\sigma_{vk} / u_V > \sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2}$ base	SÍ	SÍ	SÍ	SÍ	SÍ
$\sigma_{vk} / u_V > \sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2}$ rodapié	SÍ	SÍ	SÍ	SÍ	SÍ

Caso de carga	C1	C1	C1	C1	C1
Posición	1	2	3	4	5
α (m) de la base	0,725				
α (m) rodapié	5				
σ_R^E (N/m ²) base	6378494,8				
σ_R^E (N/m ²) rodapié	18980008,5				
σ_1 (N/m ²) base	5,539·10 ⁷	5,240·10 ⁷	4,972·10 ⁷	4,723·10 ⁷	4,510·10 ⁷
σ_1 (N/m ²) rodapié	1,59·10 ⁷	1,55·10 ⁷	9,80·10 ⁶	6,50·10 ⁶	6,00·10 ⁶
σ_2 (N/m ²) base	-6,26·10 ⁷	-6,09·10 ⁷	-5,85·10 ⁷	-5,57·10 ⁷	-5,28·10 ⁷
σ_2 (N/m ²) rodapié	-1,06·10 ⁷	-1,07·10 ⁷	-1,08·10 ⁷	-1,07·10 ⁷	-1,02·10 ⁷
$\psi = \sigma_1 / \sigma_2$ base	-0,885	-0,860	-0,850	-0,848	-0,853
$\psi = \sigma_1 / \sigma_2$ rodapié	-1,00	-1,00	-0,91	-0,61	-0,59
k_σ base	20,48	19,75	19,47	19,42	19,57
k_σ rodapié	23,90	23,90	21,20	13,35	12,85
k_τ base	12,96	12,96	12,96	12,96	12,96
k_τ rodapié	4,21	4,21	4,21	4,21	4,21
$\sigma_{cr}^V = k_\sigma \sigma_R^E$ base (N/m ²)	1,31·10 ⁸	1,26·10 ⁸	1,24·10 ⁸	1,24·10 ⁸	1,25·10 ⁸
$\sigma_{cr}^V = k_\sigma \sigma_R^E$ rodapié (N/m ²)	4,54·10 ⁸	4,54·10 ⁸	4,02·10 ⁸	2,53·10 ⁸	2,44·10 ⁸
u_V base	1,19	1,19	1,19	1,19	1,19
u_V rodapié	1,18	1,18	1,19	1,21	1,21
$\sigma_{cr,c}^V$ (N/m ²) base	1,31·10 ⁸	1,27·10 ⁸	1,25	1,25	1,26
$\sigma_{cr,c}^V$ (N/m ²) rodapié	2,23·10 ⁸	2,65·10 ⁸	2,54·10 ⁸	2,11·10 ⁸	2,08·10 ⁸
σ_{vk} (N/m ²) base	1,31·10 ⁸	1,27·10 ⁸	1,25·10 ⁸	1,25·10 ⁸	1,26·10 ⁸
σ_{vk} (N/m ²) rodapié	2,16·10 ⁸	2,33·10 ⁸	2,30·10 ⁸	2,09·10 ⁸	2,06·10 ⁸
σ_{vk} / u_V base	1,10·10 ⁸	1,06·10 ⁸	1,05·10 ⁸	1,05·10 ⁸	1,06·10 ⁸
σ_{vk} / u_V rodapié	1,83·10 ⁸	1,97·10 ⁸	1,93·10 ⁸	1,73·10 ⁸	1,71·10 ⁸
σ base	6,26·10 ⁷	6,09·10 ⁷	5,85·10 ⁷	5,57·10 ⁷	5,28·10 ⁷
σ rodapié	1,06·10 ⁷	1,07·10 ⁷	1,08·10 ⁷	1,07·10 ⁷	1,02·10 ⁷
τ base	9,10·10 ⁶	8,60·10 ⁶	8,60·10 ⁶	8,50·10 ⁶	8,40·10 ⁶
τ rodapié	4,24·10 ⁶	3,08·10 ⁶	3,10·10 ⁶	2,74·10 ⁶	2,54·10 ⁶
$\sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2}$ base	6,45·10 ⁷	6,27·10 ⁷	6,03·10 ⁷	5,76·10 ⁷	5,48·10 ⁷
$\sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2}$ rodapié	1,29·10 ⁷	1,20·10 ⁷	1,21·10 ⁷	1,17·10 ⁷	1,11·10 ⁷
$\sigma_{vk} / u_V > \sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2}$ base	SÍ	SÍ	SÍ	SÍ	SÍ
$\sigma_{vk} / u_V > \sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2}$ rodapié	SÍ	SÍ	SÍ	SÍ	SÍ

Caso de carga	C2	C2	C2	C2	C2
Posición	1	2	3	4	5
α (m) de la base	0,725				
α (m) rodapié	5				
σ_R^E (N/m ²) base	6378494,8				
σ_R^E (N/m ²) rodapié	18980008,5				
σ_1 (N/m ²) base	1,770·10 ⁷	1,694·10 ⁷	1,630·10 ⁷	1,570·10 ⁷	1,517·10 ⁷
σ_1 (N/m ²) rodapié	9,50·10 ⁶	9,50·10 ⁶	9,50·10 ⁶	9,60·10 ⁶	9,60·10 ⁶
σ_2 (N/m ²) base	-2,04·10 ⁷	-1,95	-1,89·10 ⁷	-1,83·10 ⁷	-1,78·10 ⁷
σ_2 (N/m ²) rodapié	-9,90·10 ⁶				
$\psi = \sigma_1 / \sigma_2$ base	-0,868	-0,869	-0,863	-0,857	-0,851
$\psi = \sigma_1 / \sigma_2$ rodapié	-0,96	-0,96	-0,96	-0,96	-0,96
k_σ base	19,97	20,01	19,83	19,65	19,49
k_σ rodapié	22,69	22,68	22,66	22,68	22,82
k_τ base	12,96	12,96	12,96	12,96	12,96
k_τ rodapié	4,21	4,21	4,21	4,21	4,21
$\sigma_{cr}^V = k_\sigma \sigma_R^E$ base (N/m ²)	1,27·10 ⁸	1,28·10 ⁸	1,26·10 ⁸	1,25·10 ⁸	1,24·10 ⁸
$\sigma_{cr}^V = k_\sigma \sigma_R^E$ rodapié (N/m ²)	4,31·10 ⁸	4,31·10 ⁸	4,30·10 ⁸	4,31·10 ⁸	4,33·10 ⁸
u_V base	1,19	1,19	1,19	1,19	1,19
u_V rodapié	1,18	1,18	1,18	1,18	1,18
$\sigma_{cr,c}^V$ (N/m ²) base	1,28·10 ⁸	1,28·10 ⁸	1,27·10 ⁸	1,26·10 ⁸	1,25·10 ⁸
$\sigma_{cr,c}^V$ (N/m ²) rodapié	3,95·10 ⁸	3,99·10 ⁸	3,94·10 ⁸	3,86·10 ⁸	3,80·10 ⁸
σ_{vk} (N/m ²) base	1,28·10 ⁸	1,28·10 ⁸	1,27·10 ⁸	1,26·10 ⁸	1,25·10 ⁸
σ_{vk} (N/m ²) rodapié	2,54·10 ⁸	2,54·10 ⁸	2,53·10 ⁸	2,53·10 ⁸	2,52·10 ⁸
σ_{vk} / u_V base	1,07·10 ⁸	1,08·10 ⁸	1,07·10 ⁸	1,06·10 ⁸	1,05·10 ⁸
σ_{vk} / u_V rodapié	2,14·10 ⁸	2,15·10 ⁸	2,14·10 ⁸	2,14·10 ⁸	2,13·10 ⁸
σ base	2,04·10 ⁷	1,95·10 ⁷	1,89·10 ⁷	1,83·10 ⁷	1,78·10 ⁷
σ rodapié	9,90·10 ⁶				
τ base	2,40·10 ⁶				
τ rodapié	8,43·10 ⁵	7,90·10 ⁵	8,50·10 ⁵	9,70·10 ⁵	1,07·10 ⁶
$\sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2}$ base	2,08·10 ⁷	1,99·10 ⁷	1,93·10 ⁷	1,88·10 ⁷	1,83·10 ⁷
$\sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2}$ rodapié	1,00·10 ⁷	1,00·10 ⁷	1,00·10 ⁷	1,01·10 ⁷	1,01·10 ⁷
$\sigma_{vk} / u_V > \sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2}$ base	SÍ	SÍ	SÍ	SÍ	SÍ
$\sigma_{vk} / u_V > \sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2}$ rodapié	SÍ	SÍ	SÍ	SÍ	SÍ

2.6 Cálculo de la interfase plataforma-mecanismo: (apoyo móvil o guía)

Cálculo a fatiga:

Se considera como tensión máxima la producida por la reacción más desfavorable.

$$F_y = 8689 \text{ N.}$$

Los valores para calcular los diagramas de momentos M_x y M_y , se obtienen del programa ANSYS

Diagrama de momentos M_x :

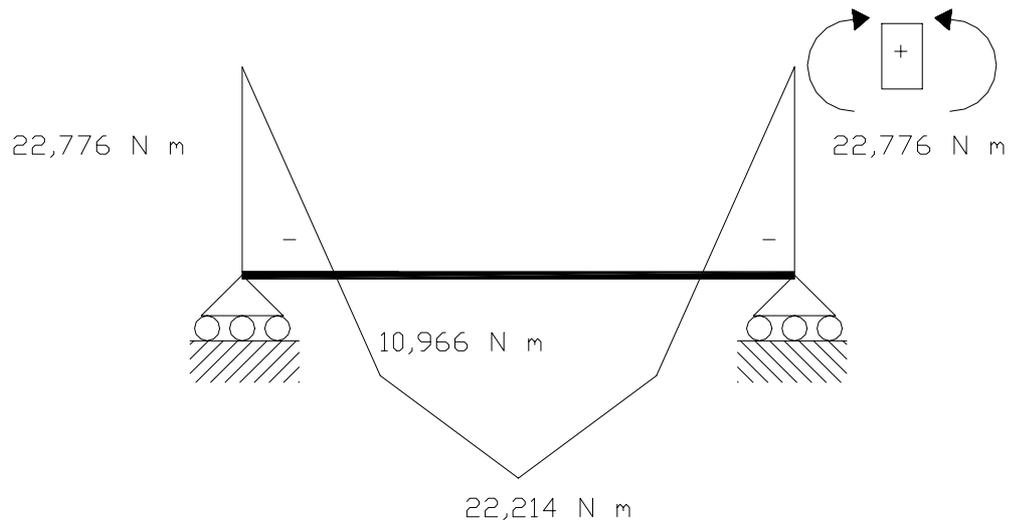
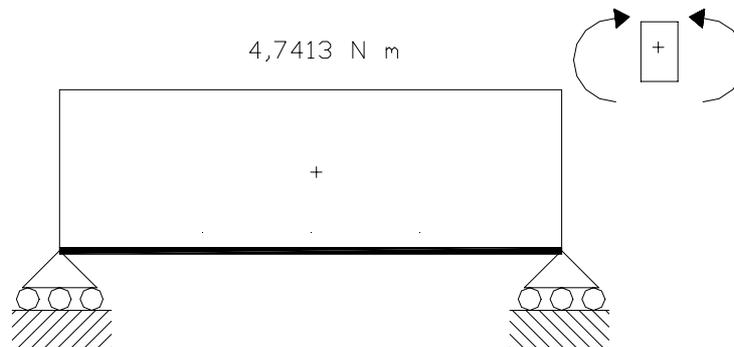


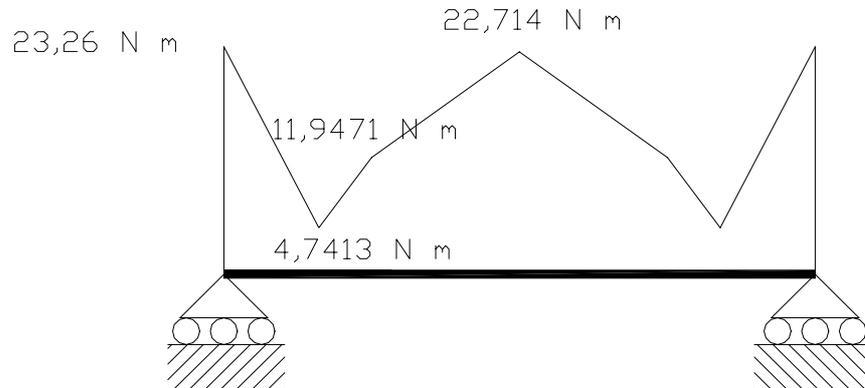
Diagrama de momentos M_y :



A continuación se calcula el diagrama de momentos combinados, en todos los tramos del diagrama:

$$M = \sqrt{M_x^2 + M_y^2}$$

Diagrama de momentos Combinados:

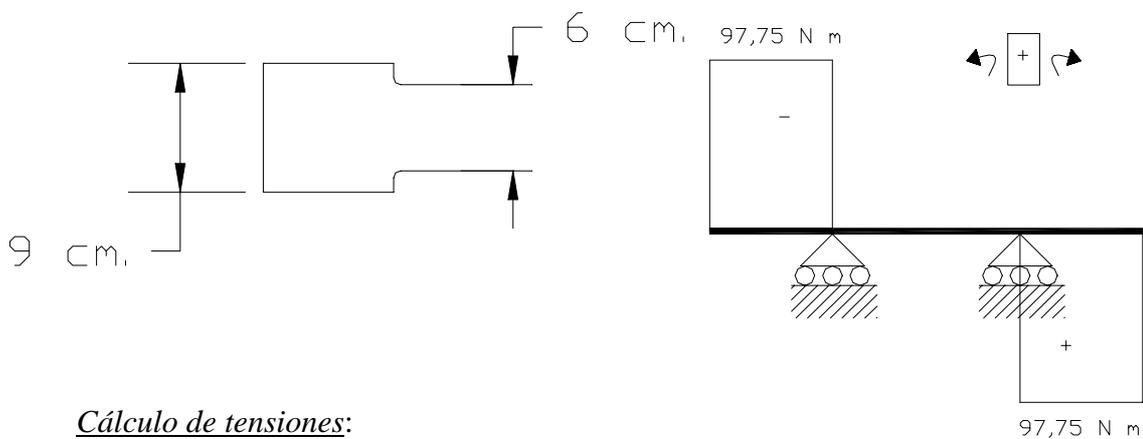


El coeficiente de rozamiento en aceros suele oscilar entre 0,1 y 0,125.

Se toma para el presente caso 0,125.

$$F_x = 1086,125 \text{ N.}$$

Diagrama de torsores:



Cálculo de tensiones:

Se comprueba para la sección de 6 cm de diámetro.

$$\tau_{media} = \frac{16 \cdot T}{\pi \cdot d^3} = \frac{16 \cdot 97,75}{\pi \cdot (0,06)^3} = 2304829 \text{ N/m}^2 = 2,305 \cdot 10^6 \text{ N/m}^2$$

$$\tau_{alterna} = 0$$

$$\tau_{eq} = \tau_{media} + \left(\frac{\tau_y}{\tau_f} \right) \tau_{alterna} = \tau_{media} = 2,305 \cdot 10^6 \text{ N/m}^2$$

$$\sigma_{alterna} = \frac{32 \cdot M}{\pi \cdot d^3} = \frac{32 \cdot 23,26}{\pi \cdot (0,06)^3} = 65812,34 \text{ N/m}^2 = 6,581 \cdot 10^4 \text{ N/m}^2$$

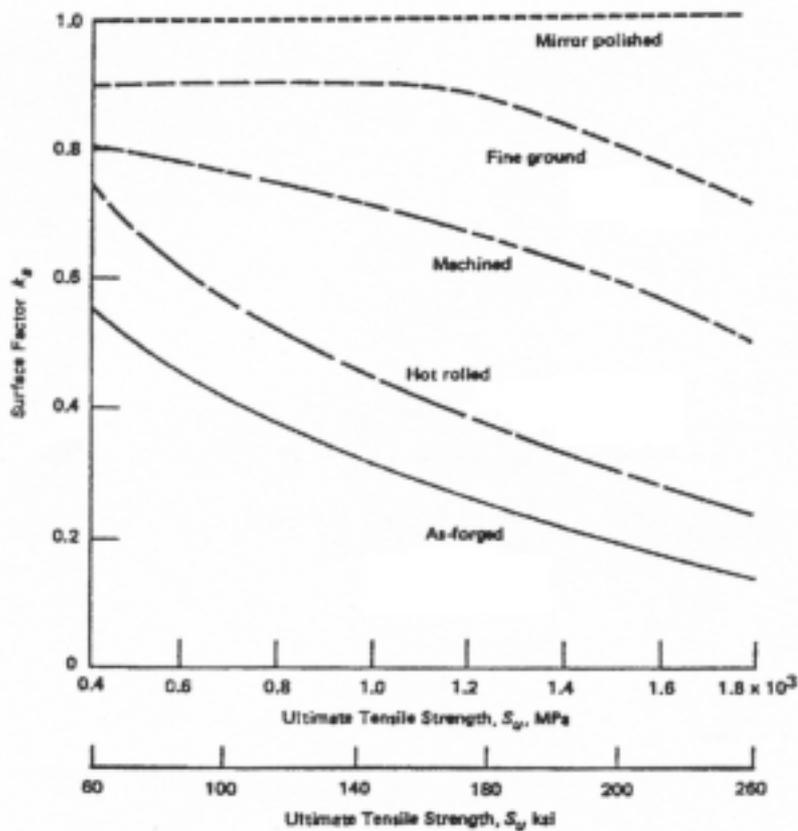
$$\sigma_{media} = 0$$

El límite de fatiga se calcula, siguiendo la norma ANSI/ASME B106.1M-1985, como:

$$S_f = k_a \cdot k_b \cdot k_c \cdot k_d \cdot k_e \cdot k_f \cdot k_g \cdot S_f^*$$

K_a = Coeficiente de acabado superficial:

Se emplea la gráfica de la publicación Engineering Consideration of Stress, Strain and Strength; McGraw-Hill de Juvinall, para mecanizado de un acero con $S_u = 520 \text{ MPa}$, y $S_y = 355 \text{ MPa}$.



$$k_a = 0,8$$

k_b = Coeficiente de tamaño:

Se emplea la fórmula compuesta, para $d > 50 \text{ mm}$.

$$k_b = 1,85 \cdot d^{-0,19} = 1,85 \cdot 60^{-0,19} = 0,85$$

k_c = Coeficiente de fiabilidad:

Se diseña con una fiabilidad del 99%, luego: $k_c = 0,814$

k_d = factor temperatura, $k_d = 1$

k_e = Coeficiente de severidad del ciclo de carga:

Se considera que la carga irregular, origina una reducción del 20% del límite de fatiga:

$k_e = 0,80$

k_f = Coeficiente de concentrador de tensiones:

$$\frac{D}{d} = \frac{9}{6} = 1,5$$

$$\frac{r}{d} = \frac{0,6}{6} = 0,10$$

$$k_t = 1,7 \Rightarrow k_f = \frac{1}{K_t} > \frac{1}{k_t} = \frac{1}{1,7} = 0,588 \Rightarrow k_f \approx 0,588$$

$k_f = 0,588$

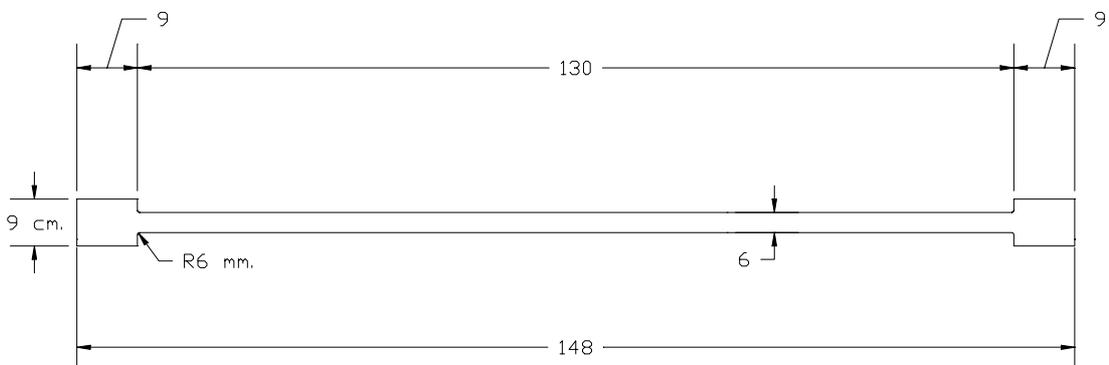
k_g = Coeficiente misceláneo, $k_g = 1$

$$S_f = 0,8 \cdot 0,85 \cdot 0,814 \cdot 0,8 \cdot 0,588 \cdot 1 \cdot S_f^* = 0,2604 \cdot S_f^* = 0,2604 \cdot (0,5 \cdot S_U) = 67,6977 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{eq} = \sigma_{media} + \left(\frac{S_y}{S_f} \right) \sigma_{alterna} = \left(\frac{355 \cdot 10^6}{67,70 \cdot 10^6} \right) 6,581 \cdot 10^4 = 3,451 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$$

$$\sigma_o = f_y / S = (2,75 \cdot 10^8 \text{ N/m}^2) / 3 = 9,17 \cdot 10^7 \text{ N/m}^2$$

$$\sigma_{VonMises} = \sqrt{\sigma_{eq}^2 + 3 \cdot \tau_{eq}^2} = 4,007 \cdot 10^6 \text{ N/m}^2 < 9,17 \cdot 10^7 \text{ N/m}^2$$



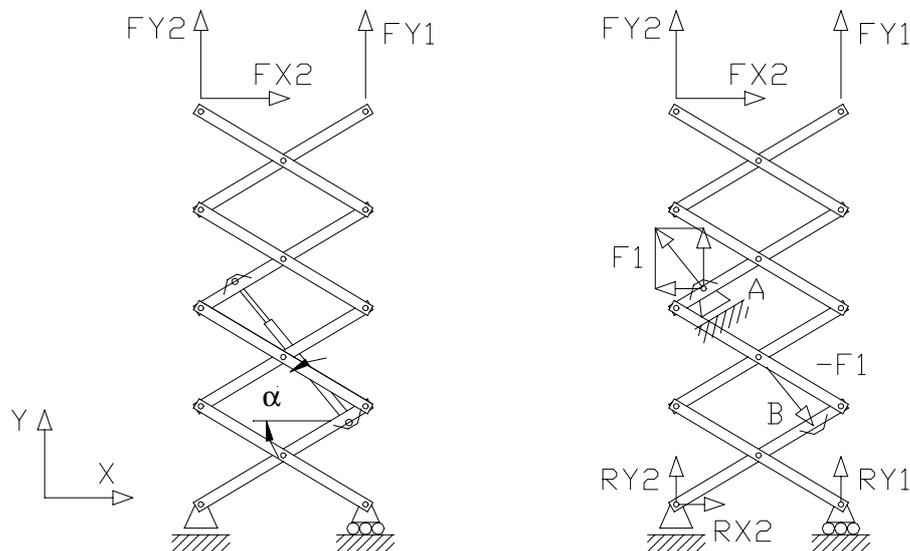
2.7 Cálculo de las dimensiones de las barras y refuerzos, que componen el mecanismo de elevación de tijera:

Hipótesis:

- 1) El fluido es incompresible.
- 2) Se desprecian las pérdidas de cargas a lo largo del pistón, de esa forma sobre el pistón aparece una presión igual en todo su recorrido.

2.7.1 Procedimiento de cálculo:

Se considera que sobre el punto superior del cilindro (punto A), descansa la estructura, impidiendo el movimiento en dirección perpendicular al pistón por ser fluido incompresible, ejerciendo el pistón sobre la estructura una fuerza F_1 sobre el pistón, de esa forma el punto inferior del cilindro B, ejerce sobre la estructura una fuerza $-F_1$.



De tal forma, el pistón tiende a abrir la estructura por su mecanismo en forma de “tijera”, también indicar que el pistón no ejerce fuerza sobre el soporte y/o chasis ya que numéricamente se anulan $(F_1 - F_1) = 0$.

Para seguir dicho procedimiento, se sigue un método iterativo en ANSYS:

- 1° Se calcula la reacción F_1 .
- 2° Se repite el cálculo con una fuerza de valor $-F_1$ en B, y se obtiene F_1' .
- 3° Se repite el cálculo con una fuerza de valor $-F_1'$ en B, y se obtiene una nueva reacción en el pistón en A, se repite la iteración hasta que se produzca una convergencia y sean iguales los valores de la reacción en A y de la fuerza en B, los valores que se obtienen en la última iteración, en las reacciones en los apoyos fijos y móviles, son los valores definitivos de las reacciones y el valor de la fuerza sobre el pistón, es la fuerza definitiva sobre el pistón.

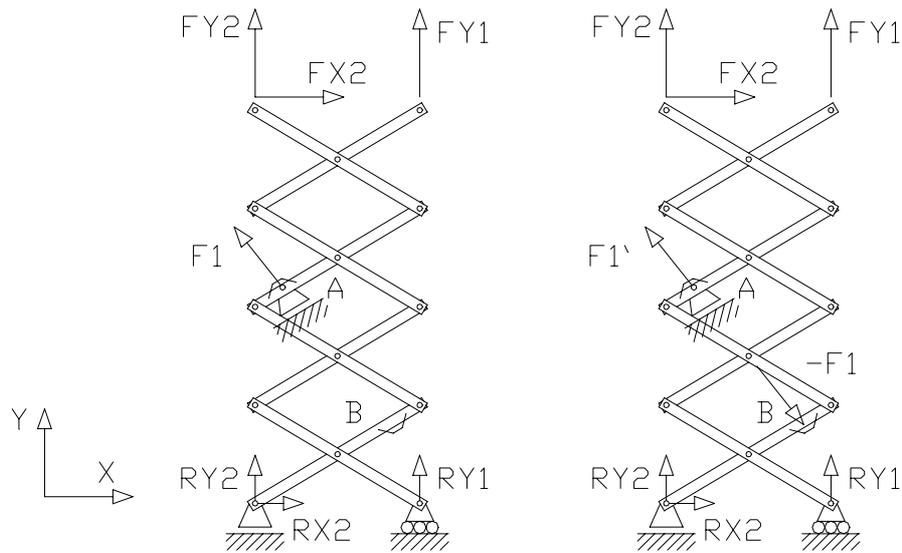


Figura. Esquema del procedimiento iterativo, para el cálculo de la presión ejercida por el fluido.

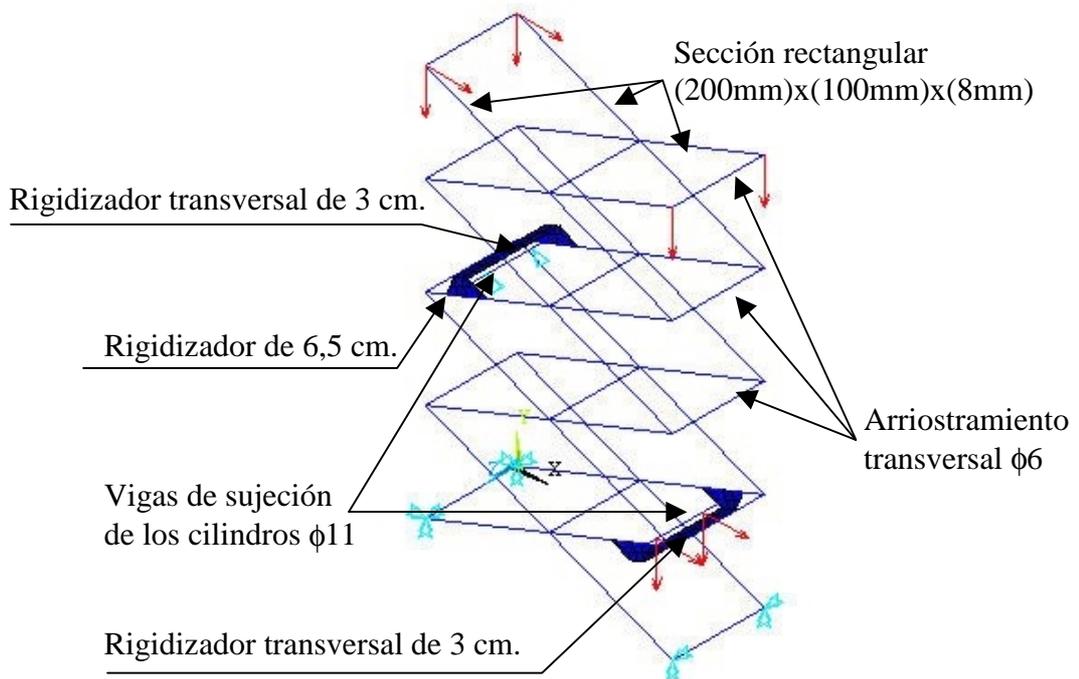


Figura. Esquema de la estructura del mecanismo.

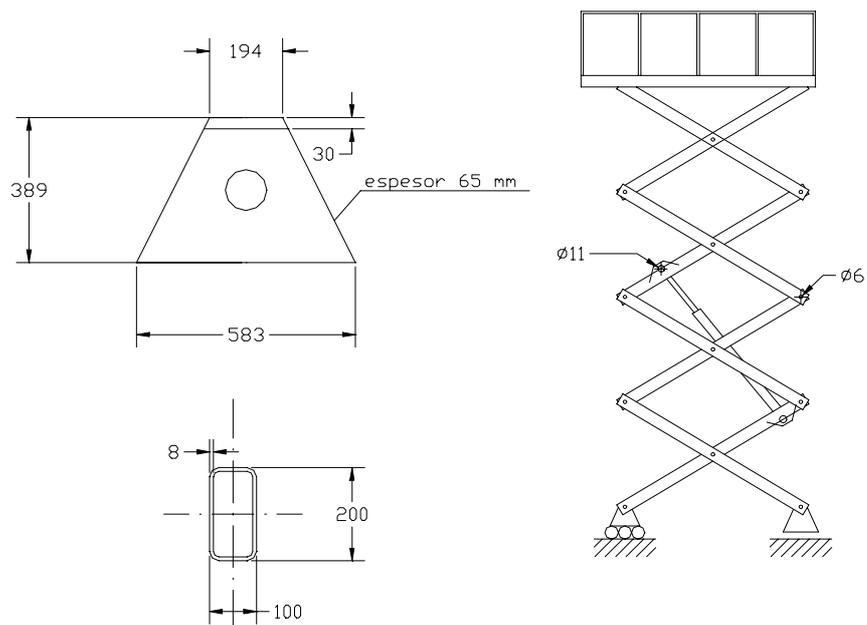


Figura. Esquema de la estructura del mecanismo.

Los valores de las reacciones obtenidas en ANSYS son::

Hipótesis	Cargas de la plataforma sobre el mecanismo.			R. Apoyo Móvil	Reacción Apoyo Fijo		Pistón
	Fy ₁ (N)	Fx ₂ (N)	Fy ₂ (N)	Ry ₁ (N)	Rx ₂ (N)	Ry ₂ (N)	F1 (N)
Posición 1							
A1	-7657	1957	774	-22618	1957,1	-116,56	129572
A2	-7752	665	204	-17694	665,29	-5706,57	135522
B1	-8594	3940	1711	-31060	3940,1	8324,23	129572
B2	-8689	2647	1140	-26131	2647,1	2729,93	135532
B3	-2965	2503	150	-20971	2503,2	2303,73	93216
C1	-6808	582	31	-16612	582,13	-6017,67	128626
C2	-1818	1114	-633	-14670	1114,1	-3634,97	89963
Posición 2							
A1	-6961	1957	78	-20474	1956,9	-2262,07	88677
A2	-7047	665	-501	-16501	665,23	-6899,77	88432
B1	-7813	3940	930	-27437	3938,9	4700,63	88675
B2	-7899	2647	351	-23463	2646,8	61,61	92749
B3	-2696	2503	-119	-18446	2503,1	-222,171	63794
C1	-6189	582	-588	-15487	582,41	-7142,37	88028
C2	-1653	1114	-799	-13177	1114,3	-5127,57	61566
Posición 3							
A1	-6381	1957	-502	-18276	1956,9	-4459,57	74481
A2	-6460	665	-1088	-15216	664,79	-8184,87	77897
B1	-7162	3940	279	-23824	3939,9	1087,93	74481
B2	-7240	2647	-308	-20760	2646,8	-2640,77	77897
B3	-2471	2503	-344	-15885	2502,5	-2783,07	53581
C1	-5673	582	-1104	-14269	581,93	-8361,27	73937
C2	-1515	1114	-936	-11609	1114,3	-6694,97	51712
Posición 4							
A1	-5890	1957	-993	-15394	1957,2	-7338	69281
A2	-5469	1957	-1413	-13426	665,44	-9270,27	72459
B1	-6611	3939	-272	-20201	3939,9	-2534,47	69281
B2	-6684	2647	-865	-18109	2646,8	-5293,17	72463
B3	-2281	2503	-534	-13010	2503,1	-5658,27	49841
C1	-5237	582	-1540	-13066	581,85	-9564,27	68775
C2	-1399	1114	-1053	-9707,5	1113,7	-8596,37	48105
Posición 5							
A1	-5963	665	-1585	-24912	1953,5	2176,43	66842
A2	-5537	665	-2011	-24960	667,24	1559,23	69913
B1	-6139	3940	-744	-26532	3936,5	3795,83	66847
B2	-6206	2647	-1342	-26580	2650,8	3177,93	69914
B3	-2118	2503	-697	-17980	2503,1	-688,24	48089
C1	-4863	582	-1914	-23527	579,67	897,03	66358
C2	-1299	1114	-1153	-16137	1113,8	-2166,57	46415

Desde el punto de vista de las tensiones, el caso B2, posición 1 es el caso más desfavorable, será este caso el que se considere para las comprobaciones de tensiones.

El mecanismo de elevación se diseña con un acero S-275, de densidad 7850 Kg/m^3 , tanto para la plataforma, como para la estructura articulada portante.

2.7.2 Comprobaciones mecánico del mecanismo de elevación:

2.7.2.1 Viga de arriostramiento transversal ($\phi 6$):

a) Comprobación de resistencia:

En el elemento 98 se produce tensiones más desfavorables, para la comprobación de resistencia:

$$N^* = 14733 \text{ N}; M_x^* = 202,96 \text{ N}\cdot\text{m}; M_y^* = 13,311 \text{ N}\cdot\text{m}; y=x=0,03 \text{ m}; I_x=I_y=6,35 \cdot 10^{-7} \text{ m}^4$$

$$\sigma^* = \frac{N^*}{A} + M_x^* \frac{y}{I_x} + M_y^* \frac{x}{I_y} = 1,57 \cdot 10^7 \text{ Pa} \leq \sigma_u = \frac{2,75 \cdot 10^8 \text{ Pa}}{1,1} = 2,50 \cdot 10^8 \text{ Pa}$$

b) Comprobación de pandeo:

En el elemento 83 se produce tensiones más desfavorables, para la comprobación de pandeo:

$$N^* = 8368,5 \text{ N}; M_x^* = 146,41 \text{ N}\cdot\text{m}; M_y^* = 60,924 \text{ N}\cdot\text{m}; y=x=0,03 \text{ m}; I_x=I_y=6,35 \cdot 10^{-7} \text{ m}^4$$

$$i = \text{radio mínimo de giro} = \sqrt{I/A} = \sqrt{6,35 \cdot 10^{-7} / 2,83 \cdot 10^{-3}} = 0,015 \text{ m.}$$

$$\beta = 0,5 \text{ (Biempotrado).}$$

$$l = 1,5 \text{ m.}$$

$$l_k = l/\beta = 0,75 \text{ m.}$$

$\lambda = l_k/i = 50 < 115$; se toma $\lambda = 115$ (Recomendación del autor Argüelles, La estructura metálica hoy) y un acero S-275 $\Rightarrow \omega = 2,57$

$$\sigma^* = \frac{N^*}{A} \omega + M_x^* \frac{y}{I_x} + M_y^* \frac{x}{I_y} = 1,74 \cdot 10^8 \text{ Pa} \leq \sigma_u = 2,50 \cdot 10^8 \text{ Pa}$$

2.7.2.2 Viga de sujeción de los cilindros ($\phi 11$):

a) Comprobación de resistencia:

En el elemento 90 se produce tensiones más desfavorables, para la comprobación de resistencia:

$$N^* = 101980 \text{ N}; M_x^* = 6103,2 \text{ N}\cdot\text{m}; M_y^* = 14775 \text{ N}\cdot\text{m}; y=x=0,055 \text{ m}; I_x=I_y=7,17 \cdot 10^{-6} \text{ m}^4$$

$$\sigma^* = \frac{N^*}{A} + M_x^* \frac{y}{I_x} + M_y^* \frac{x}{I_y} = 1,71 \cdot 10^8 \text{ Pa} \leq \sigma_u 2,50 \cdot 10^8 \text{ Pa}$$

b) Comprobación de pandeo:

En el elemento 90 se produce tensiones más desfavorables, para la comprobación de pandeo:

$$N^* = 101980 \text{ N}; M_x^* = 6103,2 \text{ N}\cdot\text{m}; M_y^* = 14775 \text{ N}\cdot\text{m}; y=x=0,055 \text{ m}; I_x=I_y=7,17 \cdot 10^{-6} \text{ m}^4$$

$$i = \text{radio mínimo de giro} = \sqrt{I/A} = \sqrt{7,17 \cdot 10^{-6} / 9,50 \cdot 10^{-3}} = 0,0275 \text{ m.}$$

$$\beta = 0,5 \text{ (Biempotrado).}$$

$$l = 1,5 \text{ m.}$$

$$l_k = l/\beta = 0,75 \text{ m.}$$

$\lambda = l_k/i = 27 < 115$; se toma $\lambda = 115$ (Recomendación del autor Argüelles, La estructura metálica hoy) y un acero S-275 $\Rightarrow \omega = 2,57$

$$\sigma^* = \frac{N^*}{A} \omega + M_x^* \frac{y}{I_x} + M_y^* \frac{x}{I_y} = 1,88 \cdot 10^8 \text{ Pa} \leq \sigma_u = 2,50 \cdot 10^8 \text{ Pa}$$

2.7.2.3 Sección rectangular que forma el mecanismo “de tijera”: (200mm)x(100mm)x(8mm).

a) Comprobación de resistencia:

En el elemento 42 se produce tensiones más desfavorables, para la comprobación de resistencia:

$$N^* = 105460 \text{ N}; M_x^* = 39031 \text{ N}\cdot\text{m}; M_y^* = 3411 \text{ N}\cdot\text{m}; y=x=0,055 \text{ m}; I_x=2,31 \cdot 10^{-5} \text{ m}^4 \quad I_y=7,58 \cdot 10^{-6} \text{ m}^4$$

$$\sigma^* = \frac{N^*}{A} + M_x^* \frac{y}{I_x} + M_y^* \frac{x}{I_y} = 1,53 \cdot 10^8 \text{ Pa} \leq \sigma_u 2,50 \cdot 10^8 \text{ Pa}$$

b) Comprobación de pandeo:

En el elemento 42 se produce tensiones más desfavorables, para la comprobación de pandeo:

$$N^* = 105460 \text{ N}; M_x^* = 39031 \text{ N}\cdot\text{m}; M_y^* = 3411 \text{ N}\cdot\text{m}; y=x=0,055 \text{ m}; I_x=2,31 \cdot 10^{-5} \text{ m}^4 \quad I_y=7,58 \cdot 10^{-6} \text{ m}^4$$

$$i = \text{radio mínimo de giro} = \sqrt{I/A} = \sqrt{7,58 \cdot 10^{-6} / 4,54 \cdot 10^{-3}} = 0,041 \text{ m.}$$

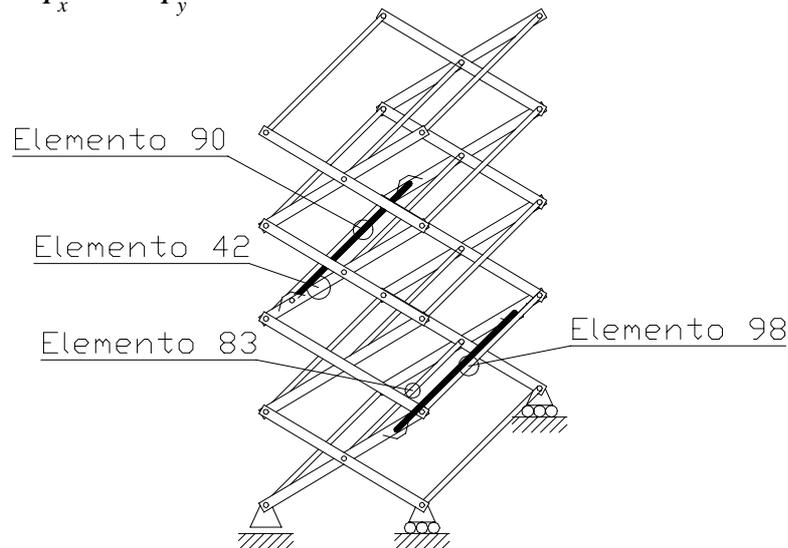
$$\beta = 1 \text{ (Biarticulado).}$$

$$l=1,75 \text{ m.}$$

$$l_k=l/\beta=1,75 \text{ m.}$$

$\lambda = l_k/i=43 < 115$; se toma $\lambda=115$ (Recomendación del autor Argüelles, La estructura metálica hoy) y un acero S-275 $\Rightarrow \omega=2,57$

$$\sigma^* = \frac{N^*}{A} \omega + M_x^* \frac{y}{I_x} + M_y^* \frac{x}{I_y} = 1,89 \cdot 10^8 \text{ Pa} \leq \sigma_u = 2,50 \cdot 10^8 \text{ Pa}$$



2.7.2.4 Comprobación en la placa de apoyo y sujeción del cilindro:

Se emplea un acero S275 (Fe430) de límite elástico $f_y=275 \text{ N/mm}^2=0,275 \cdot 10^9 \text{ Pa}$.

Para hallar la tensión admisible, se toma un coeficiente de 2:

$$\sigma_{\text{admisible}}=0,275 \cdot 10^9 \text{ Pa} / 2=0,1375 \cdot 10^9 \text{ Pa}$$

La tensión de máxima de Von Mises, es la que se compara con este valor:

$$\sigma_{VM} = \left(\frac{1}{2} \left[(\sigma_I - \sigma_{II})^2 + (\sigma_{II} - \sigma_{III})^2 + (\sigma_{III} - \sigma_I)^2 \right] \right)^{1/2} = 0,870 \cdot 10^8 \text{ Pa},$$

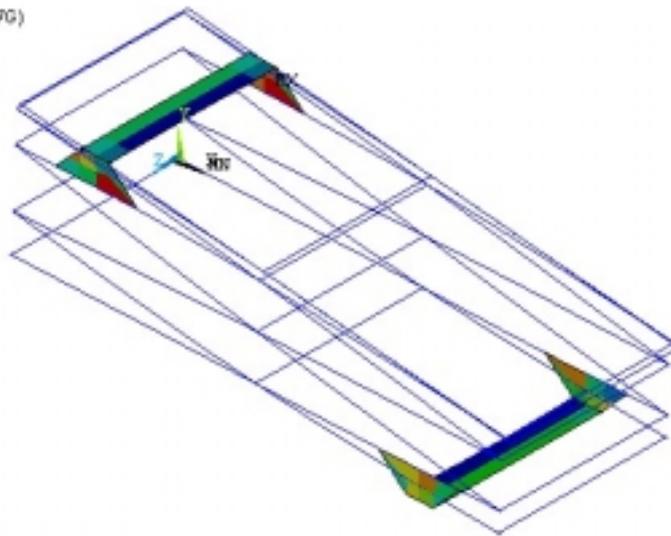
De donde: σ_I , σ_{II} y σ_{III} son las tensiones principales.

Se obtiene por ANSYS el punto de mayor tensión equivalente de Von Mises, para la placa de apoyo, en 10^9 Pa :

$$\sigma_{VM}=0,870 \cdot 10^8 \text{ Pa} < \sigma_{\text{admisible}}=0,1375 \cdot 10^9 \text{ Pa}$$

ELEMENT SOLUTION

STEP=1
 SUB =1
 TIME=1
 SEQV (NOAVG)
 TOP
 DMX =.082487
 SMX =.870E+08



2.8 Cálculo de la interfase mecanismo-chasis:(apoyo móvil)

Cálculo a fatiga:

Se considera como tensión máxima la producida por la reacción más desfavorable.

$$F_y = 31060 \text{ N.}$$

Los valores para calcular los digramas de momentos M_x y M_y , se obtienen del programa ANSYS

Diagrama de momentos M_x :

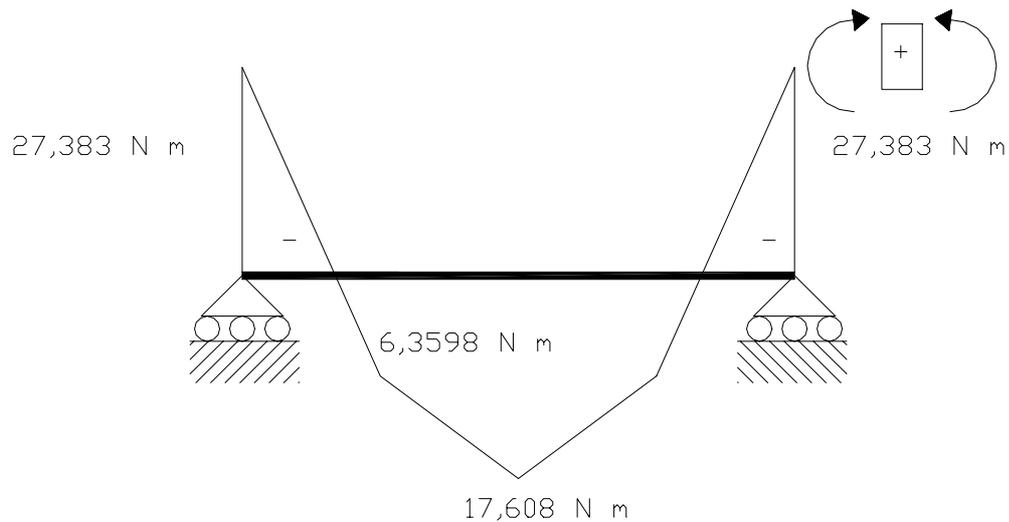
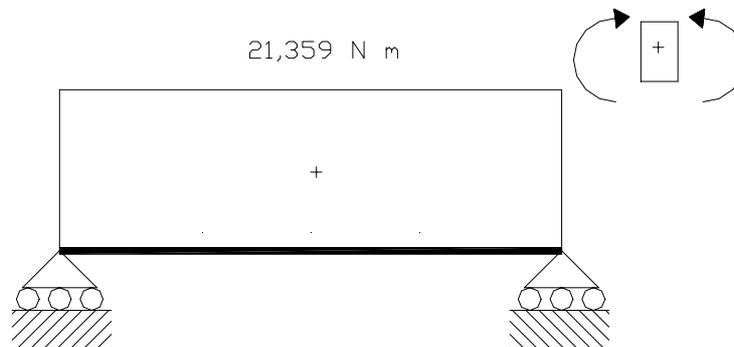


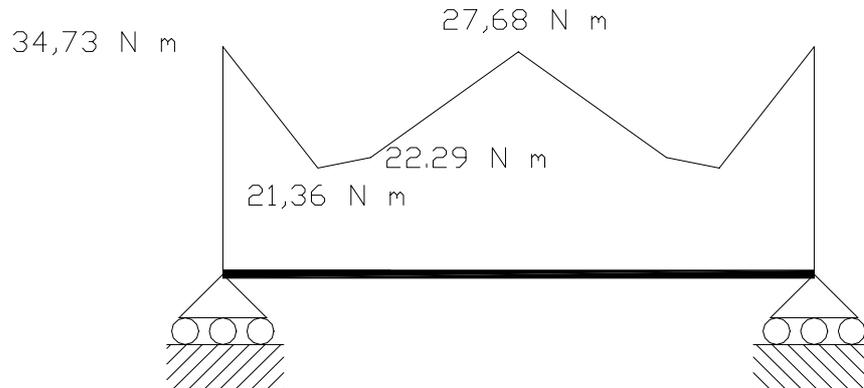
Diagrama de momentos M_y :



A continuación se calcula el diagrama de momentos combinados, en todos los tramos del diagrama:

$$M = \sqrt{M_x^2 + M_y^2}$$

Diagrama de momentos Combinados:

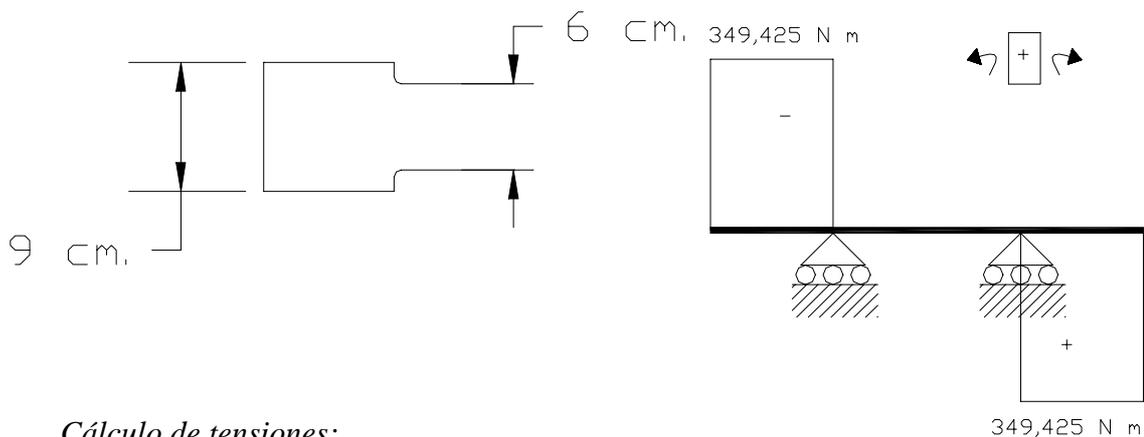


El coeficiente de rozamiento en aceros suele oscilar entre 0,1 y 0,125.

Se toma para el presente caso 0,125.

$$F_x = 3882,5 \text{ N.}$$

Diagrama de torsiones:



Cálculo de tensiones:

Se comprueba para la sección de 6 cm de diámetro.

$$\tau_{media} = \frac{16 \cdot T}{\pi \cdot d^3} = \frac{16 \cdot 349,425}{\pi \cdot (0,06)^3} = 8238921 \text{ N/m}^2 = 8,239 \cdot 10^6 \text{ N/m}^2$$

$$\tau_{alterna} = 0$$

$$\tau_{eq} = \tau_{media} + \left(\frac{\tau_y}{\tau_f} \right) \tau_{alterna} = \tau_{media} = 8,239 \cdot 10^6 \text{ N/m}^2$$

$$\sigma_{alterna} = \frac{32 \cdot M}{\pi \cdot d^3} = \frac{32 \cdot 34,73}{\pi \cdot (0,06)^3} = 98266 \text{ N/m}^2 = 9,827 \cdot 10^4 \text{ N/m}^2$$

$$\sigma_{media} = 0$$

El límite de fatiga se calcula, siguiendo la norma ANSI/ASME B106.1M-1985, como:

$$S_f = k_a \cdot k_b \cdot k_c \cdot k_d \cdot k_e \cdot k_f \cdot k_g \cdot S_f^*$$

K_a = Coeficiente de acabado superficial:

Se emplea la gráfica de la publicación Engineering Consideration of Stress, Strain and Strength; McGraw-Hill de Juvinal, para mecanizado de un acero con $S_u=520 \text{ MPa}$, y $S_y=355 \text{ MPa}$.

$$k_a = 0,8$$

k_b = Coeficiente de tamaño:

Se emplea la fórmula compuesta, para $d > 50 \text{ mm}$.

$$k_b = 1,85 \cdot d^{-0,19} = 1,85 \cdot 60^{-0,19} = 0,85$$

k_c = Coeficiente de fiabilidad:

Se diseña con una fiabilidad del 99%, luego: $k_c = 0,814$

k_d = factor temperatura, $k_d = 1$

k_e = Coeficiente de severidad del ciclo de carga:

Se considera que la carga irregular, origina una reducción del 20% del límite de fatiga:

$$k_e = 0,80$$

k_f = Coeficiente de concentrador de tensiones:

$$\frac{D}{d} = \frac{9}{6} = 1,5$$

$$\frac{r}{d} = \frac{0,6}{6} = 0,10$$

$$k_t = 1,7 \Rightarrow k_f = \frac{1}{K_t} > \frac{1}{k_t} = \frac{1}{1,7} = 0,588 \Rightarrow k_f \approx 0,588$$

$$k_f = 0,588$$

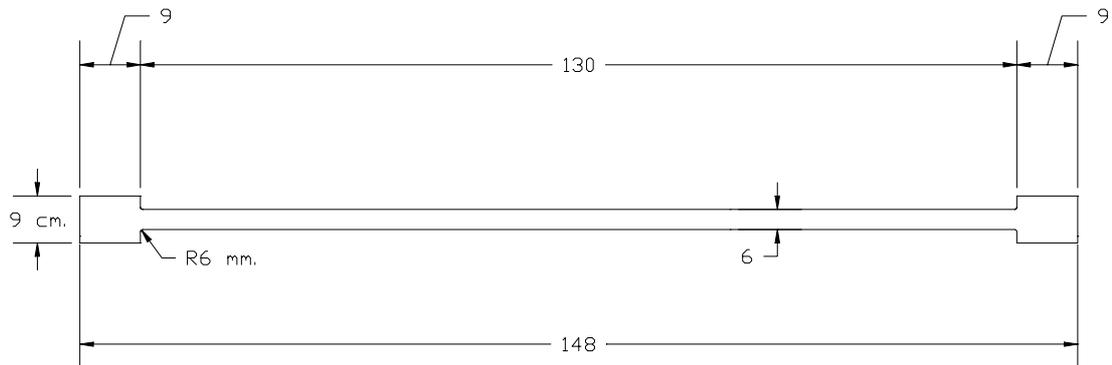
k_g = Coeficiente misceláneo, $k_g = 1$

$$S_f = 0,8 \cdot 0,85 \cdot 0,814 \cdot 1 \cdot 0,8 \cdot 0,588 \cdot S_f^* = 0,2604 \cdot S_f^* = 0,2604 \cdot (0,5 \cdot S_U) = 67,6977 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{eq} = \sigma_{media} + \left(\frac{S_y}{S_f} \right) \sigma_{alterna} = \left(\frac{355 \cdot 10^6}{67,70 \cdot 10^6} \right) 9,827 \cdot 10^4 = 5,153 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$$

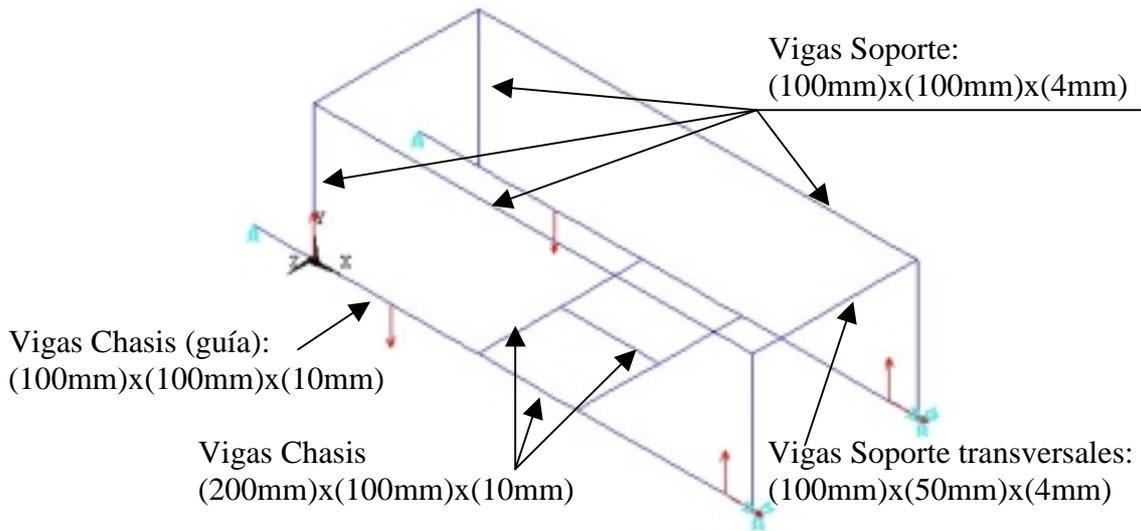
$$\sigma_o = f_y / S = (2,75 \cdot 10^8 \text{ N/m}^2) / 3 = 9,17 \cdot 10^7 \text{ N/m}^2$$

$$\sigma_{VonMises} = \sqrt{\sigma_{eq}^2 + 3 \cdot \tau_{eq}^2} = 1,428 \cdot 10^7 \text{ N/m}^2 < 9,17 \cdot 10^7 \text{ N/m}^2$$



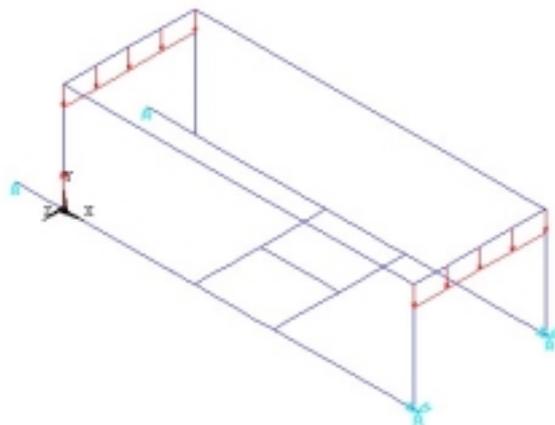
2.9 Cálculo de las dimensiones de las barras, que forman el soporte y el chasis:

La geometría se representa en la siguiente gráfica:

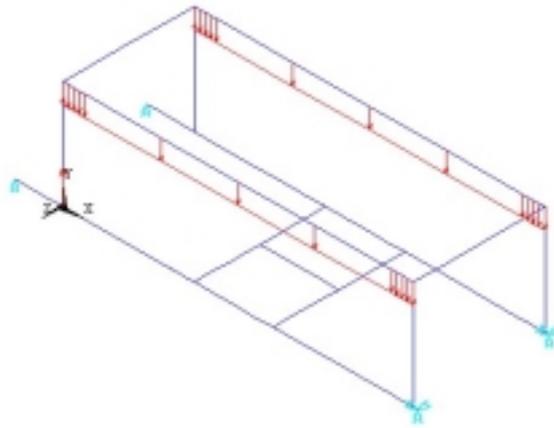


Hipótesis de cálculo:

- 1) De las fuerzas ejercidas sobre las guías o apoyos móviles, se toma la más desfavorable de las hipótesis anteriores (Posición 5, caso B1). \Rightarrow **HIPÓTESIS I**
- 2) Se considera todo el peso apoyado directamente sobre las vigas del soporte transversal. \Rightarrow **HIPÓTESIS II**



- 3) Se considera todo el peso apoyado directamente sobre las vigas del soporte longitudinal. \Rightarrow **HIPÓTESIS III**



El conjunto soporte-chasis se diseña con un acero S-275, de densidad 7850 Kg/m^3 .

Comprobaciones:

2.9.1 Vigas verticales del soporte (100mm)x(100mm)x(4mm):

La comprobación se realiza en la hipótesis del caso B1, posición 5. \Rightarrow **HIPÓTESIS I.**

a) Comprobación de resistencia:

$$N^* = 163,1 \text{ N}; M_x^* = 2,02 \text{ N}\cdot\text{m}; M_y^* = 10281 \text{ N}\cdot\text{m}; y=x=0,05 \text{ m}; I_x=I_y=2,36\cdot 10^{-5} \text{ m}^4$$

$$\sigma^* = \frac{N^*}{A} + M_x^* \frac{y}{I_x} + M_y^* \frac{x}{I_y} = 2,10^7 \text{ Pa} \leq \sigma_u = \frac{2,75\cdot 10^8 \text{ Pa}}{1,1} = 2,50\cdot 10^8 \text{ Pa}$$

b) Comprobación de pandeo:

$$N^* = 1025,3 \text{ N}; M_x^* = 17,345 \text{ N}\cdot\text{m}; M_y^* = 7904 \text{ N}\cdot\text{m}; y=x=0,05 \text{ m}; I_x=I_y=2,36\cdot 10^{-5} \text{ m}^4$$

$$i = \text{radio mínimo de giro} = \sqrt{I/A} = \sqrt{2,36\cdot 10^{-5} / 1,54\cdot 10^{-3}} = 0,124 \text{ m.}$$

$\beta = 1$ (Biempotrado).

$$l = 1,25 \text{ m.}$$

$$l_k = l/\beta = 1,25 \text{ m.}$$

$\lambda = l_k/i = 11 < 115$; se toma $\lambda = 115$ (Recomendación del autor Argüelles, La estructura metálica hoy) y un acero S-275 $\Rightarrow \omega = 2,57$

$$\sigma^* = \frac{N^*}{A} \omega + M_x^* \frac{y}{I_x} + M_y^* \frac{x}{I_y} = 1,85\cdot 10^7 \text{ Pa} \leq \sigma_u = 2,50\cdot 10^8 \text{ Pa}$$

2.9.2 Vigas del chasis (200mm)x(100mm)x(10mm):

La comprobación se realiza en la hipótesis del caso B1, posición 5.⇒**HIPÓTESIS I.**

a) Comprobación de resistencia:

$$N^*=9231,7 \text{ N}; M_x^*=22585 \text{ N}\cdot\text{m}; M_y^*=9,462 \text{ N}\cdot\text{m}; y=0,05 \text{ m}; x=0,1 \text{ m}; I_x=2,78\cdot 10^{-5} \text{ m}^4 \\ I_y=8,99\cdot 10^{-6} \text{ m}^4$$

$$\sigma^* = \frac{N^*}{A} + M_x^* \frac{y}{I_x} + M_y^* \frac{x}{I_y} = 4,23\cdot 10^7 \text{ Pa} \leq \sigma_u = 2,50\cdot 10^8 \text{ Pa}$$

b) Comprobación de pandeo:

$$N^*=3940,1 \text{ N}; M_x^*=259,23 \text{ N}\cdot\text{m}; M_y^*=1 \text{ N}\cdot\text{m}; y=0,05 \text{ m}; x=0,1 \text{ m}; I_x=2,78\cdot 10^{-5} \text{ m}^4 \\ I_y=8,99\cdot 10^{-6} \text{ m}^4$$

$$i = \text{radio mínimo de giro} = \sqrt{I/A} = \sqrt{8,99\cdot 10^{-6} / 5,60\cdot 10^{-3}} = 0,04 \text{ m.}$$

$\beta=1$ (Biempotrado).

$l=4 \text{ m.}$

$l_k=l/\beta=4 \text{ m.}$

$\lambda = l_k/i=100 < 115$; se toma $\lambda=115$ (Recomendación del autor Argüelles, La estructura metálica hoy) y un acero S-275⇒ $\omega=2,57$

$$\sigma^* = \frac{N^*}{A} \omega + M_x^* \frac{y}{I_x} + M_y^* \frac{x}{I_y} = 2,10^6 \text{ Pa} \leq \sigma_u = 2,50\cdot 10^8 \text{ Pa}$$

2.9.3 Vigas de las guías del chasis (100mm)x(100mm)x(10mm):

La comprobación se realiza en la hipótesis del caso B1, posición 5.⇒**HIPÓTESIS I.**

a) Comprobación de resistencia:

$$N^*=9231,7 \text{ N}; M_x^*=23423 \text{ N}\cdot\text{m}; M_y^*=8,88 \text{ N}\cdot\text{m}; y=x=0,05 \text{ m}; I_x=I_y=4,92\cdot 10^{-6} \text{ m}^4$$

$$\sigma^* = \frac{N^*}{A} + M_x^* \frac{y}{I_x} + M_y^* \frac{x}{I_y} = 2,41\cdot 10^8 \text{ Pa} \leq \sigma_u = 2,50\cdot 10^8 \text{ Pa}$$

b) Comprobación de pandeo:

Dicha barra no se encuentra sometida a compresión en ningún punto.

2.9.4 Vigas longitudinales del soporte (100mm)x(100mm)x(4mm):

La comprobación se realiza en la hipótesis carga repartida sobre viga del soporte longitudinal. ⇒ **HIPÓTESIS III.**

a) Comprobación de resistencia:

$$N^* = 7564,6 \text{ N}; M_x^* = 5589,5 \text{ N}\cdot\text{m}; M_y^* = 8,99 \cdot 10^{-2} \text{ N}\cdot\text{m}; y=x=0,05 \text{ m}; I_x = I_y = 2,36 \cdot 10^{-5} \text{ m}^4$$

$$\sigma^* = \frac{N^*}{A} + M_x^* \frac{y}{I_x} + M_y^* \frac{x}{I_y} = 1,68 \cdot 10^7 \text{ Pa} \leq \sigma_u = 2,50 \cdot 10^8 \text{ Pa}$$

b) Comprobación de pandeo:

$$N^* = 7564,6 \text{ N}; M_x^* = 5589,5 \text{ N}\cdot\text{m}; M_y^* = 8,99 \cdot 10^{-2} \text{ N}\cdot\text{m}; y=x=0,05 \text{ m}; I_x = I_y = 2,36 \cdot 10^{-5} \text{ m}^4$$

$$i = \text{radio mínimo de giro} = \sqrt{I/A} = \sqrt{2,369 \cdot 10^{-5} / 1,54 \cdot 10^{-3}} = 0,124 \text{ m.}$$

$\beta = 1$ (Biempotrado).

$$l = 4 \text{ m.}$$

$$l_k = l/\beta = 4 \text{ m.}$$

$\lambda = l_k/i = 32,25 < 115$; se toma $\lambda = 115$ (Recomendación del autor Argüelles, La estructura metálica hoy) y un acero S-275 ⇒ $\omega = 2,57$

$$\sigma^* = \frac{N^*}{A} \omega + M_x^* \frac{y}{I_x} + M_y^* \frac{x}{I_y} = 2,45 \cdot 10^7 \text{ Pa} \leq \sigma_u = 2,50 \cdot 10^8 \text{ Pa}$$

2.9.5 Vigas transversales del soporte (100mm)x(50mm)x(4mm):

La comprobación se realiza en la hipótesis carga repartida sobre viga del soporte transversal. ⇒ **HIPÓTESIS II.**

a) Comprobación de resistencia:

$$N^* = 1072,5 \text{ N}; M_x^* = 1788,3 \text{ N}\cdot\text{m}; M_y^* = 37,462 \text{ N}\cdot\text{m}; y=0,025 \text{ m}; x=0,05 \text{ m}; I_x = 1,44 \cdot 10^{-5} \text{ m}^4; I_y = 4,74 \cdot 10^{-6} \text{ m}^4$$

$$\sigma^* = \frac{N^*}{A} + M_x^* \frac{y}{I_x} + M_y^* \frac{x}{I_y} = 4,44 \cdot 10^6 \text{ Pa} \leq \sigma_u = 2,50 \cdot 10^8 \text{ Pa}$$

b) Comprobación de pandeo:

$$N^* = 1072,5 \text{ N}; M_x^* = 1788,3 \text{ N}\cdot\text{m}; M_y^* = 37,462 \text{ N}\cdot\text{m}; y=0,025 \text{ m}; x=0,05 \text{ m}; I_x = 1,44 \cdot 10^{-5} \text{ m}^4; I_y = 4,74 \cdot 10^{-6} \text{ m}^4$$

$$i = \text{radio mínimo de giro} = \sqrt{I/A} = \sqrt{4,74 \cdot 10^{-6} / 1,14 \cdot 10^{-3}} = 0,0645 \text{ m.}$$

$$\beta = 1 \text{ (Biempotrado).}$$

$$l = 1,5 \text{ m.}$$

$$l_k = l/\beta = 1,5 \text{ m.}$$

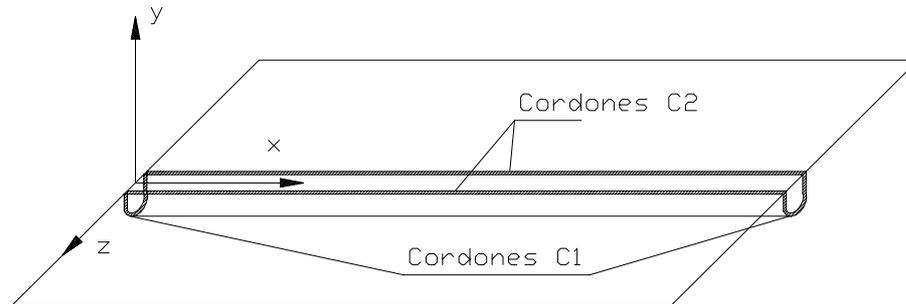
$\lambda = l_k/i = 23,23 < 115$; se toma $\lambda = 115$ (Recomendación del autor Argüelles, La estructura metálica hoy) y un acero S-275 $\Rightarrow \omega = 2,57$

$$\sigma^* = \frac{N^*}{A} \omega + M_x^* \frac{y}{I_x} + M_y^* \frac{x}{I_y} = 5,92 \cdot 10^6 \text{ Pa} \leq \sigma_u = 2,50 \cdot 10^8 \text{ Pa}$$

3. SOLDADURA:

3.1 Soldadura del rigidizador longitudinal de la plataforma

Se calculan siguiendo el método descrito por la norma UNE 14 035



El caso del rigidizador, es de torsión y esfuerzo cortante combinados, con dos cordones laterales y dos cordones frontales, el caso de carga que origina tensiones más desfavorable, es el caso B2, posición del apoyo móvil 5.

La carga de rotura del metal depositado para soldadura de aceros al carbono se toma de $42 \text{ kg/mm}^2 = 4,116 \cdot 10^8 \text{ Pa}$ según EA-95.

$$\sigma_{adm} = 4,116 \cdot 10^8 \text{ N/m}^2$$

La garganta de soldadura será de $2,5 \text{ mm}$.

La carga máxima estática a la que puede estar sometida es según UNE:

Cordones laterales C1:

$$l_2 = 0,5 \text{ m.}$$

$$h = 0,10 \text{ m (ancho del rigidizador)}$$

$$\text{Cortante} = \sigma_{IP} = \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot \frac{F_y}{l_2 \cdot a_2} = \frac{47,325}{\sqrt{2}(0,5 \cdot 0,0025)} = 26771,1 \text{ N/m}^2$$

$$\text{Torsor} = \tau_{IP} = \frac{M_{torsor}}{(h + a_2)l_2 a_2} = \frac{\sqrt{M_x^2 + M_y^2}}{(0,1 + 0,0025) \cdot 0,5 \cdot 0,0025} = \frac{\sqrt{2,94^2 + 1,423^2}}{(0,1 + 0,0025) \cdot 0,5 \cdot 0,0025} = 25493 \text{ N/m}^2$$

De los resultados de esfuerzos de ANSYS.

Cordones frontales C2:

$$l_1 = 0,1 \text{ m.}$$

$$h = 0,10 \text{ m (ancho del rigidizador)}$$

$$\text{Cortante} = \tau_{IIM} = \frac{Mt}{(l+a_1)l_1a_1} = \frac{Mx}{(l+a_1)l_1a_1} = \frac{0,86}{(0,1+0,0025)0,1 \cdot 0,0025} = 33561 \text{ N/m}^2$$

$$\text{Torsor} = \tau_{IIP} = \frac{P}{2 \cdot l_1 \cdot a_1} = \frac{Fy}{l_1 \cdot a_1} = \frac{0,071}{0,1 \cdot 0,0025} = 0,693 \text{ N/m}^2$$

De los resultados de esfuerzos de ANSYS.

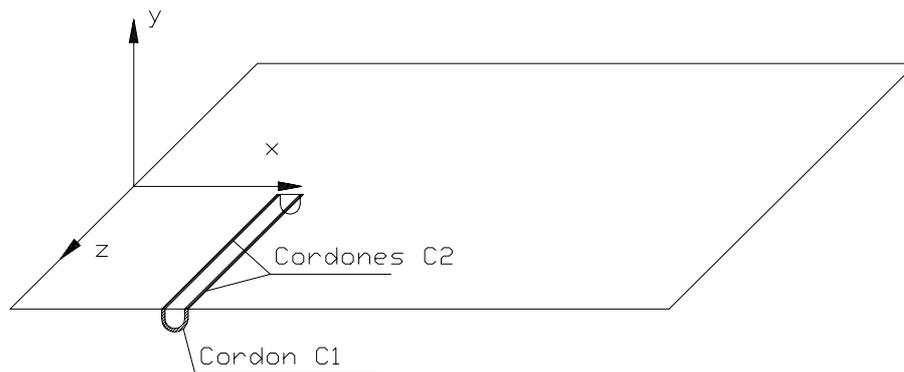
Comprobación para los cordones C1:

$$\sigma_C = 1,34(\tau_{IIM} + \tau_{IIP}) = 44973 \text{ N/m}^2 < 4,116 \cdot 10^8 \text{ N/m}^2.$$

Comprobación para los cordones C2:

$$\sigma_C = \sqrt{\sigma_{IP}^2 + 1,8(\tau_{IP}^2 + \tau_{IIM}^2)} = 62561,3 \text{ N/m}^2 < 4,116 \cdot 10^8 \text{ N/m}^2.$$

3.2 Soldadura del rigidizador transversal de la plataforma:



El caso del rigidizador, es de torsión y esfuerzo cortante combinados, con dos cordones laterales y un cordón frontal, el caso de carga que origina tensiones más desfavorable, es el caso B2, posición del apoyo móvil 5.

$$M_e = \text{Momento máximo en el cordón frontal} = 4,708 \text{ N}\cdot\text{m}$$

$$P = 151,73 \text{ N}$$

$$M_z = \text{Torsor máximo.}$$

La garganta de soldadura será de 2,5 mm.

Comprobación para el cordón C1:

$$l_1 = 0,06 \text{ m}$$

$$\frac{M_e \cdot 6 \cdot \sqrt{1,4}}{a_1 \cdot l_1} = \frac{4,708 \cdot 6 \cdot \sqrt{1,4}}{0,0025 \cdot 0,06} = 222823 \text{ N/m}^2 < 4,116 \cdot 10^8 \text{ N/m}^2.$$

Comprobación para los cordones C2:

$$l_2=0,7 \text{ m}$$

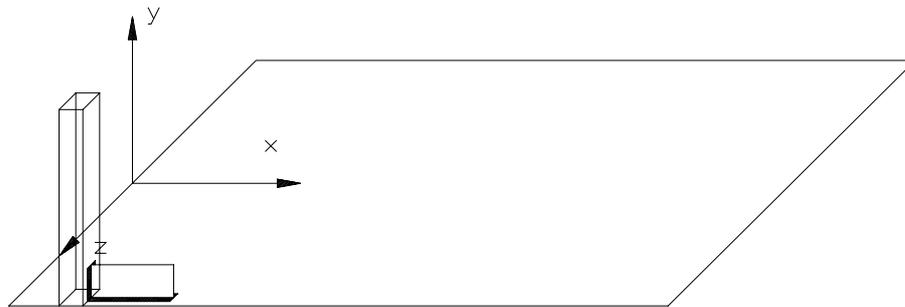
$$\sigma_{IP} = \tau_{IP} = \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot \frac{F_y}{l_2 \cdot a_2} = \frac{151,73}{\sqrt{2}(0,7 \cdot 0,0025)} = 61308,2 \text{ N/m}^2.$$

$$\sigma_{IP} = \tau_{IP} = \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot \frac{F_y}{l_2 \cdot a_2} = \frac{151,73}{\sqrt{2}(0,7 \cdot 0,0025)} = 61308,2 \text{ N/m}^2.$$

$$\tau_{IM} = \frac{Mt}{(l+a_1)l_1a_1} = \frac{M_z}{(l+a_1)l_1a_1} = \frac{4,8108}{(0,7+0,0025)0,06 \cdot 0,0025} = 45722,42 \text{ N/m}^2$$

$$\sigma_C = \sqrt{\sigma_{IP}^2 + 1,8(\tau_{IP}^2 + \tau_{IM}^2)} = 1,9531 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2 < 4,116 \cdot 10^8 \text{ N/m}^2.$$

3.3 Soldadura del rodapié:



Se analiza la soldadura, en el caso de flexión simple con cordones longitudinales y transversales, caso de flexión simple.

Al haber rodapié longitudinal y transversal se toman los esfuerzos más desfavorables.

Las soldaduras del rodapié transversal son las que condicionan el diseño.

$$M_z = 13,718 \text{ N}\cdot\text{m}$$

$$P = F_x = 1,6865 \text{ N}.$$

$$W = I/d_{\max} = \frac{2 \cdot \left(\frac{0,2^3 \cdot 0,0025}{12} + 0,004 \cdot 0,0025 \cdot \left(0,004 + \frac{0,0025}{2} \right)^2 \right)}{0,55} = 3,6364 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3.$$

Dicho momento resistente se obtiene, considerando que sólo actúan los cordones verticales del rodapié.

La garganta de soldadura será de 2,5 mm.

Primera comprobación:

$$h_{\max} = \frac{M}{W} = 377240 \text{ N/m}^2 < 0,85 \cdot \sigma_{\text{adm}} = 3,50 \cdot 10^8 \text{ N/m}^2$$

Segunda comprobación:

$$\sigma_I = \frac{h_{\max}}{\sqrt{2}} = 266749 \text{ N/m}^2.$$

$$\tau_{I1med} = \frac{P}{2 \cdot a_3 \cdot l_3} = \frac{1,6865}{2 \cdot 0,0025 \cdot 0,004} = 84325 \text{ N/m}^2.$$

$$\sigma_C = \sqrt{2,8 \cdot \left(\frac{l_3}{h_1 + a_1} \right) \sigma_I^2 + 1,8 \tau_{I1med}^2} = \sqrt{2,8 \cdot \left(\frac{0,004}{0,0065 + 0,0025} \right) 266749^2 + 1,8 \cdot 84325^2} = 318352 \text{ N/m}^2 < 4,116 \cdot 10^8 \text{ N/m}^2.$$

3.4 Soldadura del cordón de las barras que conforman la barandilla:

Se toman, los esfuerzos más desfavorables:

$$P = \sqrt{4,2193^2 + 22,765^2} = 23,153 \text{ N.}$$

$$M = \sqrt{6,2476^2 + 449,78^2} = 449,823 \text{ N}\cdot\text{m}$$

$$W = I/d_{\max} = \frac{2 \cdot \left(\frac{0,1^3 \cdot 0,0025}{12} + 0,1 \cdot 0,0025 \cdot \left(0,05 + \frac{0,0025}{2} \right)^2 \right)}{0,10} = 1,73 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3.$$

Dicho momento resistente se obtiene, considerando que sólo actúan dos cordones paralelos.

La garganta de soldadura será de 2,5 mm.

Primera comprobación:

$$h_{\max} = \frac{M}{W} = 2,600 \cdot 10^7 \text{ N/m}^2 < 0,85 \cdot \sigma_{\text{adm}} = 3,50 \cdot 10^8 \text{ N/m}^2$$

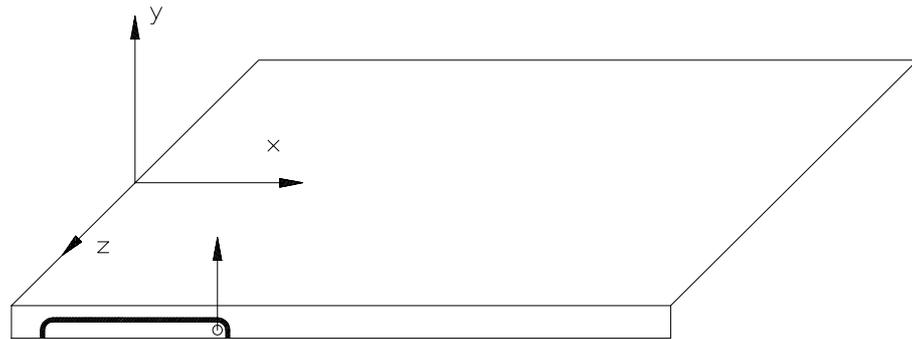
Segunda comprobación:

$$\sigma_I = \frac{h_{\max}}{\sqrt{2}} = 1,84 \cdot 10^7 \text{ N/m}^2.$$

$$\tau_{II\text{med}} = \frac{P}{2 \cdot a_3 \cdot l_3} = \frac{23,153}{2 \cdot 0,0025 \cdot 0,1} = 46306 \text{ N/m}^2.$$

$$\sigma_C = \sqrt{2,8 \cdot \left(\frac{l_3}{h_1 + a_1} \right) \sigma_I^2 + 1,8 \tau_{II\text{med}}^2} = \sqrt{2,8 \cdot \left(\frac{0,0995}{0,1025 + 0,0025} \right) (1,84 \cdot 10^7)^2 + 1,8 \cdot 46306^2} = 2,9972 \cdot 10^7 \text{ N/m}^2 < 4,116 \cdot 10^8 \text{ N/m}^2.$$

3.5 Soldadura de la guía de la plataforma con la plataforma:



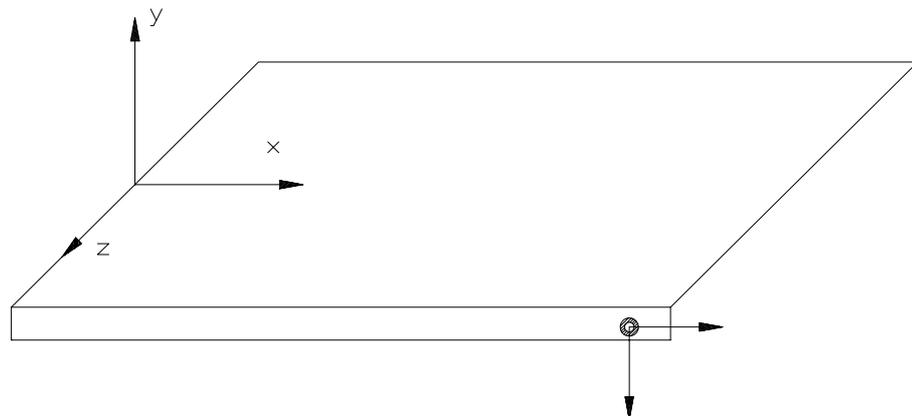
El caso de la guía del apoyo móvil de la plataforma, es de tracción con dos cordones laterales y un cordón frontal, el caso de carga que origina tensiones más desfavorable, es el caso B1, posición del apoyo móvil 5.

La garganta de soldadura será de 2,5 mm.

$$P=31060 \text{ N}$$

$$\frac{P}{\sum l_2 a_a} = \frac{31060}{(2 \cdot 0,10) \cdot 0,0025} = 6,212 \cdot 10^7 \text{ N/m}^2 < 0,75 \cdot \sigma_{adm} = 3,088 \cdot 10^8 \text{ N/m}^2$$

3.6 Soldadura de apoyo fijo de la plataforma con la plataforma:



El caso del apoyo fijo de la plataforma, es de flexión simple con cordones laterales y transversales, el caso de carga que origina tensiones más desfavorable, es el caso B1, posición del apoyo móvil 5.

$$P = \sqrt{R_x^2 + R_y^2} = \sqrt{3940^2 + 8324,23^2} = 9210 \text{ N}$$

$$W = I/d_{\max} = \frac{\left(\frac{0,06125^3 \cdot \pi}{4} - \frac{0,06^3 \cdot \pi}{4} \right)}{0,03} = 3,6084 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3.$$

$$M = P \cdot L = 9210 \cdot 0,15 \text{ N} \cdot \text{m} = 1381,5 \text{ N} \cdot \text{m}$$

L=brazo de palanca, distancia de la soldadura al eje del apoyo en el mecanismo.

La garganta de soldadura será de 2,5 mm.

Primera comprobación:

$$h_{\max} = \frac{M}{W} = \frac{9210 \cdot 0,15}{3,6084 \cdot 10^{-4}} = 3,83 \cdot 10^6 \text{ N/m}^2 < 0,85 \cdot \sigma_{\text{adm}} = 3,50 \cdot 10^8 \text{ N/m}^2$$

Segunda comprobación:

$$\sigma_I = \frac{h_{\max}}{\sqrt{2}} = 2,71 \cdot 10^6 \text{ N/m}^2.$$

$$\tau_{II \text{ med}} = \frac{P}{2 \cdot a_3 \cdot l_3} = \frac{9210}{2 \cdot 0,0025 \cdot 0,06} = 3,07 \cdot 10^7 \text{ N/m}^2.$$

$$\sigma_C = \sqrt{2,8 \cdot \left(\frac{l_3}{h_1 + a_1} \right) \sigma_I^2 + 1,8 \tau_{II \text{ med}}^2} = \sqrt{2,8 \cdot \left(\frac{0,06}{0,0625 + 0,0025} \right) (2,7 \cdot 10^6)^2 + 1,8 \cdot (3,07 \cdot 10^7)^2} = 4,142 \cdot 10^7 \text{ N/m}^2 < 4,116 \cdot 10^8 \text{ N/m}^2.$$

3.7 Soldadura de apoyo fijo del mecanismo con el chasis:

El caso del apoyo fijo de la plataforma, es de flexión simple con cordones laterales y transversales, el caso de carga que origina tensiones más desfavorable, es el caso B1, posición del apoyo móvil 5.

$$P = \sqrt{R_x^2 + R_y^2} = \sqrt{665,29^2 + 14021,5^2} = 14037,3 \text{ N}$$

$$W = I/d_{\max} = \frac{\left(\frac{0,0614^3 \cdot \pi}{4} - \frac{0,06^3 \cdot \pi}{4} \right)}{0,03} = 4,05 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3.$$

$$M = P \cdot L = 14037,5 \cdot 0,15 \text{ N} \cdot \text{m} = 2106 \text{ N} \cdot \text{m}$$

L=brazo de palanca, distancia de la soldadura al eje del apoyo en el mecanismo.

La garganta de soldadura será de 4 mm.

Primera comprobación:

$$h_{\max} = \frac{M}{W} = \frac{2106}{3,6084 \cdot 10^{-4}} = 5,20 \cdot 10^6 \text{ N/m}^2 < 0,85 \cdot \sigma_{\text{adm}} = 3,50 \cdot 10^8 \text{ N/m}^2$$

Segunda comprobación:

$$\sigma_I = \frac{h_{\max}}{\sqrt{2}} = 3,68 \cdot 10^6 \text{ N/m}^2.$$

$$\tau_{II \text{ med}} = \frac{P}{2 \cdot a_3 \cdot l_3} = \frac{14037,3}{2 \cdot 0,004 \cdot 0,06} = 2,92 \cdot 10^7 \text{ N/m}^2.$$

$$\sigma_C = \sqrt{2,8 \left(\frac{l_3}{h_1 + a_1} \right)^2 \sigma_I^2 + 1,8 \tau_{II \text{ med}}^2} = \sqrt{2,8 \left(\frac{0,06}{0,064 + 0,004} \right)^2 (3,68 \cdot 10^6)^2 + 1,8 (2,92 \cdot 10^7)^2} = 3,96 \cdot 10^7 \text{ N/m}^2 < 4,116 \cdot 10^8 \text{ N/m}^2.$$

3.8 Soldadura de los pistones al chasis:

El caso de la guía del apoyo móvil de la plataforma, es de flexión simple sólo cordones laterales de 20 cm, pero de 15 para el cálculo, el caso de carga que origina tensiones más desfavorable, es el caso B2, posición del apoyo móvil 5.

$$P = 23700 \text{ N}$$

Se considera un brazo de palanca de 15 cm ($l = 15 \text{ cm}$), del pistón, sobre la soldadura.

La garganta de soldadura será de 4 mm.

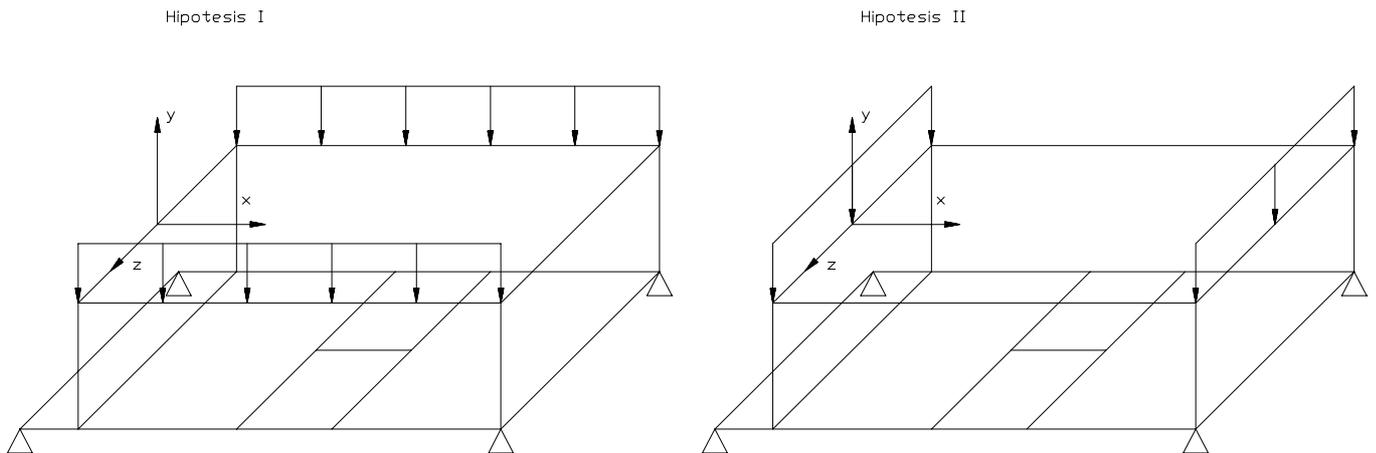
$$3,55 \cdot \frac{P \cdot l}{a \cdot H^2} = 3,55 \cdot \frac{23700 \cdot 0,15}{0,004 \cdot 0,15^2} = 1,40 \cdot 10^8 \text{ N/m}^2 < 4,116 \cdot 10^8 \text{ N/m}^2.$$

$$\sigma_{I \text{ max}} = \frac{3}{\sqrt{2}} \frac{P \cdot l}{a \cdot H^2} = 8,38 \cdot 10^7 \text{ N/m}^2 = \tau_{I \text{ max}}.$$

$$\tau_{II \text{ med}} = \frac{P}{2 \cdot a \cdot H} = 1,975 \cdot 10^7 \text{ N/m}^2$$

$$\sigma_C = \sqrt{\sigma_{I \text{ max}}^2 + 1,8(\tau_{I \text{ max}}^2 + \tau_{II \text{ med}}^2)} = 1,43 \cdot 10^8 \text{ N/m}^2 < 4,116 \cdot 10^8 \text{ N/m}^2.$$

3.9 Soldadura del cordón de las barras del soporte:



Se toman los esfuerzos más desfavorables de las dos hipótesis de la figura:

Los pesos, de las diferentes partes que soporta el soporte son:

Parte del conjunto:	Peso (N):
Mecanismo	27570
Plataforma	4526,4
Materiales	5880
TOTAL	37976,4 N

Hipótesis I: 40000 N sobre las vigas longitudinales del soporte.

$$Q = \frac{40000 \text{ N}}{2 \text{ vigas} \cdot 4 \text{ metros}} = 5000 \text{ N/m.}$$

Hipótesis II: 40000 N sobre las vigas transversales del soporte.

$$Q = \frac{40000 \text{ N}}{2 \text{ vigas} \cdot 1,5 \text{ metros}} = 13333,33 \text{ N/m.}$$

Se toman, los esfuerzos más desfavorables:

$$P = \sqrt{10519^2 + 7218^2} = 12757 \text{ N.}$$

$$M = \sqrt{5266^2 + 2,6127^2} = 5266 \text{ N}\cdot\text{m}$$

$$W = I/d_{\max} = \frac{2 \cdot \left(\frac{0,1^3 \cdot 0,0025}{12} + 0,1 \cdot 0,0025 \cdot \left(0,05 + \frac{0,0025}{2} \right)^2 \right)}{0,10} = 1,73 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3.$$

Dicho momento resistente se obtiene, considerando que sólo actúan dos cordones paralelos.

La garganta de soldadura será de 2,5 mm.

Primera comprobación:

$$h_{\max} = \frac{M}{W} = 3,04 \cdot 10^8 \text{ N/m}^2 < 0,85 \cdot \sigma_{\text{adm}} = 3,50 \cdot 10^8 \text{ N/m}^2$$

Segunda comprobación:

$$\sigma_I = \frac{h_{\max}}{\sqrt{2}} = 2,15 \cdot 10^8 \text{ N/m}^2.$$

$$\tau_{II \text{ med}} = \frac{P}{2 \cdot a_3 \cdot l_3} = \frac{12757}{2 \cdot 0,0025 \cdot 0,1} = 2,5514 \cdot 10^7 \text{ N/m}^2.$$

$$\sigma_C = \sqrt{2,8 \cdot \left(\frac{l_3}{h_1 + a_1} \right) \sigma_I^2 + 1,8 \tau_{II \text{ med}}^2} = \sqrt{2,8 \cdot \left(\frac{0,0995}{0,1025 + 0,0025} \right) (2,15 \cdot 10^8)^2 + 1,8 \cdot (2,55 \cdot 10^7)^2} = 3,52 \cdot 10^8 \text{ N/m}^2 < 4,116 \cdot 10^8 \text{ N/m}^2.$$

3.10 Soldadura del cordón de las barras del chasis:

Se toman los esfuerzos más desfavorables de las hipótesis consideradas para el cálculo de la soldadura de las barras del soporte, (las dos hipótesis del caso anterior), y el resto de hipótesis de cálculo, la más desfavorable resulta posición 5, caso B1:

Se toman, los esfuerzos más desfavorables:

$$P = \sqrt{7113,3^2 + 14185^2} = 15869 \text{ N.}$$

$$M = \sqrt{252,05^2 + 6857,8^2} = 6862,43 \text{ N}\cdot\text{m}$$

$$W = I/d_{\max} = \frac{2 \cdot \left(\frac{0,1^3 \cdot 0,004}{12} + 0,1 \cdot 0,004 \cdot \left(0,05 + \frac{0,004}{2} \right)^2 \right)}{0,05} = 5,66 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3.$$

Dicho momento resistente se obtiene, considerando que sólo actúan dos cordones paralelos.

La garganta de soldadura será de 4 mm.

Primera comprobación:

$$h_{\max} = \frac{M}{W} = 1,21 \cdot 10^8 \text{ N/m}^2 < 0,85 \cdot \sigma_{\text{adm}} = 3,50 \cdot 10^8 \text{ N/m}^2$$

Segunda comprobación:

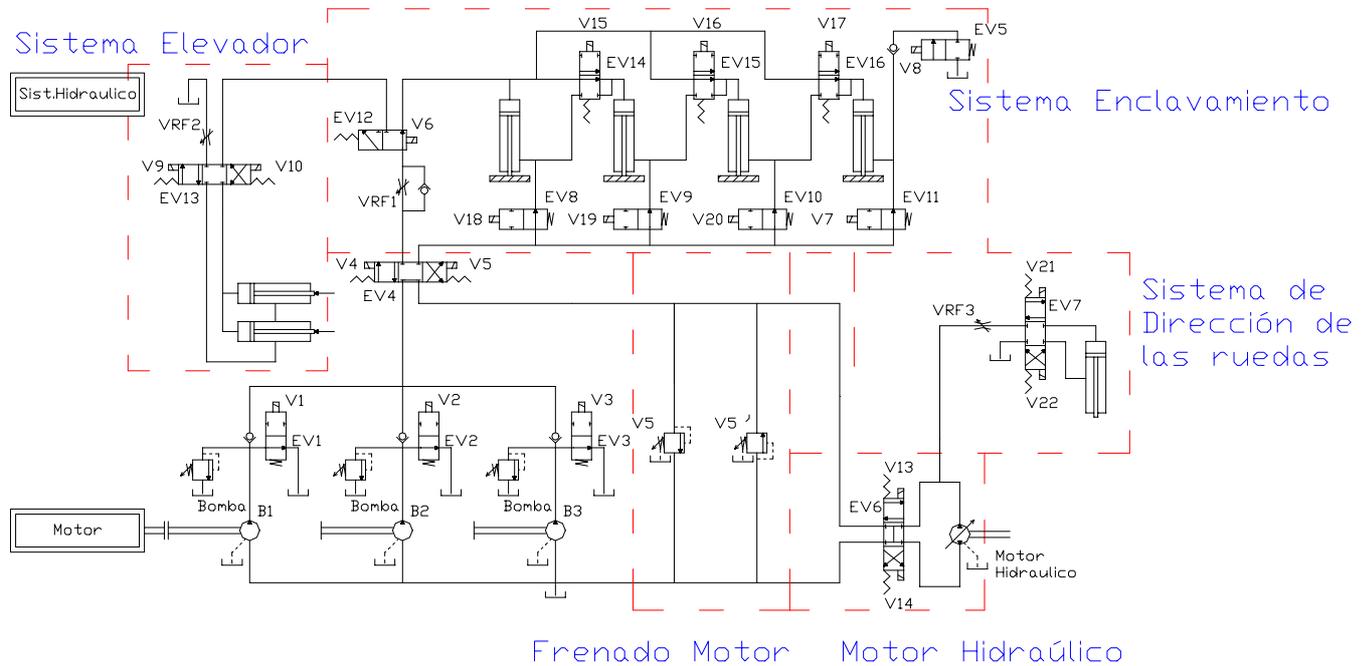
$$\sigma_I = \frac{h_{\max}}{\sqrt{2}} = 8,57 \cdot 10^7 \text{ N/m}^2.$$

$$\tau_{II\text{med}} = \frac{P}{2 \cdot a_3 \cdot l_3} = \frac{15869}{2 \cdot 0,004 \cdot 0,1} = 1,98 \cdot 10^7 \text{ N/m}^2.$$

$$\sigma_C = \sqrt{2,8 \cdot \left(\frac{l_3}{h_1 + a_1} \right) \sigma_I^2 + 1,8 \tau_{II\text{med}}^2} = \sqrt{2,8 \cdot \left(\frac{0,0995}{0,104 + 0,004} \right) (8,57 \cdot 10^7)^2 + 1,8 \cdot (1,98 \cdot 10^7)^2} = 1,40 \cdot 10^8 \text{ N/m}^2 < 4,116 \cdot 10^8 \text{ N/m}^2.$$

4. SISTEMA HIDRÁULICO:

4.1 Esquema hidráulico:

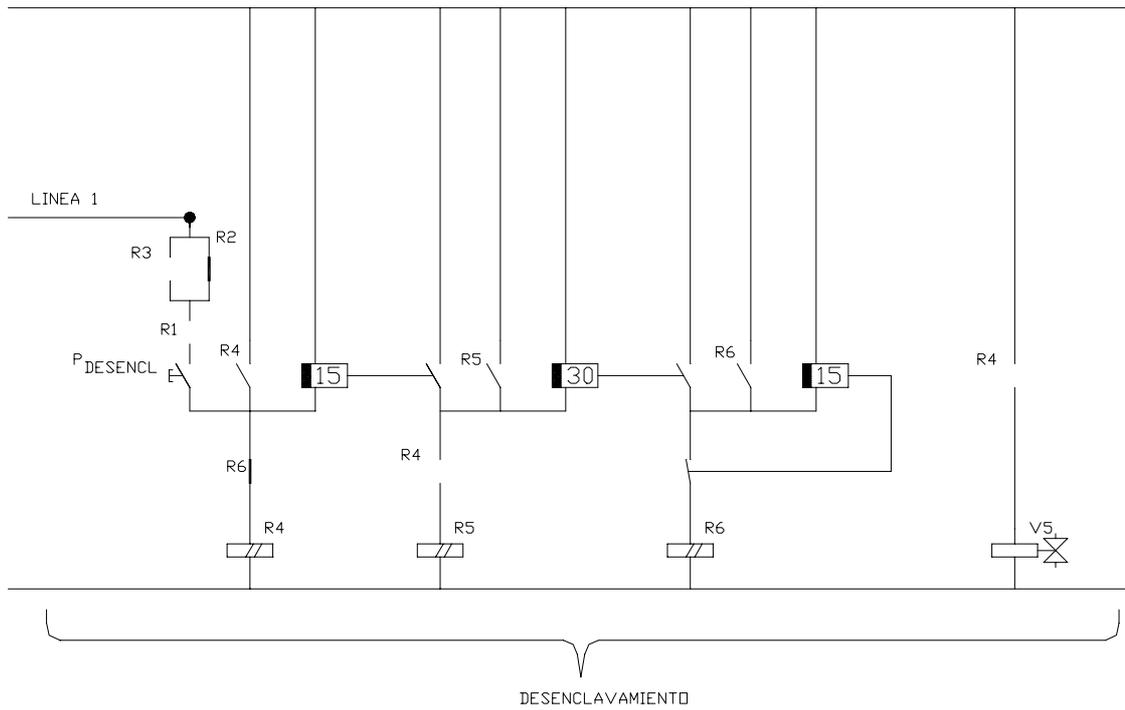
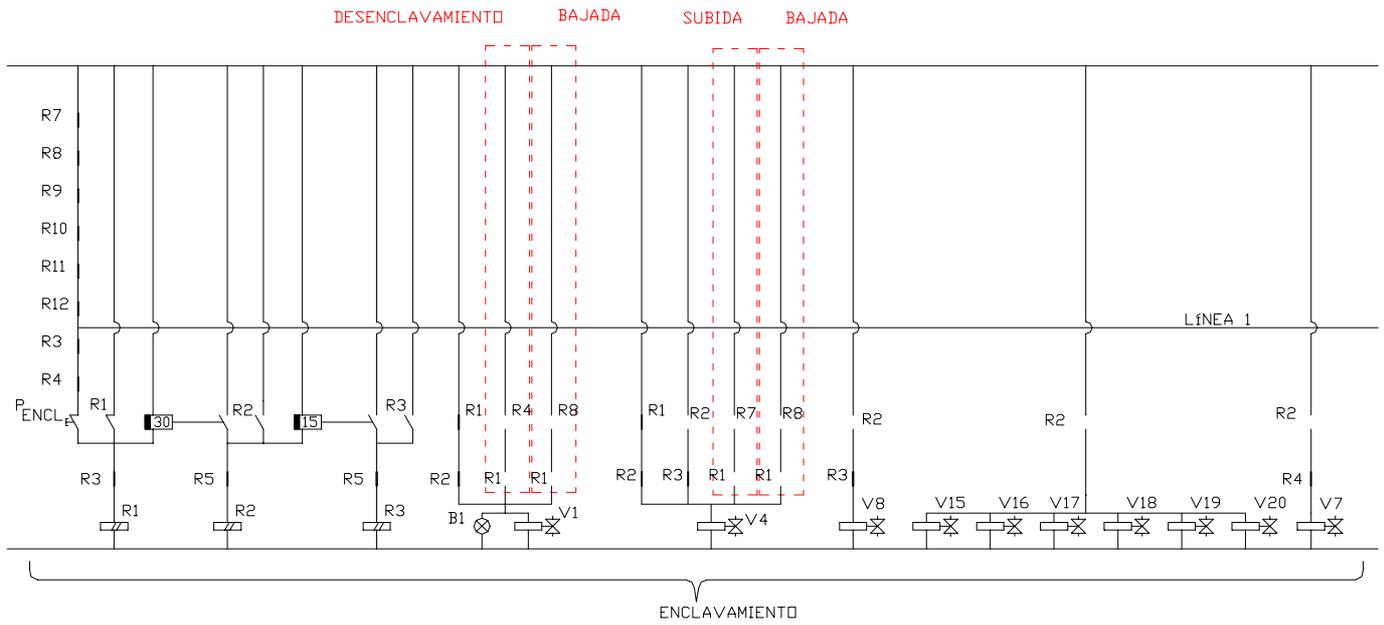


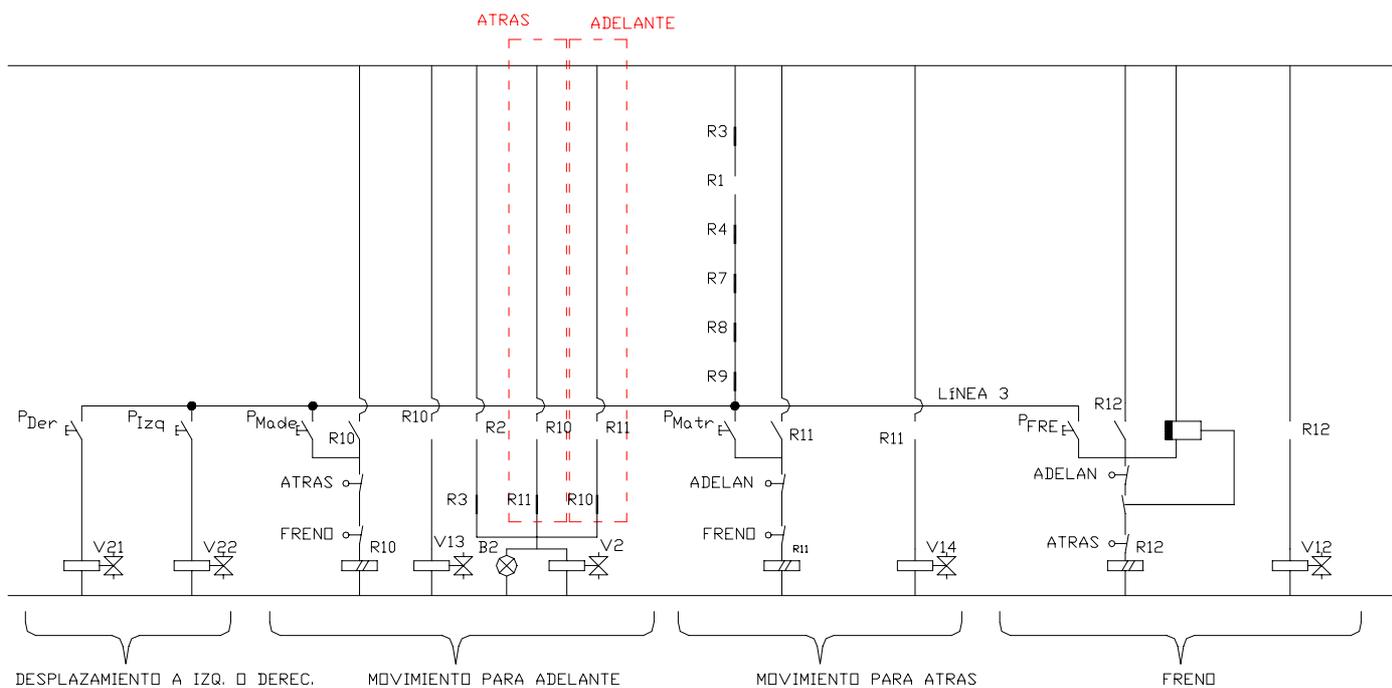
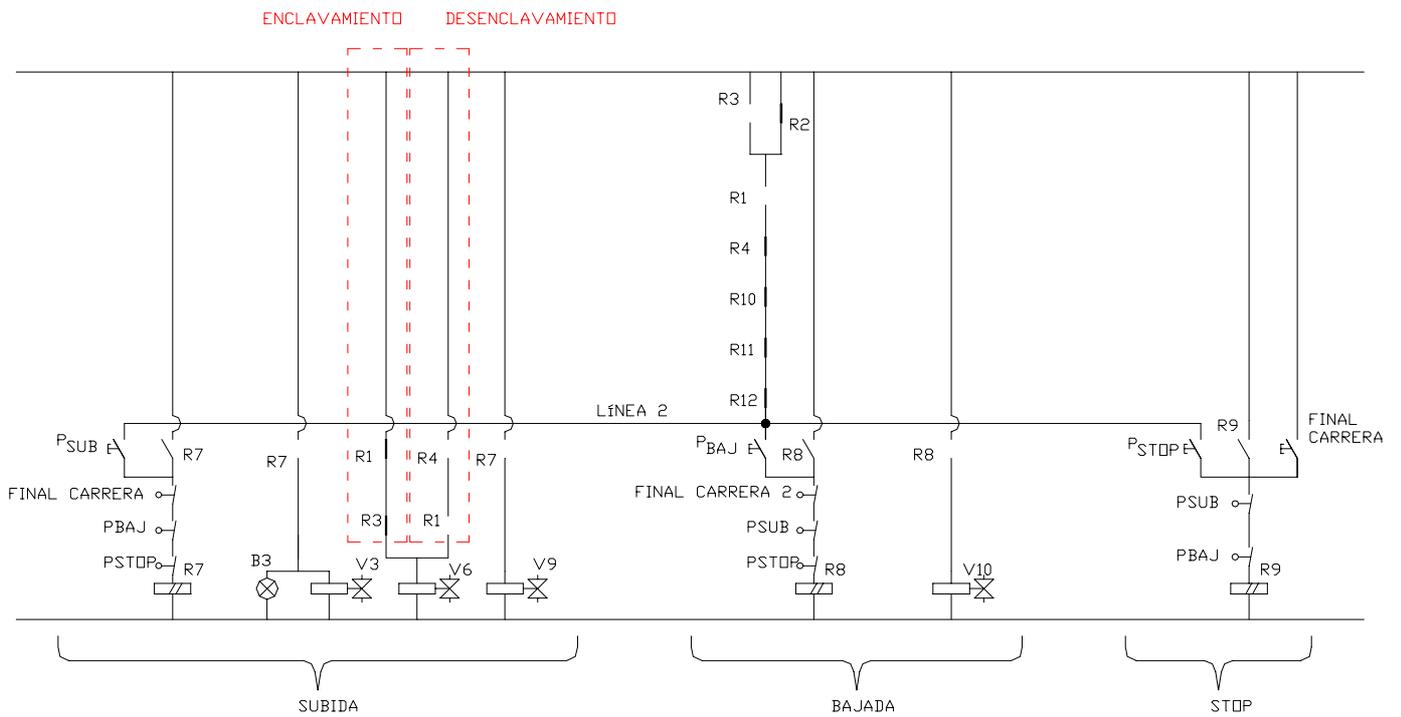
4.2 Cálculo del circuito hidráulico del enclavamiento:

El enclavamiento se va a considerar en tres fases, en función de cómo van actuando los relés.

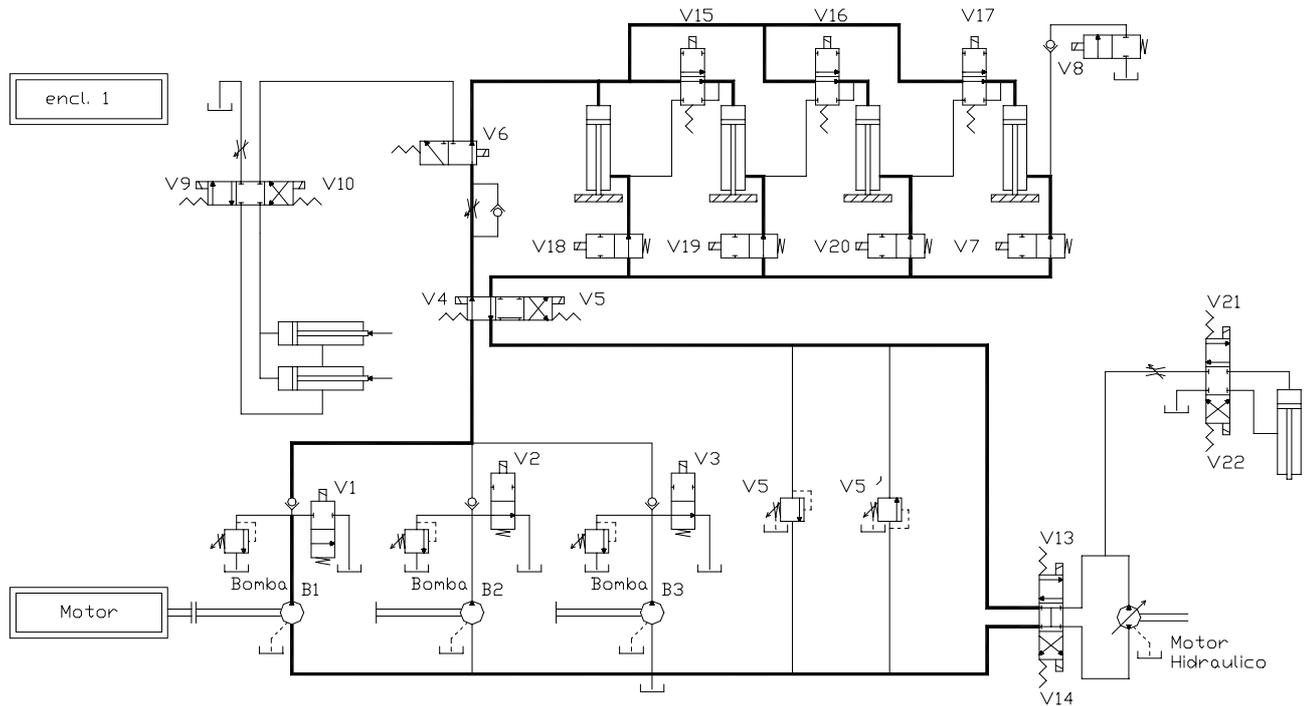
4.2.1 FASE 1 (apoyo de los pistones de enclavamiento, en el terreno):

Al pulsar P_{ENCL} , se cierra el relé R1, y el accionamiento electromagnético R1 enclava el relé, una vez activo el relé R1, se activará el relé R2 en la fase 2, por la acción de un relé temporizado RT1, al cabo de 30 segundos, el relé R1 permite que se active V4 y V6, además de B1 y V1





El esquema hidráulico quedaría:



La bomba que queda en funcionamiento es la bomba B1 y llega dicho caudal a través de la electroválvula EV4 y EV12, a los pistones del sistema de enclavamiento, los pistones apoyarán de esa forma una parte sustancial de la masa de todo el conjunto, sin llegar a ser suficiente para levantar dicho conjunto en vacío.

Cálculo del circuito hidráulico, del inicio del enclavamiento:

Las cargas de las diferentes partes del conjunto, son:

Parte del conjunto:	Peso (N):
Chasis + soporte	7499,3
Mecanismo	27570
Plataforma	4526,4
TOTAL	39596 N= 4040 Kg
TOTAL/4	9899 N= 1010,1 Kg

Se supone que cada pistón ejerce una fuerza de 5000 N, menor de 9899 N, que es nuestro límite de seguridad. 5000 N suponiendo reparto de carga uniforme, implica en Kg, para cada cilindro una carga de 127 Kg.

Se parte en el émbolo, de un cilindro de 80 mm de diámetro, calculando suponiendo un coeficiente de 1,15 debido a pérdidas por rozamientos y 0,9 por rendimiento del émbolo, la presión hidráulica resulta:

$$P = \frac{4 \cdot \left(\frac{1,15 \cdot F}{0,9} \right)}{D_e^2} = \frac{4 \cdot 6389}{0,08^2} = 12,71 \text{ bar} \text{ siendo la fuerza mayorada } F=6389 \text{ N} < 9899 \text{ N}$$

De la norma DIN 24334:

$$\frac{d_e}{d_v} = \varphi \quad \varphi = 1,25; 1,4; 1,6; 2; 2,5; 5$$

d_v = diámetro del vástago en *mm*.

d_e = diámetro del émbolo en *mm*.

Siendo d_e :

$$d_e \text{ (mm)} = 25; 32; 40; 50; 65; 80; 100; 125$$

Luego con $\varphi = 1,6$ y con $d_e = 80 \text{ mm}$, se tiene un diámetro del vástago; $d_v = 50 \text{ mm}$.

La comprobación a pandeo y los cálculos de los espesores se realiza con la presión de la fase 2 de enclavamiento

Suponiendo una longitud de total de carrera de 50 *cm*, para esta primera fase se suponen 40 *cm* de carrera y en la siguiente fase, se suponen 10 *cm* de carrera

Se parte de una bomba que suministra 20 *l/min* a los cuatros pistones, luego, se tiene:

$$\frac{Q}{4} = 20 \text{ l/min} = 0,000083333 \text{ m}^3/\text{s} = S \cdot V = \frac{\pi \cdot 0,08^2}{4} \cdot V \Rightarrow V = 0,01658 \text{ m/s}$$

Para una carrera de 40 *cm*:

$$\frac{L}{t} = V \Rightarrow \frac{0,4}{t} = 0,01658 \text{ m/s} \Rightarrow t = 24,13 \text{ s}$$

Se toma un relé temporizador, que active a los 30 segundos de llegarle una señal.

Tramo Pistones de enclavamiento-válvula EV12:

Se considera 7 metros de canalización.

Diámetro interior del conducto de 1".

Se calcula el número de Reynolds, considerando una viscosidad cinemática $\nu = 4,5^\circ E$, equivalente a 32 centistokes, es decir un aceite de grado ISO 32, de densidad 870 Kg/m^3 .

$$\nu = 3,2 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$$

$$Re = \frac{4 Q}{\pi D v} = 522,16 < 2000$$

Se considera la expresión de Hagen Poiseuille, para régimen laminar (h_{pl}):

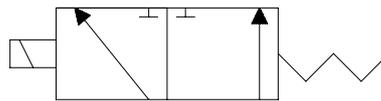
$$h_{pl} = \frac{128 L Q v}{g \pi D_i^4} = 1,49 \text{ bar}$$

Luego la presión a la salida de la válvula EV12, será:

$$P_s(\text{EV12}) = 12,71 + 1,49 = 14,20 \text{ bar.}$$

Se ha consultado catálogo de la firma Sauer-Danfoss, para una válvula de 3 vías, con límite de funcionamiento de caudal $Q \geq 61 \text{ l/min}$, en una válvula de referencia CP521-1, en el diagrama correspondiente se tiene para 20 l/min una pérdida de carga de 1 bar, si se considera una pérdida de 1,5 bar en la entrada y en la salida, se tiene como presión a la entrada de la válvula:

$$P_e(\text{EV12}) = 14,20 + 1 + 1,5 + 1,5 = 18,20 \text{ bar.}$$



Tramo válvula EV12-válvula VRF1:

Se considera 0,5 metros de canalización.

Diámetro interior del conducto de 1".

De la expresión de Hagen Poiseuille, para régimen laminar (h_{pl}):

$$h_{pl} = \frac{128 L Q v}{g \pi D_i^4} = 0,11 \text{ bar}$$

Luego la presión a la salida de la electroválvula VRF1, será:

$$P_s(\text{VRF1}) = 18,20 + 0,11 = 18,31 \text{ bar.}$$

A continuación se calcula la pérdida de carga, en la válvula reguladora de flujo VRF1:

$$Q = 0,0003333 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \cdot 3600 \frac{\text{s}}{\text{h}} \cdot 4,403 \frac{\text{USGallon}/\text{min}}{\text{m}^3/\text{h}} = 5,284 \text{ USGallon}/\text{min}$$

La gravedad específica G será:

$$G = (870 \text{ Kg}/\text{m}^3) / 1000 \text{ Kg}/\text{m}^3 = 0,87$$

$$C_v = Q \sqrt{\frac{G}{\Delta P}} = 5,284 \sqrt{\frac{0,87}{AP}} = 2,31 \Rightarrow AP = G \left(\frac{Q}{C_{vr}} \right)^2 = 13,33 \text{ psi} = 0,936 \text{ bar}$$

Con una válvula con $C_{vr}=2,31$ (se justificará dicho valor más adelante)

Siendo la presión de entrada de $P_e=18,31+0,936=19,24$ bar.

Tramo válvula VRF1-válvula EV4:

Se considera 0,5 metros de canalización.

Diámetro interior del conducto de 1".

De la expresión de Hagen Poiseuille, para régimen laminar (h_{pl}):

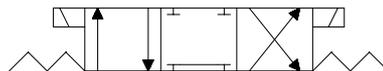
$$h_{pl} = \frac{128 L Q v}{g \pi D_i^4} = 0,11 \text{ bar}$$

Luego la presión a la salida de la electroválvula EV1, será:

$$P_s(\text{EV1}) = 19,24 + 0,11 = 19,35 \text{ bar.}$$

Se ha consultado catálogo de la firma Sauer-Danfoss, para una válvula de 4 vías, con límite de funcionamiento de caudal $Q=95$ l/min, en una válvula de referencia DCV-05-C11, en el diagrama correspondiente se tiene para 20 l/min una pérdida de carga de 1,5 bar, si se considera una pérdida de 1,5 bar en la entrada y en la salida, se tiene como presión a la entrada de la válvula:

$$P_e(\text{EV1}) = 19,35 + 1,5 + 1,5 + 1,5 = 23,85 \text{ bar.}$$



Tramo válvula EV4-Bomba B1:

Se considera 1 metros de canalización.

Diámetro interior del conducto de 1".

De la expresión de Hagen Poiseuille, para régimen laminar (h_{pl}):

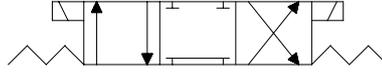
$$h_{pl} = \frac{128 L Q v}{g \pi D_i^4} = 0,21 \text{ bar}$$

Luego la presión a la salida de la válvula de retención, será:

$$P_s(\text{EV1}) = 23,85 + 0,21 = 24,05 \text{ bar.}$$

Se ha consultado catálogo de la firma Sauer-Danfoss, para una válvula retención, con límite de funcionamiento de caudal $Q=30 \text{ l/min}$, en una válvula de referencia CP-108-1, en el diagrama correspondiente se tiene para 20 l/min una pérdida de carga de $1,5 \text{ bar}$, se tiene como presión a la entrada de la válvula:

$$P_e(EV1) = 24,05 + 1,5 = 25,56 \text{ bar.}$$

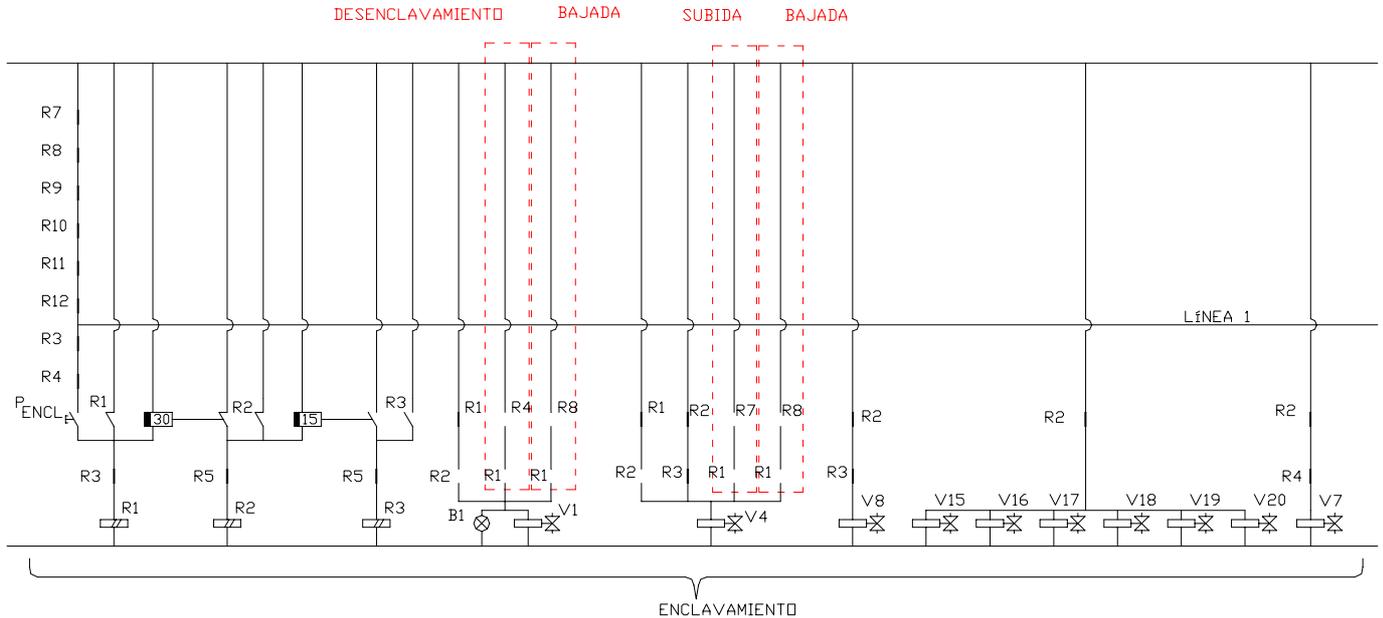


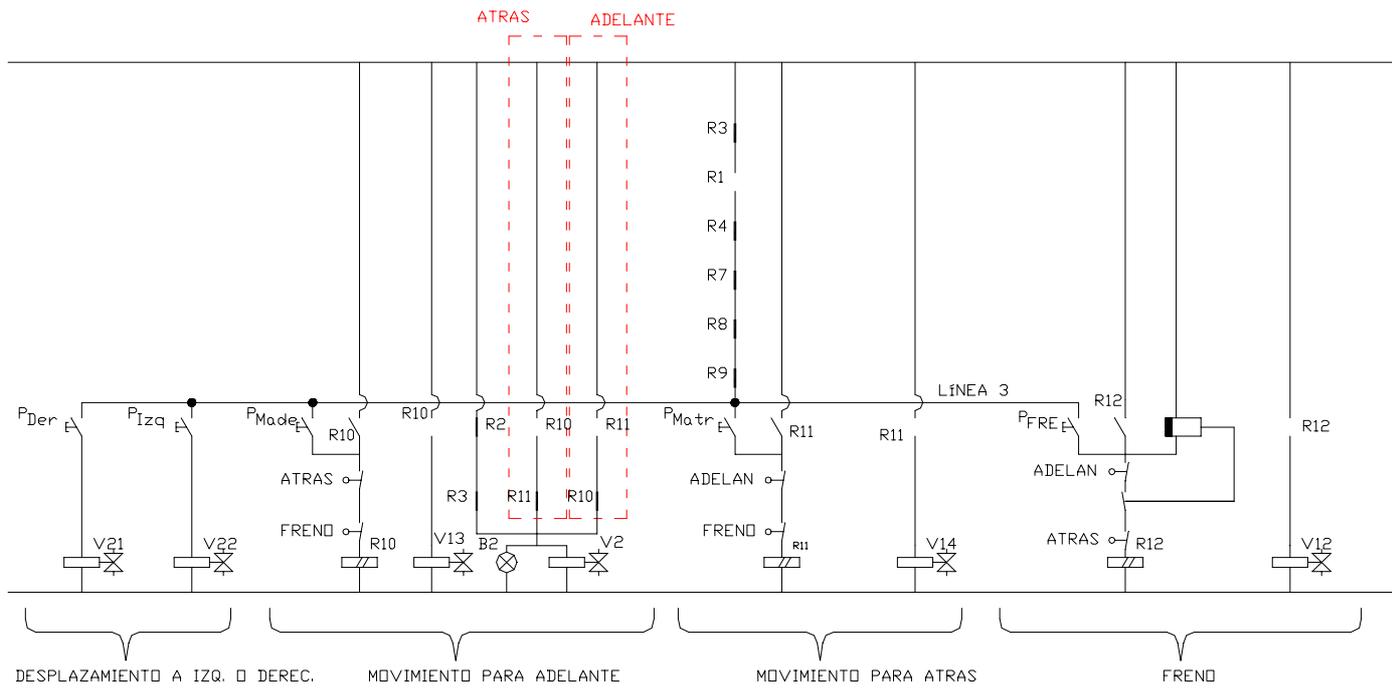
Dicha bomba debe suministrar un caudal de 20 l/min , a una presión de $25,56 \text{ bar}$, y tener una potencia de:

$$W = AP \cdot Q = 2556000 \cdot 0,0003333 = 852 \text{ W}$$

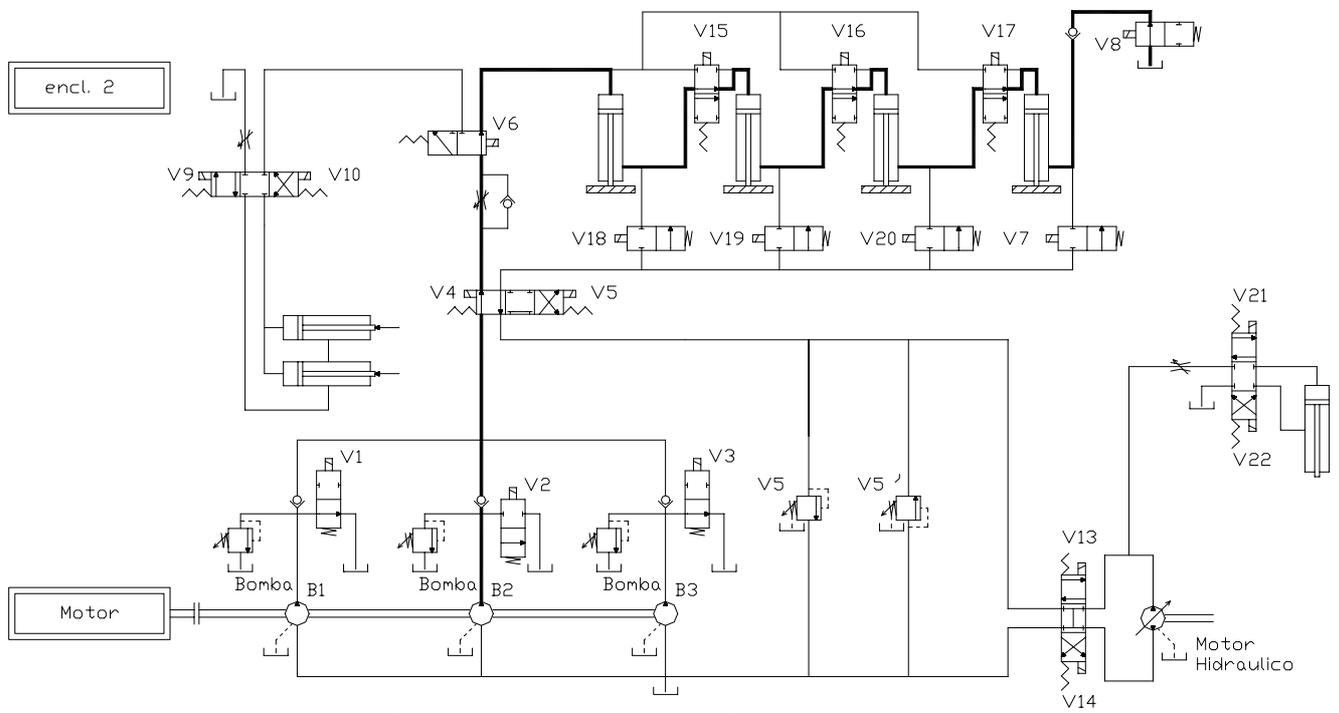
4.2.2 FASE 2 (elevación sobre los pistones):

Al cabo de 30 segundos ha actuado el relé temporizador, que cierra R2, desactiva B1 y V1, V4 sigue activa, se activa V8 y se activan: V7, V15, V16, V17, V18, V19, V20, a su vez se activa V2 y la bomba B2.





El esquema hidráulico queda:



Se dispone a calcular la presión necesaria, para el enclavamiento, para ello se estudia la estabilidad, las reacciones del mecanismo también están calculadas con ANSYS:

Hipótesis	Reacciones en el mecanismo			Reacciones en los pistones	
	Apoyo Móvil	Apoyo Fijo		R1	R2
	Fy	Fx	Fy		
Posición 1					
A1	22618	1957,1	116,56	15815	10669,5
A2	17694	665,29	5706,57	13128,5	14021,5
B1	31060	3940,1	-8324,23	20495	5990,65
B2	26131	2647,1	-2729,93	17806	9344,75
B3	20971	2503,2	-2303,73	14636,5	7780,3
C1	16612	582,13	6017,67	12479	13900,5
C2	14670	1114,1	3634,97	11120	10934,5
Posición 2					
A1	20474	1956,9	2262,07	15709,5	10728,5
A2	16501	665,23	6899,77	13335	13768
B1	27437	3938,9	-4700,63	19948,5	6490,55
B2	23463	2646,8	-61,61	17573	9531,1
B3	18446	2503,1	222,171	14210,5	8160,4
C1	15487	582,41	7142,37	12667,5	13664,5
C2	13177	1114,3	5127,57	11090	11147,5
Posición 3					
A1	18276	1956,9	4459,57	15333	11058
A2	15216	664,79	8184,87	13347,5	13708,5
B1	23824	3939,9	-1087,93	19012	7379,65
B2	20760	2646,8	2640,77	18679	5089,8
B3	15885	2502,5	2783,07	13482,5	8840,85
C1	14269	581,93	8361,27	12669,5	13616
C2	11609	1114,3	6694,97	10623,5	11335,5
Posición 4					
A1	15394	1957,2	7338	14224	12116,5
A2	13426	665,44	9270,27	12809,5	13495
B1	20201	3939,9	2534,47	17672,5	8671,3
B2	18109	2646,8	5293,17	16215	10795,5
B3	13010	2503,1	5658,27	12248,5	10027,95
C1	13066	581,85	9564,27	12547,5	13691,5
C2	9707,5	1113,7	8596,37	9855,45	12056,5
Posición 5					
A1	24912	1953,5	-2176,43	22368	3929,6
A2	24960	667,24	-1559,23	22448,5	4513,4
B1	26532	3936,5	-3795,83	23618	2678,95
B2	26580	2650,8	-3177,93	23699	3264,35
B3	17980	2503,1	688,24	16753	5472,75
C1	23527	579,67	-897,03	21292,5	4898,75
C2	16137	1113,8	2166,57	15307	6557,7

R1 y R2, son en todos los casos positivos, lo cual, garantiza la estabilidad del mecanismo en todos los casos, el caso más desfavorable es aquel en el que se ejerce una presión de 24000 N, sobre uno de los pistones.

$$P = \frac{4 \cdot \left(\frac{1,15 \cdot F}{0,9} \right)}{D_c^2} = \frac{4 \cdot 30667}{0,08^2} = 61,01 \text{ bar}$$

Con una longitud de carrera de 10 cm, se tiene:

Se parte de una bomba que suministra 20 l/min a un sólo pistón, luego se tiene:

$$Q = 20 \text{ l/min} = 0,0003333 \text{ m}^3/\text{s} = S \cdot V = \frac{\pi \cdot 0,08^2}{4} \cdot V \Rightarrow V = 0,06631 \text{ m/s}$$

Para una carrera de 10 cm:

$$\frac{L}{t} = V \Rightarrow \frac{0,1}{t} = 0,06631 \text{ m/s} \Rightarrow t = 6,03 \text{ s}$$

Se toma un relé temporizador, que active a los 15 segundos de llegarle una señal.

Comprobación a pandeo:

Símbolos:

I	Momento de inercia de la sección, $I = \frac{\pi d^4}{64}$ en m^4
S	Área de la sección, en m^2
E	Módulo de Young, (para el acero $E = 2,1 \cdot 10^{11} \text{ Kg/m}^2$).
Fp	Carga de pandeo en N.
L	Longitud de pandeo en metros.
k	Coficiente que depende de la forma de sujeción tanto del actuador como de la carga, oscila entre 3 y 5.

Con $d_v = 50 \text{ mm}$, se tiene:

$$F_p = \frac{\pi^2 E I}{L^2 k} = \frac{\pi^2 \cdot 2,1 \cdot 10^{11} \frac{N}{m^2} \left(\frac{\pi \cdot 0,05^4}{64} \right) m^4}{0,6^2 m^2 \cdot 5} = 211956,97 \text{ N}$$

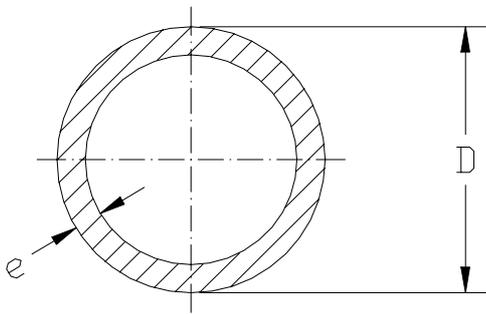
Para el diseño a pandeo se considera un coeficiente de 2, luego:

$$F_{\max} = 2 \cdot F^* = 2 \cdot 27600 \text{ N} = 55200 \text{ N} < 211957 \text{ N}$$

Luego de la comprobación a pandeo se tiene: un vástago de 80 mm y un émbolo de 100 mm de diámetro, para una carrera de 0,5 metros, tomando una longitud de pandeo 0,6 metros.

Cálculo del espesor de las paredes de los émbolos y cilindros:

Se toma para su cálculo las recomendaciones de la norma UNE-EN 81-2:1998: *Reglas de seguridad para la construcción e instalación de ascensores, Parte 2: Ascensores hidráulicos*



$$e \leq \frac{2,3 \cdot 1,7 \cdot p \cdot D}{2 \cdot R_{p0,2}} + e_0$$

$e_0 = 1 \text{ mm}$ para cilindros.

$e_0 = 0,5 \text{ mm}$ para émbolos.

2,3= coeficiente de pérdidas por fricción (1,15) y coeficiente de seguridad (2).

1,7= coeficiente de seguridad del límite convencional de elasticidad ($R_{p0,2}$)

$$R_{p0,2} = 2,75 \cdot 10^8 \text{ N/m}^2.$$

$p =$ Presión hidráulica, es la presión del émbolo en el lado de presión del líquido.

$$p = \frac{F}{S_e} \cdot \frac{1}{\eta_{\text{émbolo}}} = \frac{24000}{\frac{\pi \cdot 0,1^2}{4}} \cdot \frac{1}{0,9} = 5305165 \text{ Pa}$$

Espesor de la pared del cilindro:

Se supone $e = 0,01 \text{ m}$.

$$e = \frac{2,3 \cdot 1,7 \cdot 5305165 \text{ Pa} \cdot (0,080 \text{ m} + 2 \cdot 0,01 \text{ m})}{2 \cdot 2,75 \cdot 10^8 \text{ N/m}^2} + 0,001 \text{ m} = 0,0054 < 0,01 \text{ m}.$$

El espesor será de $0,01 \text{ m} = 1,0 \text{ cm}$.

Espesor de la pared del émbolo:

Se supone $e = 0,01 \text{ m}$.

$$e = \frac{2,31,7 \cdot 5305165 \text{ Pa} \cdot (0,050 \text{ m})}{2,2,75 \cdot 10^8 \text{ N/m}^2} + 0,0005 \text{ m} = 0,0023 < 0,01 \text{ m}.$$

El espesor será de 0,01 m = 1 cm.

Cálculo del diámetro de los pistones de enclavamiento con el suelo:

El andamio mecánico transmitirá una carga al terreno no superior a 5 Kg/cm².

Tomando un diámetro de 25 cm.

$$S = \frac{\pi \cdot D^2}{4} = 490,87 \text{ cm}^2$$

La carga, P de cálculo es la carga transmitida, es decir sin mayorar tomada directamente del ANSYS, de la tabla de reacciones en los pistones:

$$P = 23699 \text{ N} \cong 2418 \text{ Kg}$$

$$\sigma = \frac{P}{S} = 4,92 \text{ Kg/cm}^2.$$

El espesor del pistón se toma de 2 cm.

Tramo Pistones de enclavamiento-válvula EV12:

Se considera 7 metros de canalización.

Diámetro interior del conducto de 1".

Se calcula el número de Reynolds, considerando una viscosidad cinemática $\nu = 4,5^\circ \text{ E}$, equivalente a 32 centistokes, es decir un aceite de grado ISO 32, de densidad 870 Kg/m³.

$$\nu = 3,2 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$$

$$\text{Re} = \frac{4 Q}{\pi D \nu} = 522,16 < 2000 \text{ (igual que en la fase 1)}$$

Se considera la expresión de Hagen Poiseuille, para régimen laminar (h_{pl}):

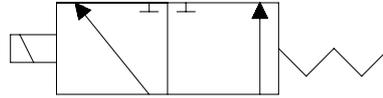
$$h_{pl} = \frac{128 L Q \nu}{g \pi D_i^4} = 1,49 \text{ bar}$$

Luego la presión a la salida de la válvula EV12, será:

$$P_s(\text{EV12}) = 61,01 + 1,49 = 62,50 \text{ bar}.$$

Con la válvula de referencia CP521-1, para 20 l/min una pérdida de carga de 1 bar, si se considera una pérdida de 1,5 bar en la entrada y en la salida, se tiene como presión a la entrada de la válvula:

$$Pe(EV12) = 62,50 + 1 + 1,5 + 1,5 = 66,50 \text{ bar.}$$



Tramo válvula EV12-válvula VRF1:

Se considera 0,5 metros de canalización.

Diámetro interior del conducto de 1".

De la expresión de Hagen Poiseuille, para régimen laminar (h_{pl}):

$$h_{pl} = \frac{128 L Q \nu}{g \pi D_i^4} = 0,11 \text{ bar}$$

Luego la presión a la salida de la electroválvula VRF1, será:

$$Ps(VRF1) = 66,50 + 0,11 = 66,61 \text{ bar.}$$

A continuación se calcula la pérdida de carga, en la válvula reguladora de flujo VRF1:

$$Q = 0,0003333 \frac{m^3}{s} \cdot 3600 \frac{s}{h} \cdot 4,403 \frac{USGallon/min}{m^3/h} = 5,284 \text{ USGallon/min}$$

La gravedad específica G será:

$$G = (870 \text{ Kg/m}^3) / 1000 \text{ Kg/m}^3 = 0,87$$

$$C_v = Q \sqrt{\frac{G}{\Delta P}} = 5,284 \sqrt{\frac{0,87}{AP}} = 1,35 \Rightarrow AP = G \left(\frac{Q}{C_{vr}} \right)^2 = 13,33 \text{ psi} = 0,936 \text{ bar}$$

Con una válvula con $C_{vr} = 1,35$.

Siendo la presión de entrada de $Pe = 66,61 + 0,936 = 67,54 \text{ bar}$.

Tramo válvula VRF1-válvula EV4:

Se considera 0,5 metros de canalización.

Diámetro interior del conducto de 1".

De la expresión de Hagen Poiseuille, para régimen laminar (h_{pl}):

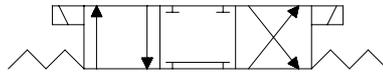
$$h_{pl} = \frac{128 L Q v}{g \pi D_i^4} = 0,11 \text{ bar}$$

Luego la presión a la salida de la electroválvula EV1, será:

$$P_s(\text{EV1}) = 67,54 + 0,11 = 67,65 \text{ bar.}$$

Con la válvula de referencia DCV-05-C11, para 20 l/min una pérdida de carga de 1,5 bar, si se considera una pérdida de 1,5 bar en la entrada y en la salida, se tiene como presión a la entrada de la válvula:

$$P_e(\text{EV1}) = 67,65 + 1,5 + 1,5 + 1,5 = 72,15 \text{ bar.}$$



Tramo válvula EV4-Bomba B2:

Se considera 1 metros de canalización.

Diámetro interior del conducto de 1".

De la expresión de Hagen Poiseuille, para régimen laminar (h_{pl}):

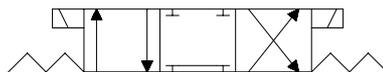
$$h_{pl} = \frac{128 L Q v}{g \pi D_i^4} = 0,21 \text{ bar}$$

Luego la presión a la salida de la válvula de retención, será:

$$P_s(\text{EV1}) = 72,15 + 0,21 = 72,36 \text{ bar.}$$

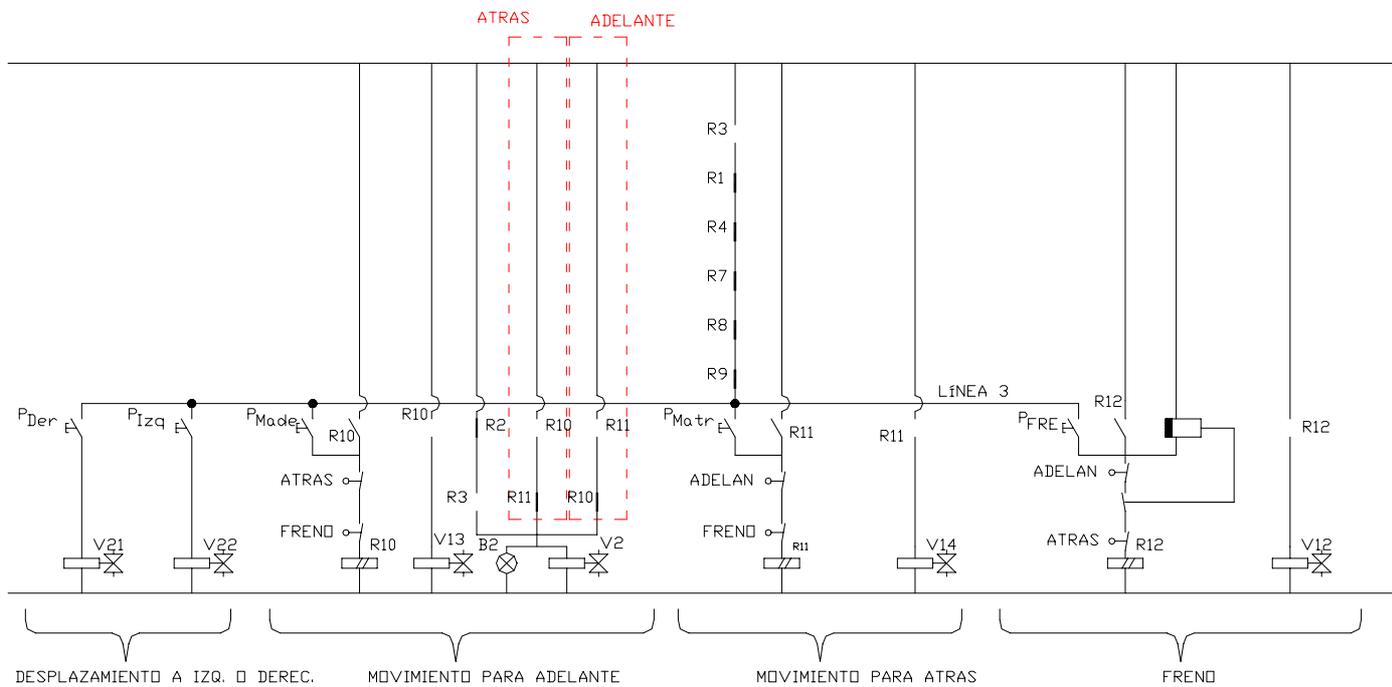
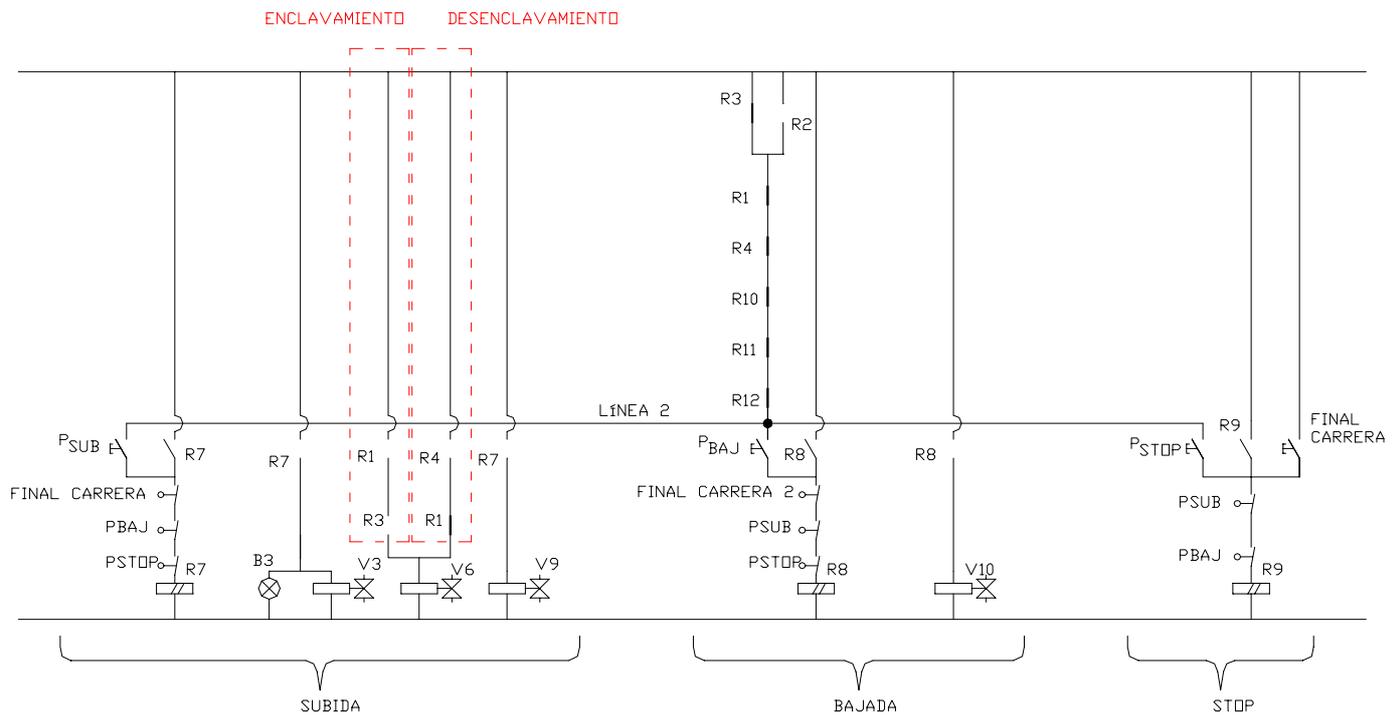
Se ha consultado catálogo de la firma Sauer-Danfoss, para una válvula retención, con límite de funcionamiento de caudal $Q \geq 30 \text{ l/min}$, en una válvula de referencia CP-108-1, en el diagrama correspondiente se tiene para 20 l/min una pérdida de carga de 1,5 bar, se tiene como presión a la entrada de la válvula:

$$P_e(\text{EV1}) = 72,36 + 1,5 = 73,86 \text{ bar.}$$

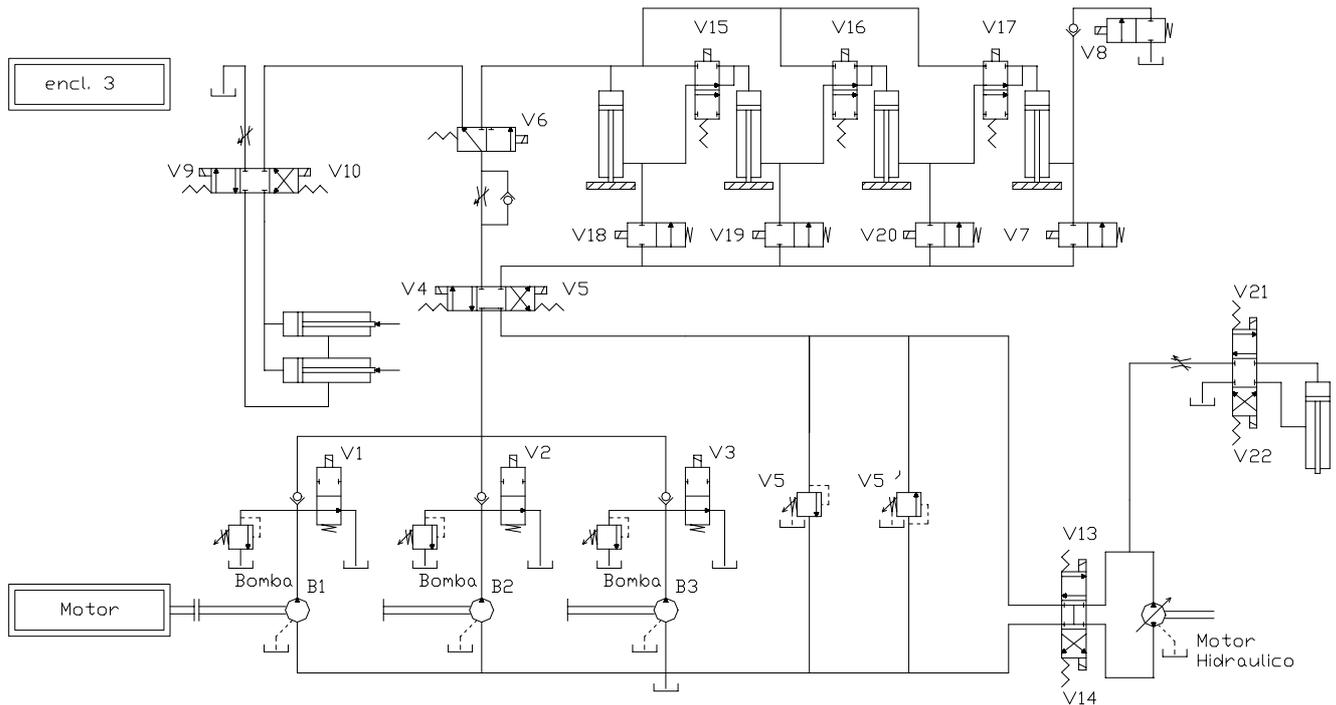


Dicha bomba debe suministrar un caudal de 20 l/min, a una presión de 73,86 bar, y tener una potencia de:

$$W = AP \cdot Q = 7386000 \cdot 0,0003333 = 2462 \text{ W}$$

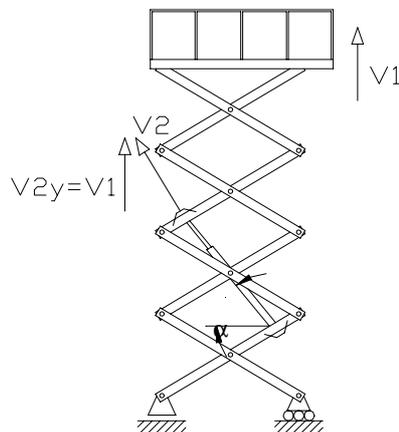


El esquema Hidráulico queda:



4.3 Cálculo del circuito hidráulico de la fase de elevación:

Cálculo del caudal necesario que debe aportar la bomba:



Se limita la velocidad de ascenso de la plataforma a $V_1=0,055 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}=V_{2y}$, de esta forma se consigue un movimiento de la plataforma que permite adaptar la plataforma a cualquier altura durante su movimiento de subida o bajada.

Se estudia en distintos instantes de tiempo, correspondientes a distintos valores de α de la figura, entre ellos la posición inicial, final y 3 posiciones intermedias.

Posición	α (grados)	V_1 ($m \cdot s^{-1}$)	V_2 ($m \cdot s^{-1}$)
Posición 1	62,101	0,055	0,062
Posición 2	57,270	0,055	0,065
Posición 3	50,749	0,055	0,071
Posición 4	40,507	0,055	0,085
Posición 5	14,229	0,055	0,224

Para el circuito hidráulico V_2 debe de ser una magnitud constante, de la tabla anterior se toma $V_2=0,062 m \cdot s^{-1}$, lo que resulta:

Posición	α (grados)	V_2 ($m \cdot s^{-1}$)	V_1 ($m \cdot s^{-1}$)
Posición 1	62,101	0,062	0,055
Posición 2	57,270	0,062	0,052
Posición 3	50,749	0,062	0,048
Posición 4	40,507	0,062	0,040
Posición 5	14,229	0,062	0,015

Los valores de ascenso de la plataforma V_1 , son admisibles.

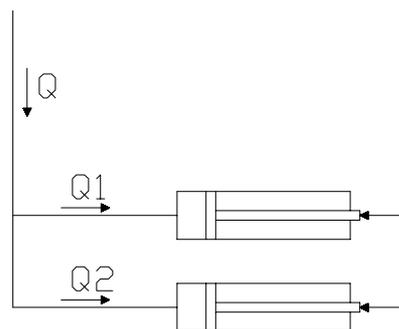
Con V_2 , se procede al cálculo del caudal requerido por el cilindro, para el accionamiento de elevación.

$$Q = V_2 \cdot S_c = 0,062 m/s \cdot ((\pi \cdot 0,100^2 / 4))m^2 = 0,000489 m^3/s = 29,32 l/min.$$

Elección de una tubería en función de la velocidad y del caudal:

Las velocidades recomendadas para la elección de una tubería, oscila entre 1,5 m/s y 4,6 m/s, aplicando continuidad y considerando una manguera de diámetro interior de 1".

Teniendo en cuenta que hay dos cilindros elevadores de la plataforma:

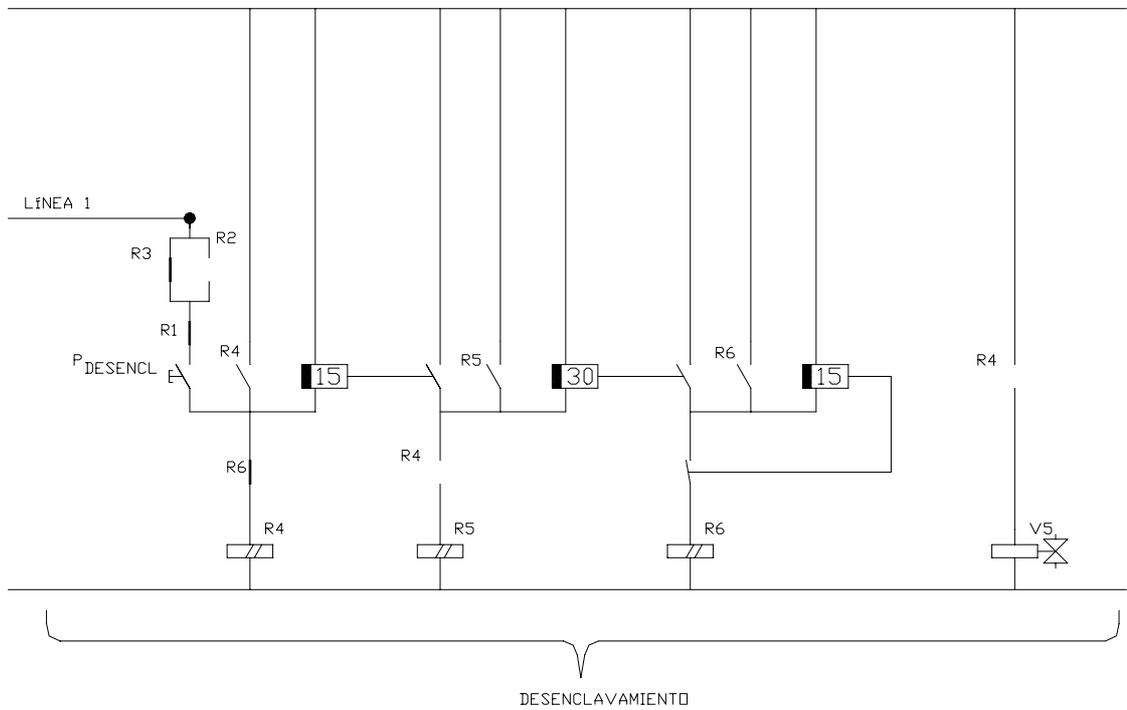
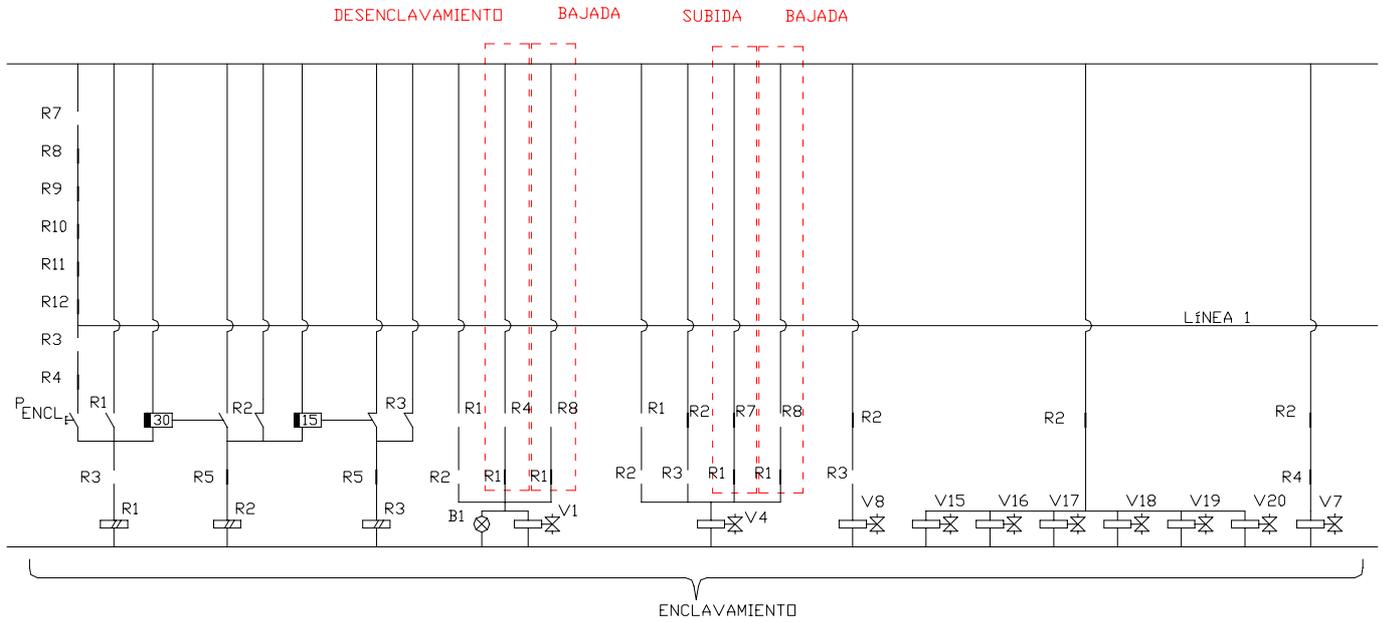


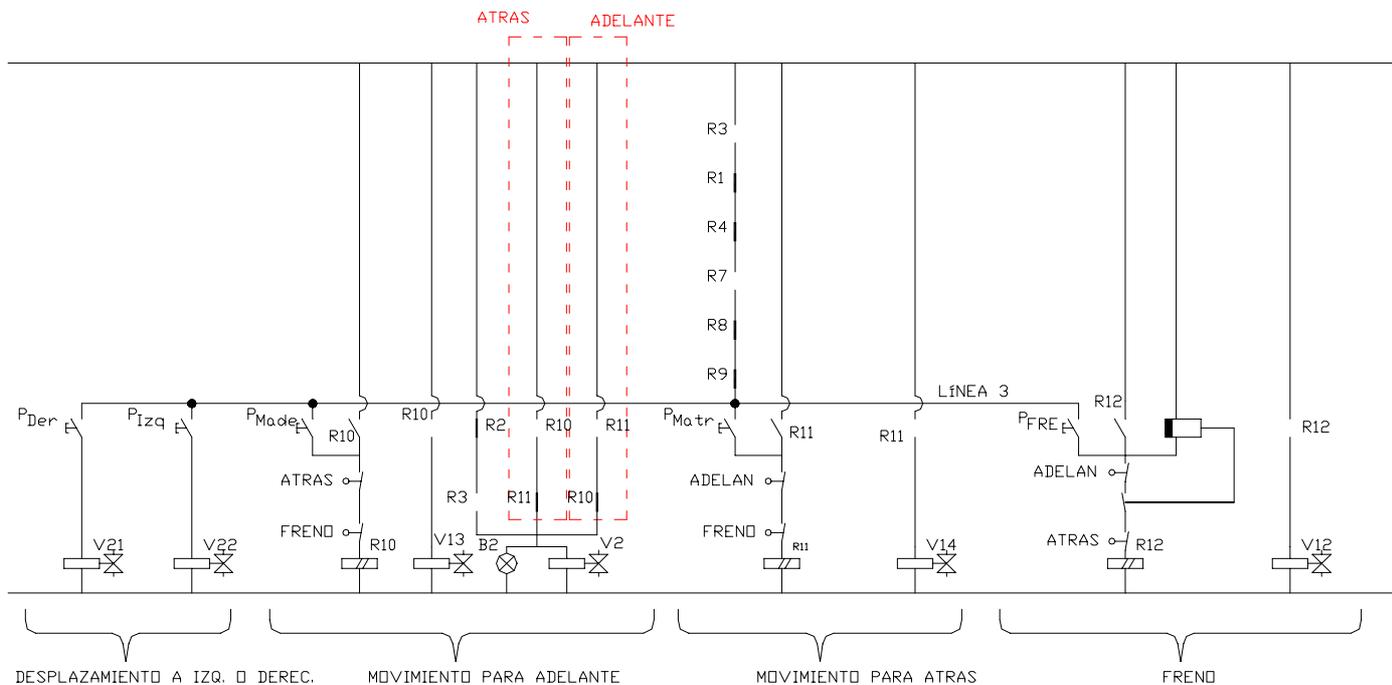
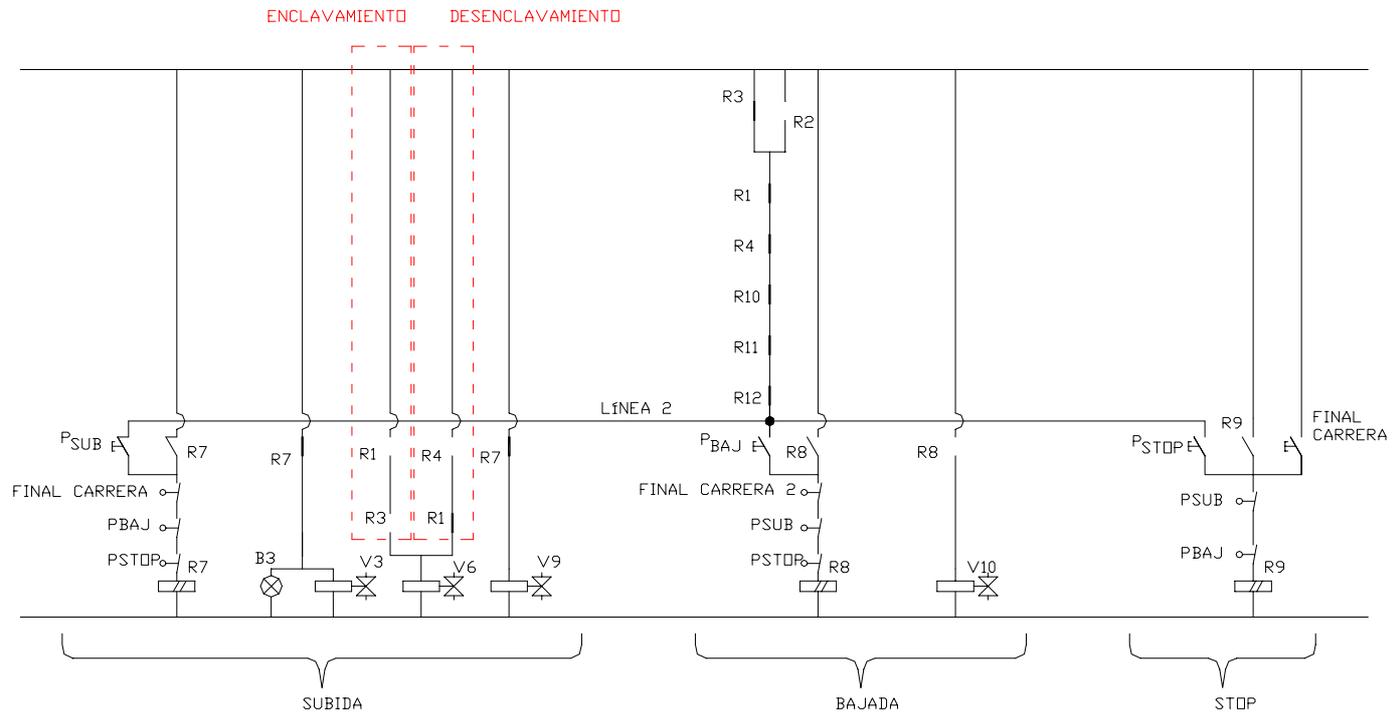
$$Q = Q_1 + Q_2 = 0,000489 m^3/s + 0,000489 m^3/s = 0,000978 m^3/s = S \cdot V = \frac{\pi((2,54/100) \cdot 1'')^2}{4} \cdot V$$

$$V = 1,93 m/s.$$

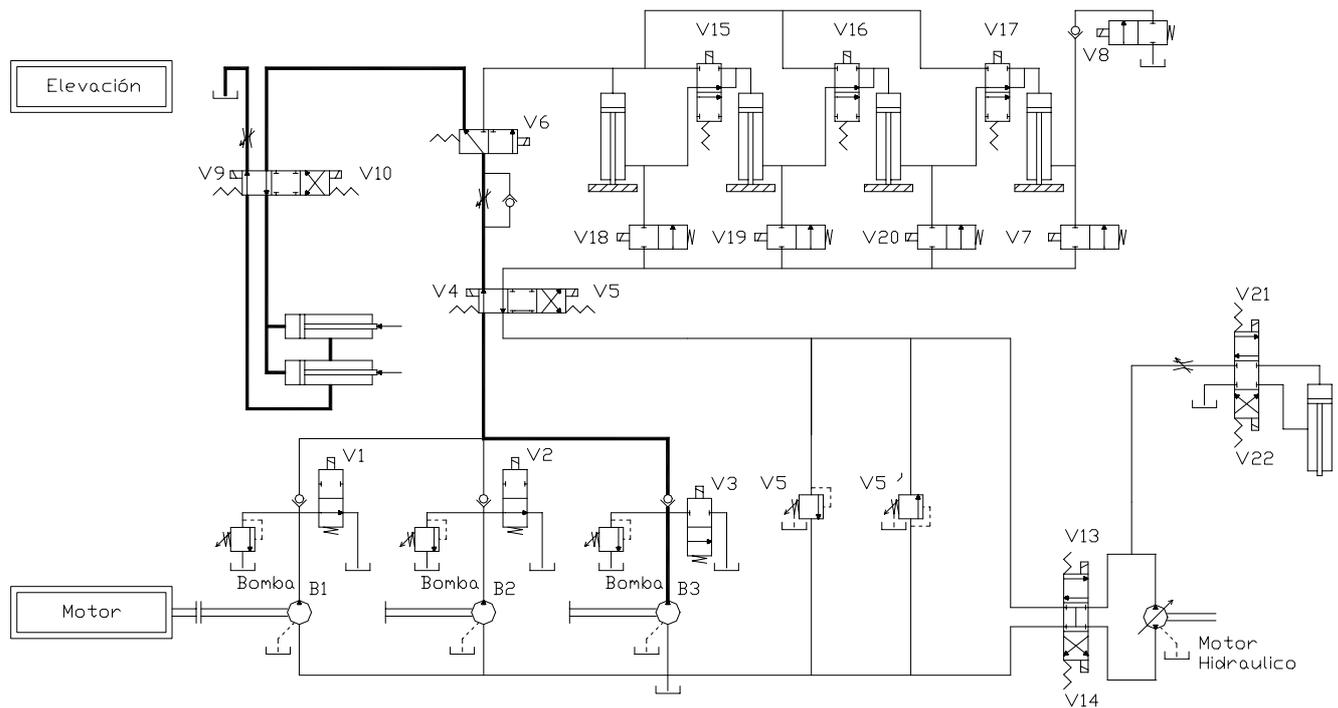
Luego se tomará una manguera de 1", con una presión máxima de trabajo de 260 bar.

Al pulsar P_{SUB} , se cierra el relé R7, y el accionamiento electromagnético R7 enclava el relé, una vez activo el relé R7, el mecanismo procede a levantar la plataforma, se detiene cuando se cumpla uno de estos tres requisitos: se llegue a final de carrera, se pulse Stop o se pulse P_{BAJ} , se activa V4, V9 y V3 y la bomba B3





El esquema Hidráulico queda:



Cálculo de presiones:

El cilindro y el émbolo se calculan, de tal forma que sometidos a las fuerzas resultantes para una presión igual a 1,15 veces la presión a plena carga, debido a rozamientos.

Así se tiene que para una carga de $F= 135532,4 N$, que es la más desfavorable, de todos los casos posibles se tiene para el cálculo $F^* = 155862,23 N$, haciendo equilibrio de fuerzas en el cilindro, la presión en el lado del vástago del émbolo será atmosférica (presión relativa cero).

$$F^* = P \cdot S_e \cdot \eta_{\text{émbolo}}$$

El rendimiento del émbolo se supone 0,90.

$$155862,23 = P \cdot S_e \cdot 0,90$$

Para obtener el valor de la presión en el émbolo, en el lado contrario del vástago se tendrá que suponer sección del émbolo, se supone en un principio 100 mm de diámetro, lo que supone:

$$P=220,50 \text{ bar.}$$

Los diámetros del émbolo y del vástago se encuentran normalizados, según la norma DIN 24334, de forma que se debe de cumplir:

$$\frac{d_e}{d_v} = \varphi \quad \varphi = 1,25; 1,4; 1,6; 2; 2,5; 5$$

d_v = diámetro del vástago en *mm*.

d_e = diámetro del émbolo en *mm*.

Además, también se indica los valores del diámetro del émbolo:

$$d_e \text{ (mm)} = 25; 32; 40; 50; 65; 80; 100; 125$$

Si se toma $\phi = 1,25$, con $d_e = 100 \text{ mm}$, se tiene un diámetro del vástago; $d_v = 80 \text{ mm}$.

Comprobación a pandeo:

Símbolos:

I	Momento de inercia de la sección, $I = \frac{\pi d^4}{64}$ en m^4
S	Área de la sección, en m^2
E	Módulo de Young, (para el acero $E = 2,1 \cdot 10^{11} \text{ Kg/m}^2$).
Fp	Carga de pandeo en <i>N</i> .
L	Longitud de pandeo en metros.
k	Coefficiente que depende de la forma de sujeción tanto del actuador como de la carga, oscila entre 3 y 5.

Con $d_v = 80 \text{ mm}$, se tiene:

$$F_p = \frac{\pi^2 E I}{L^2 k} = \frac{\pi^2 2,1 \cdot 10^{11} \frac{N}{m^2} \left(\frac{\pi 0,08^4}{64} \right) m^4}{1,5^2 m^2 5} = 370421,65 \text{ N}$$

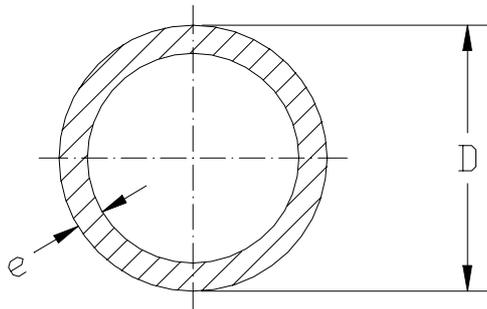
Para el diseño a pandeo se considera un coeficiente de 2, luego:

$$F_{\max} = 2 \cdot F^* = 2 \cdot 155862,23 \text{ N} = 311724,46 \text{ N} < 370421,65 \text{ N}$$

Luego de la comprobación a pandeo se tiene: un vástago de 80 mm y un émbolo de 100 mm de diámetro, para una carrera de $1,5 \text{ metros}$.

Cálculo del espesor de las paredes de los émbolos y cilindros:

Se toma para su cálculo las recomendaciones de la norma UNE-EN 81-2:1998: *Reglas de seguridad para la construcción e instalación de ascensores, Parte 2: Ascensores hidráulicos*



$$e \leq \frac{2,3 \cdot 1,7 \cdot p \cdot D}{2 \cdot R_{p0,2}} + e_o$$

$e_o = 1 \text{ mm}$ para cilindros.

$e_o = 0,5 \text{ mm}$ para émbolos.

2,3 = coeficiente de pérdidas por fricción (1,15) y coeficiente de seguridad (2).

1,7 = coeficiente de seguridad del límite convencional de elasticidad ($R_{p0,2}$)

$$R_{p0,2} = 2,75 \cdot 10^8 \text{ N/m}^2.$$

$p =$ Presión hidráulica, es la presión del émbolo en el lado de presión del líquido.

$$p = \frac{F}{S_e} \cdot \frac{1}{\eta_{\text{émbolo}}} = \frac{135532,4}{\frac{\pi \cdot 0,1^2}{4}} \cdot \frac{1}{0,9} = 19173908,88 \text{ Pa}$$

Espesor de la pared del cilindro:

Se supone $e = 0,03 \text{ m}$.

$$e = \frac{2,3 \cdot 1,7 \cdot 19173908,88 \text{ Pa} \cdot (0,100 \text{ m} + 2 \cdot 0,03 \text{ m})}{2 \cdot 2,75 \cdot 10^8 \text{ N/m}^2} + 0,001 \text{ m} = 0,029 < 0,03 \text{ m}.$$

El espesor será de $0,03 \text{ m} = 3,0 \text{ cm}$.

Espesor de la pared del émbolo:

Se supone $e = 0,02 \text{ m}$.

$$e = \frac{2,3 \cdot 1,7 \cdot 19173908,88 \text{ Pa} \cdot (0,125 \text{ m})}{2 \cdot 2,75 \cdot 10^8 \text{ N/m}^2} + 0,0005 \text{ m} = 0,0184 < 0,02 \text{ m}.$$

El espesor será de $0,02 \text{ m} = 2,0 \text{ cm}$.

Cálculo del circuito hidráulico:

Para el cálculo del circuito oleohidráulico se emplea un aceite industrial con viscosidad cinemática de $4,5 \text{ }^\circ E$ a $40 \text{ }^\circ C$, es decir un aceite de grado ISO 32 y de 900 Kg/m^3 .

Tramo Pistón -electroválvula EV13:

Se considera 7 metros de canalización.

Diámetro interior del conducto de 1".

$$Re = \frac{4 Q}{\pi D v} = 522,16 < 2000$$

Se considera la expresión de Hagen Poiseuille, para régimen laminar (h_{pl}):

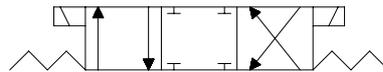
$$h_{pl} = \frac{128 L Q v}{g \pi D_i^4} = 1,49 \text{ bar}$$

Luego la presión a la salida de la válvula EV13, será:

$$P_s(\text{EV13}) = 221,2 + 1,49 = 222,69 \text{ bar.}$$

Se ha consultado catálogo de la firma Sauer-Danfoss, para una válvula de 4 vías, con límite de funcionamiento de caudal $Q \geq 95 \text{ l/min}$, en una válvula de referencia DCV-05-Z11, en el diagrama correspondiente se tiene para 60 l/min una pérdida de carga de 4 bar , si se considera una pérdida de $1,5 \text{ bar}$ en la entrada y en la salida, se tiene como presión a la entrada de la válvula:

$$P_e(\text{EV13}) = 222,69 + 4 + 1,5 + 1,5 = 229,69 \text{ bar.}$$



Tramo válvula EV13-válvula EV12:

Se considera 0,5 metros de canalización.

Diámetro interior del conducto de 1".

De la expresión de Hagen Poiseuille, para régimen laminar (h_{pl}):

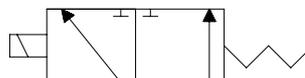
$$h_{pl} = \frac{128 L Q v}{g \pi D_i^4} = 0,15 \text{ bar}$$

Luego la presión a la salida de la electroválvula EV12, será:

$$P_s(\text{EV12}) = 229,69 + 0,15 = 229,84 \text{ bar.}$$

Con la válvula de referencia CP521-1, para 60 l/min una pérdida de carga de 5 bar , si se considera una pérdida de $1,5 \text{ bar}$ en la entrada y en la salida, se tiene como presión a la entrada de la válvula:

$$P_e(\text{EV12}) = 229,84 + 5 + 1,5 + 1,5 = 237,84 \text{ bar.}$$



Tramo válvula EV12-válvula VRF1:

Se considera 0,5 metros de canalización.

Diámetro interior del conducto de 1".

De la expresión de Hagen Poiseuille, para régimen laminar (h_{pl}):

$$h_{pl} = \frac{128 L Q \nu}{g \pi D_i^4} = 0,15 \text{ bar}$$

Luego la presión a la salida de la electroválvula VRF1, será:

$$P_s(\text{VRF1}) = 237,84 + 0,15 = 238 \text{ bar.}$$

A continuación se calcula el coeficiente C_v que debe de tener la válvula VRF2, según procedimiento descrito en el Control Valve Handbook de Fischer:

Se toma de partida una caída de presión de $\Delta P = 5 \text{ bar} = 71,115 \text{ psi}$.

$$Q = 0,000978 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \cdot 3600 \frac{\text{s}}{\text{h}} \cdot 4,403 \frac{\text{USGallon}/\text{min}}{\text{m}^3/\text{h}} = 15,495 \text{ USGallon}/\text{min}$$

La gravedad específica G será:

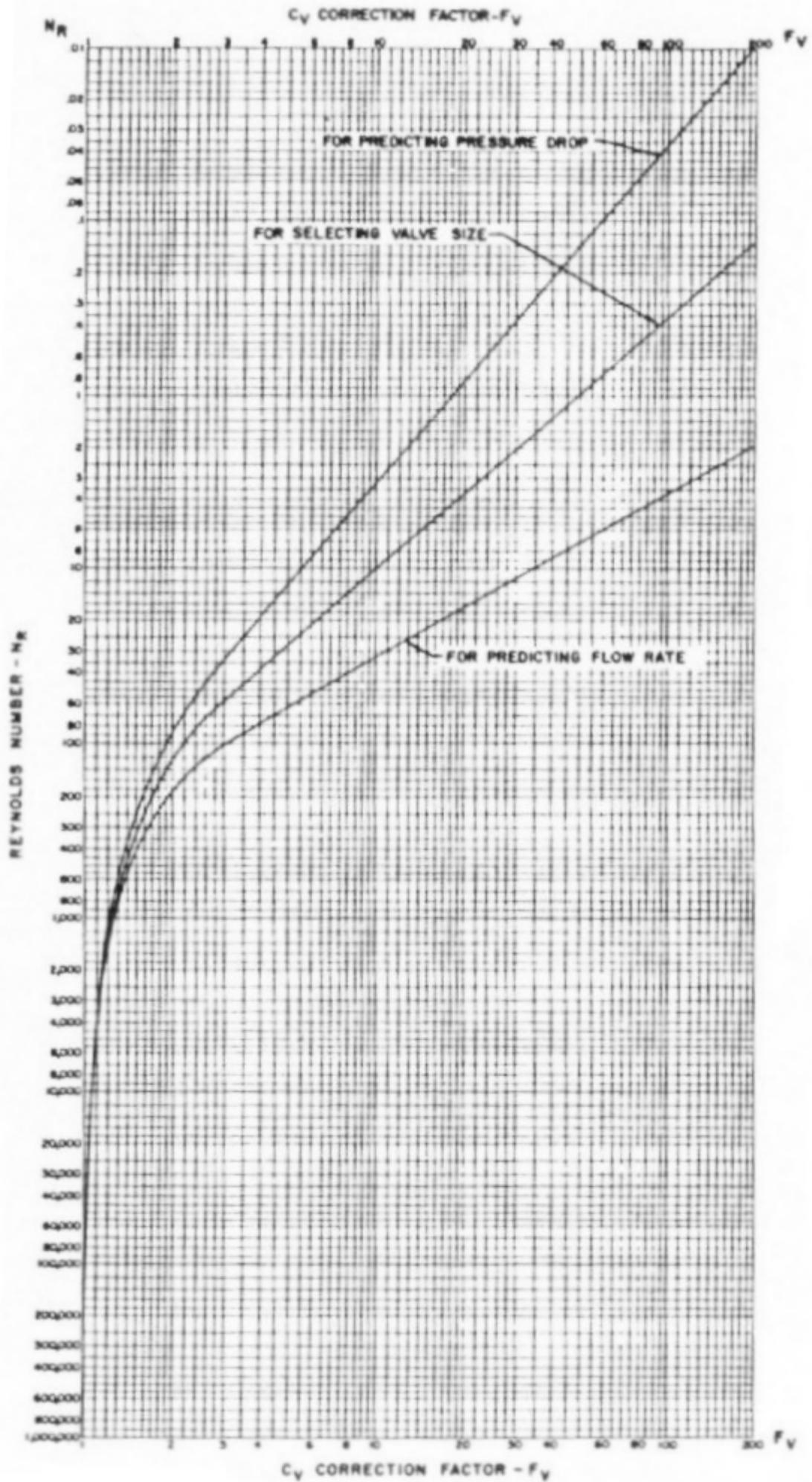
$$G = (870 \text{ kg}/\text{m}^3) / 1000 \text{ kg}/\text{m}^3 = 0,87$$

$$C_v = Q \sqrt{\frac{G}{\Delta P}} = 15,495 \sqrt{\frac{0,87}{71,115}} = 1,71$$

Para la corrección por viscosidad se emplea el mismo nomograma que aparece en el mismo manual, para un Reynolds de 766, se tiene un factor F_v de corrección de 1,35, luego:

$$C_{vr} = F_v \cdot C_v = 2,31$$

Siendo la presión de entrada de $P_e = 243 \text{ bar}$.



Tramo válvula VRF1-válvula EV4:

Se considera 0,5 metros de canalización.

Diámetro interior del conducto de 1".

De la expresión de Hagen Poiseuille, para régimen laminar (h_{pl}):

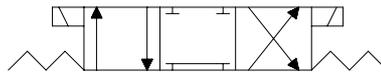
$$h_{pl} = \frac{128 L Q v}{g \pi D_i^4} = 0,15 \text{ bar}$$

Luego la presión a la salida de la electroválvula EV1, será:

$$P_s(EV1) = 243 + 0,15 = 243,15 \text{ bar.}$$

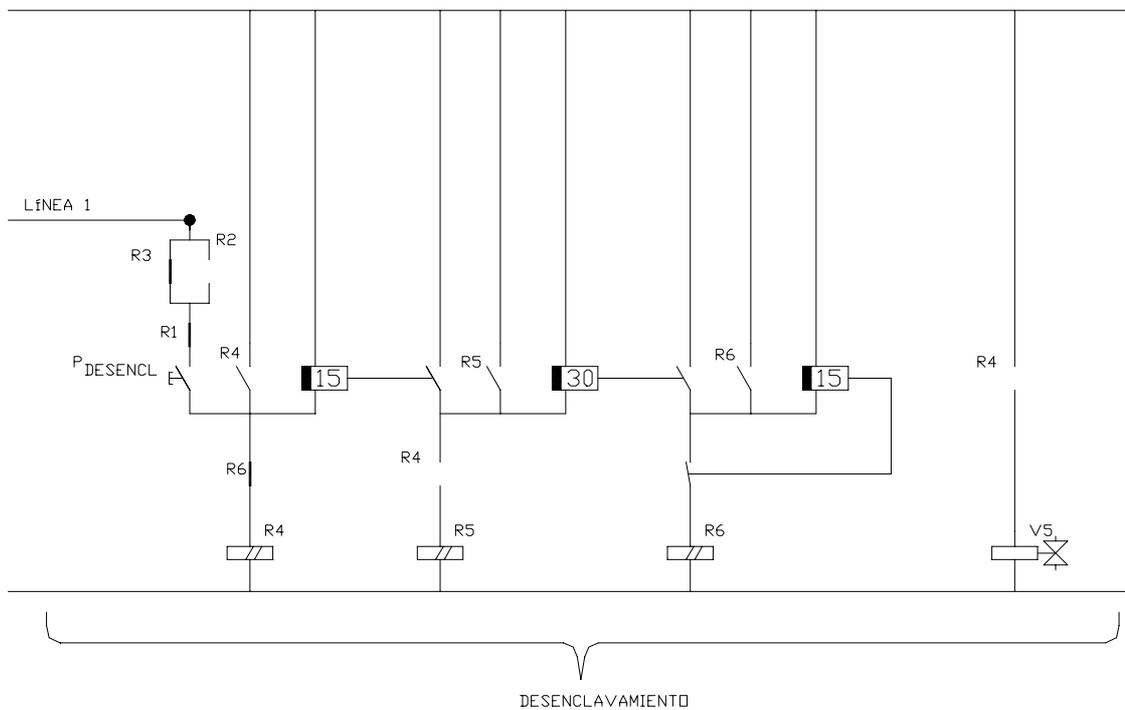
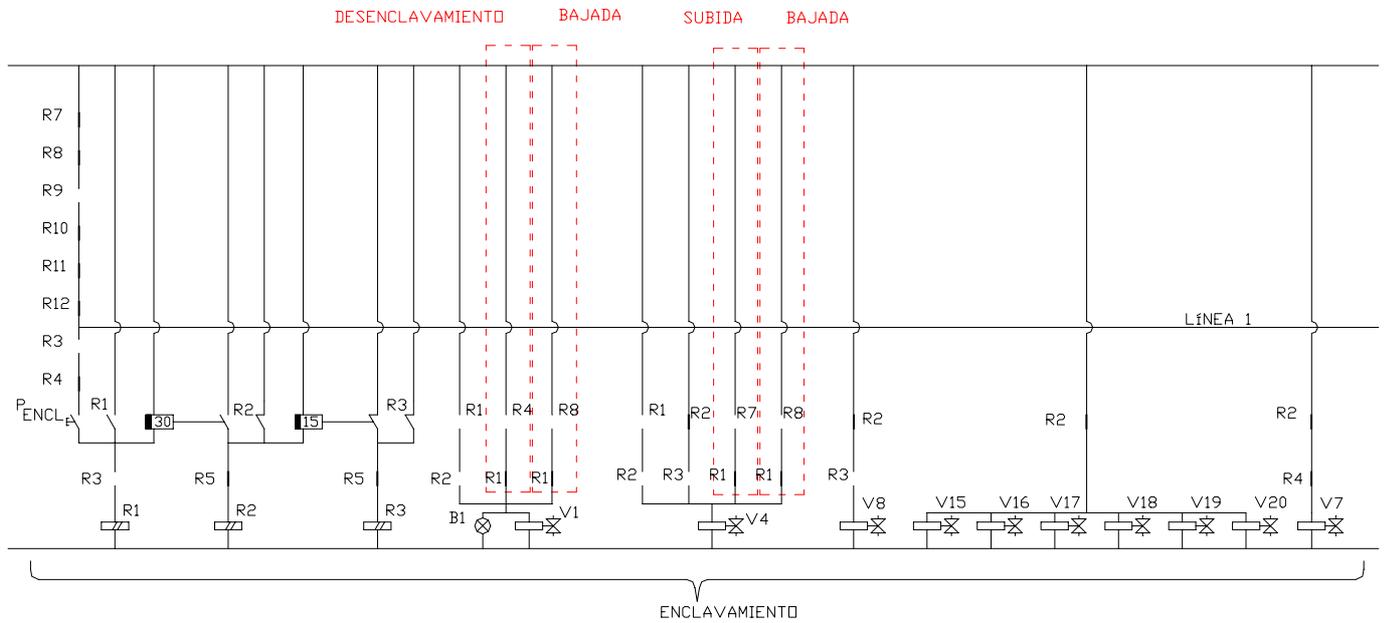
Con la válvula de referencia DCV-05-C11, para 60 l/min hay una pérdida de carga de 4 bar , si se considera una pérdida de 1,5 bar en la entrada y en la salida, se tiene como presión a la entrada de la válvula:

$$P_e(EV1) = 243,15 + 4 + 1,5 + 1,5 = 250,15 \text{ bar.}$$

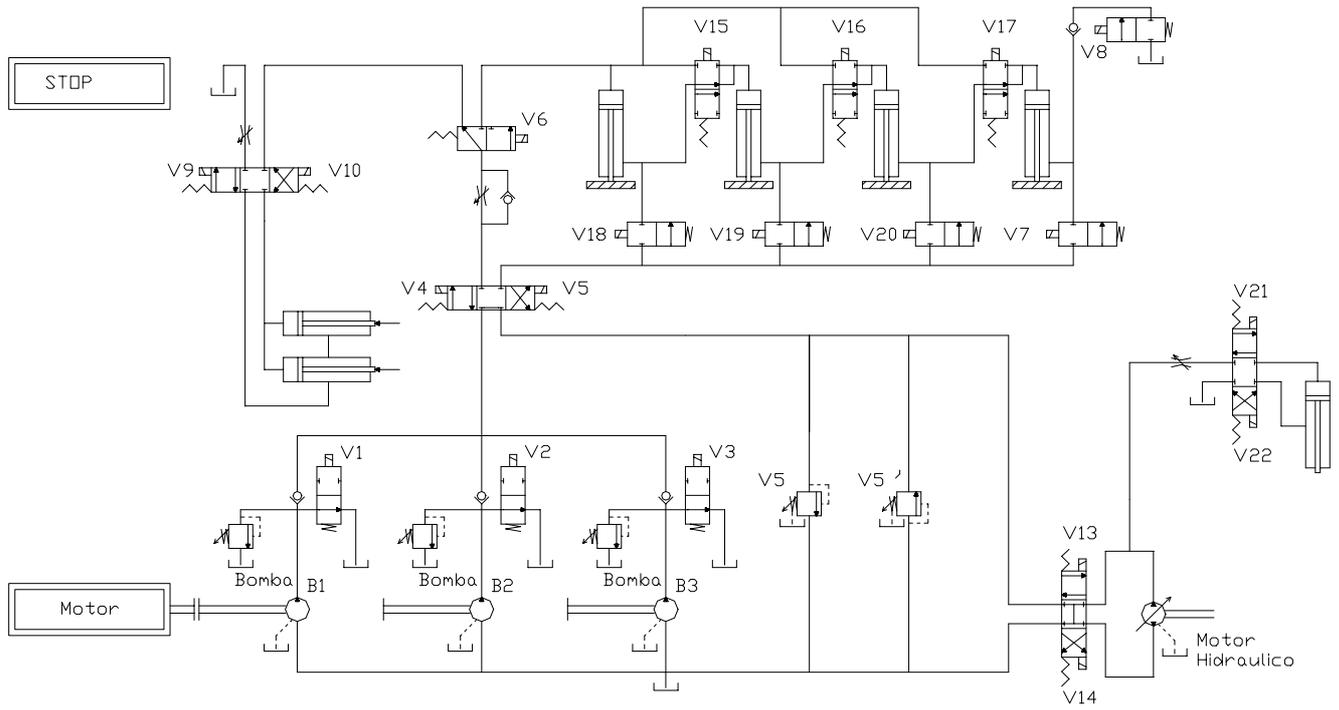


4.4 Circuito hidráulico en la fase de fin de elevación, tras pulsar Stop:

Al pulsar P_{STOP} , se cierra el relé R7, y se abre el relé R9, el mecanismo deja de levantar la plataforma, queda en reposo, a la altura que se encontraba en la fase de elevación, en espera de pulsar subida o bajada, se desactivan V4, V9, V3 y B3.



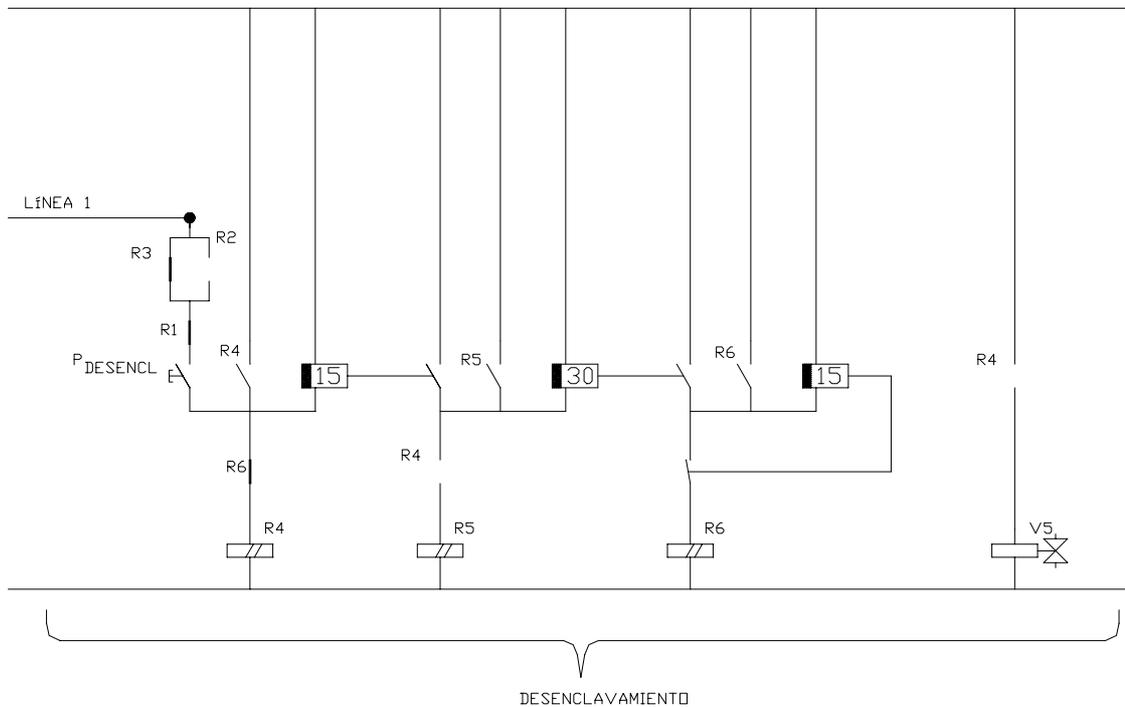
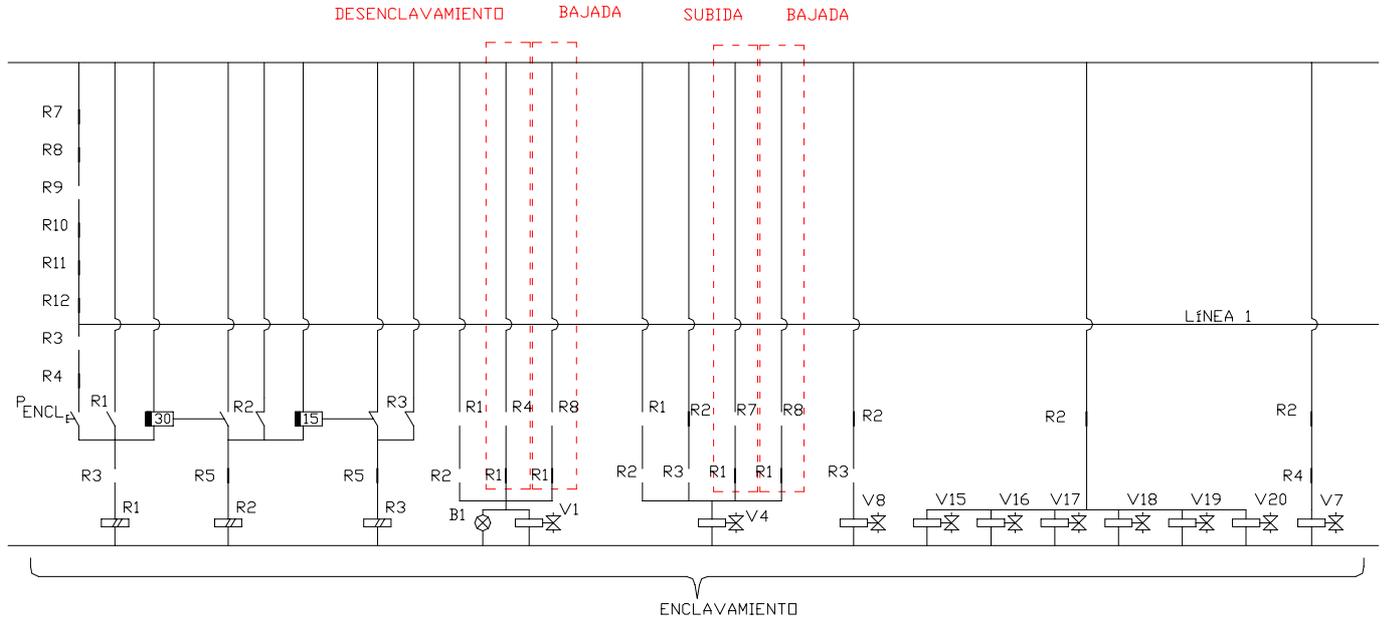
El esquema Hidráulico queda:

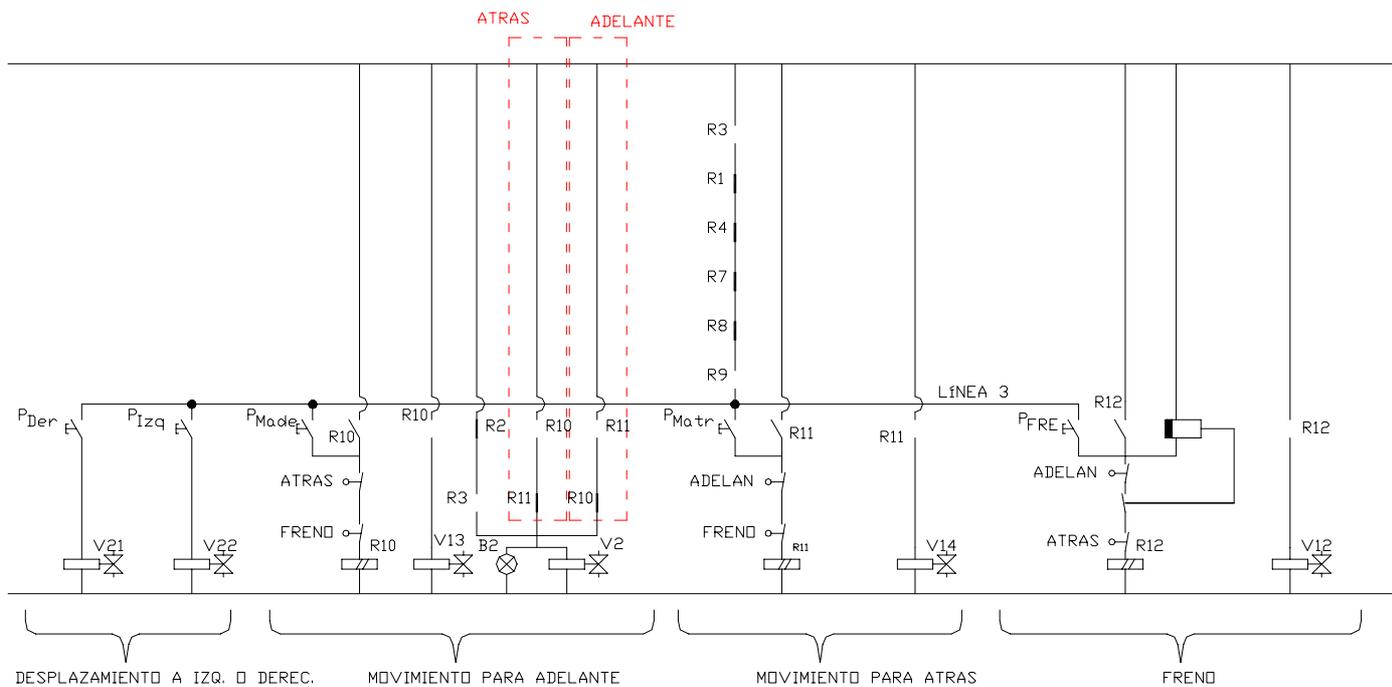
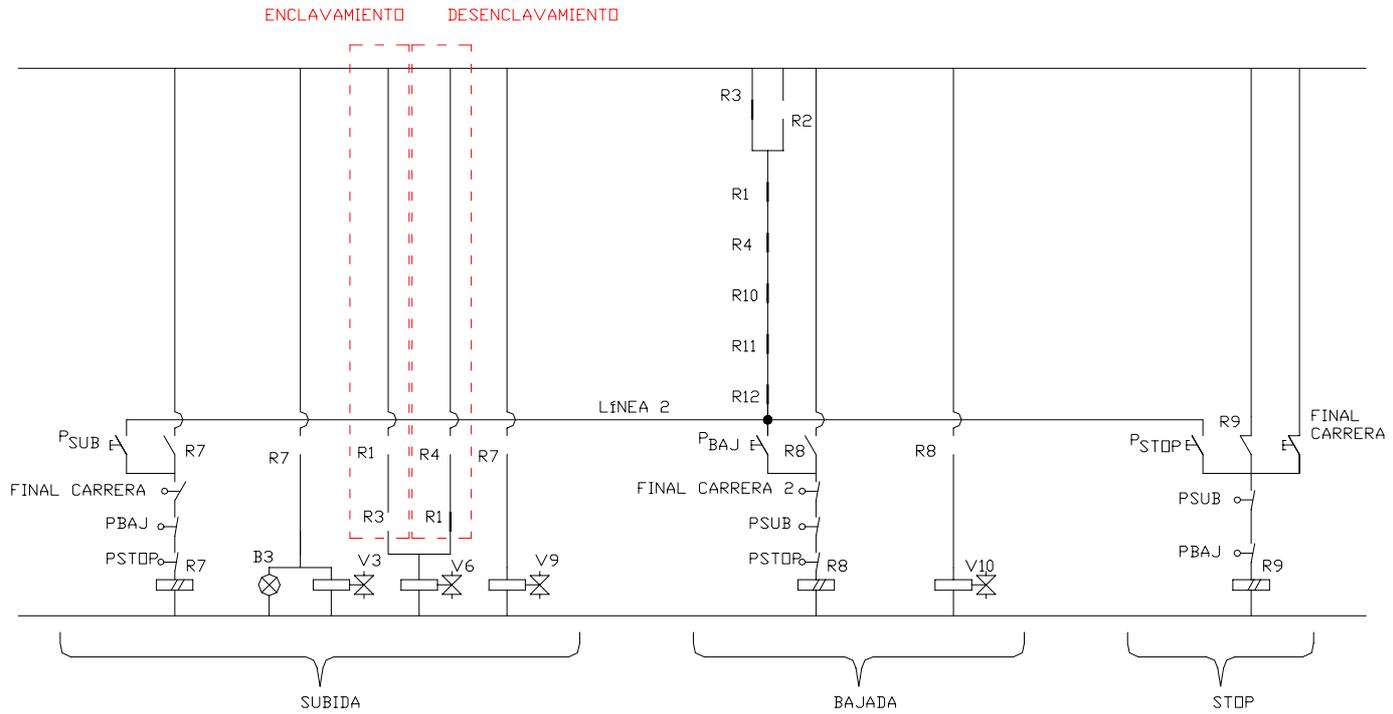


En dicho esquema la plataforma queda en reposo.

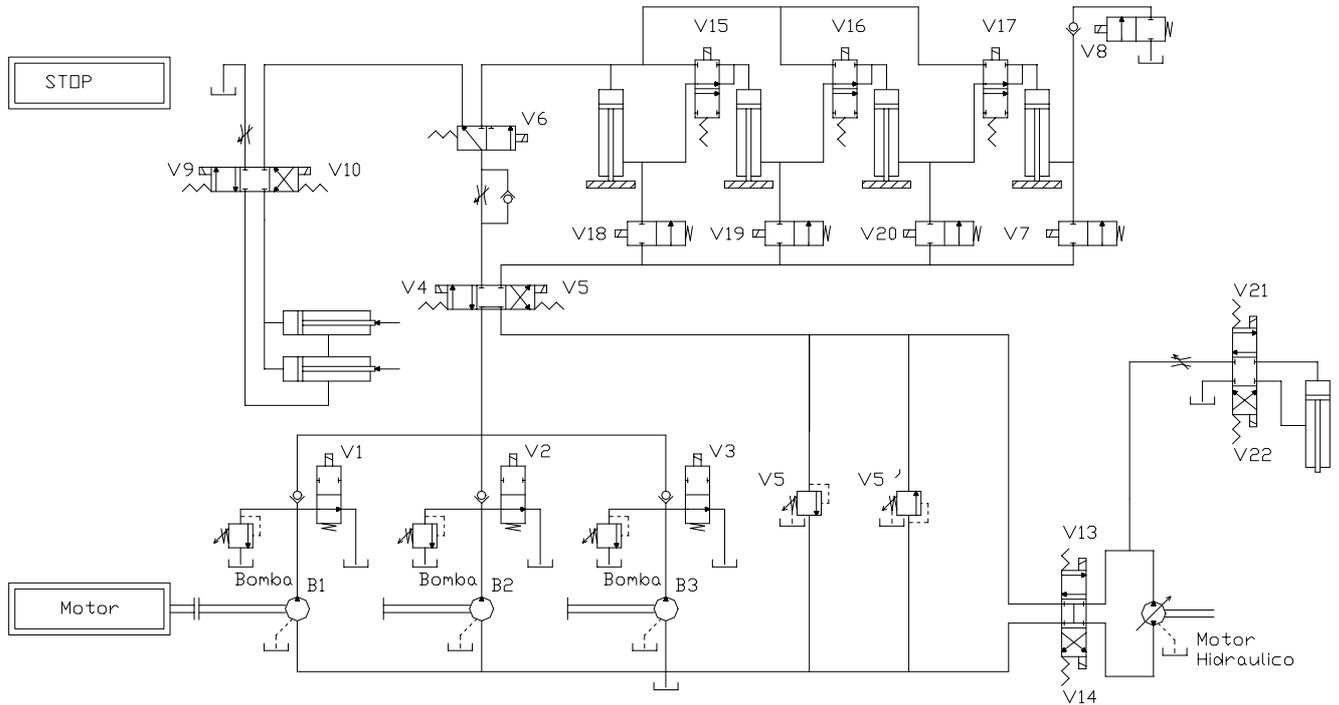
4.5 Circuito hidráulico en la fase de fin de elevación, tras llegar a Final de carrera:

Al llegar a final de carrera, se cierra el relé R7, y se abre el relé R9, el mecanismo deja de levantar la plataforma, queda en reposo, a la altura que se encontraba en la fase de elevación, en espera de pulsar subida o bajada, se desactivan V4, V9, V3 y B3.





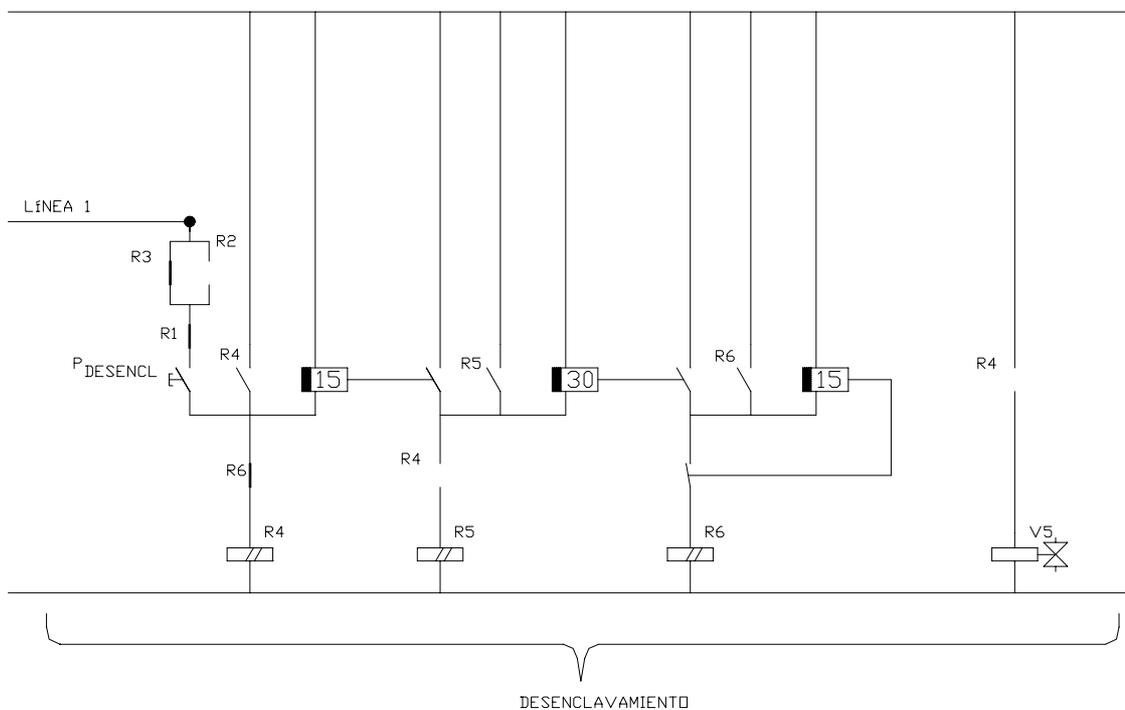
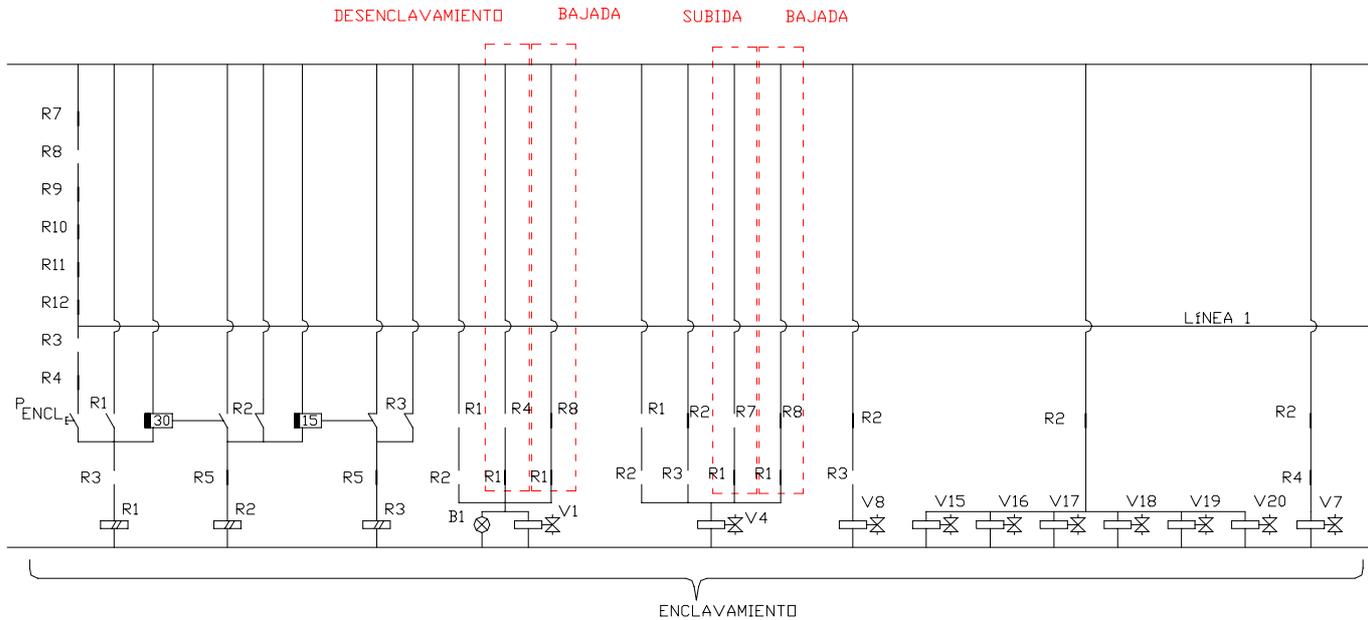
El esquema Hidráulico queda:



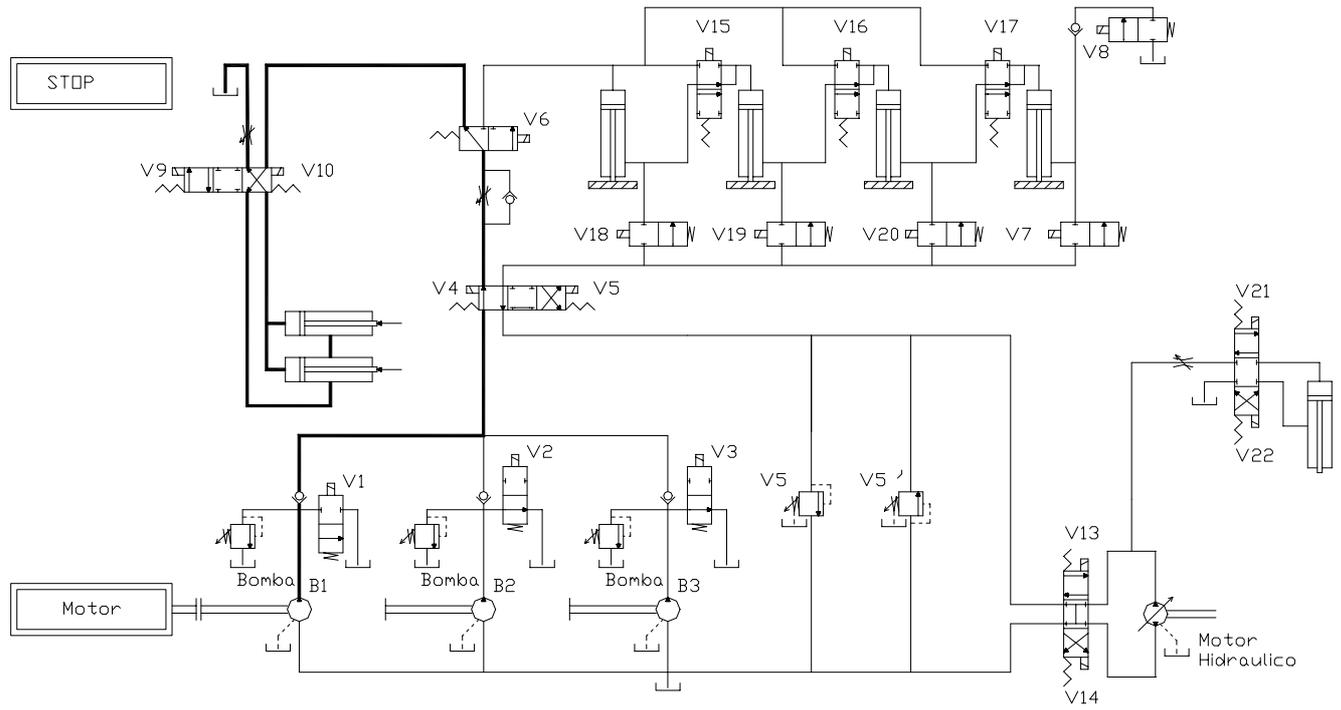
En dicho esquema la plataforma queda en reposo, y no puede seguir subiendo, aunque se pulse P_{SUB} .

4.6 Circuito hidráulico en la fase de bajada de la plataforma:

Al pulsar P_{BAJ}, se cierra el relé R8, y se abre el relé R9 o R7, el mecanismo deja de estar en reposo o de levantar la plataforma, empieza a bajar, se detiene cuando se cumpla uno de estos tres requisitos: se llegue a final de carrera 2, se pulse Stop o se pulse P_{SUB}, se activa V4, V10 y V1 y la bomba B1.

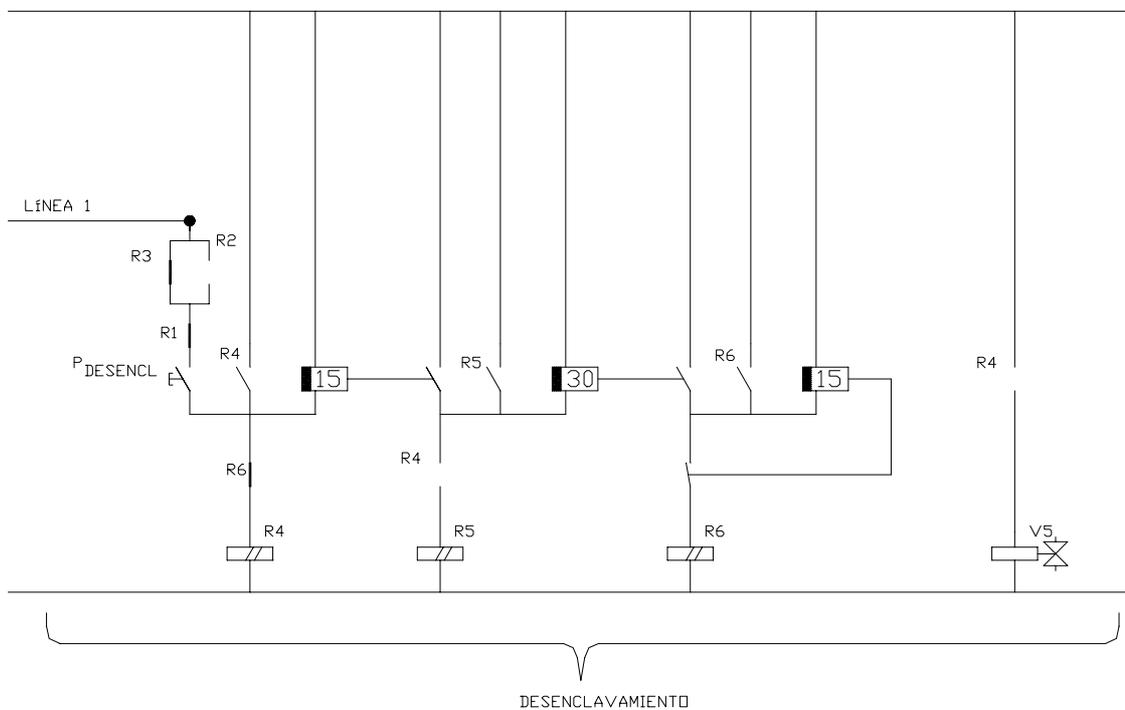
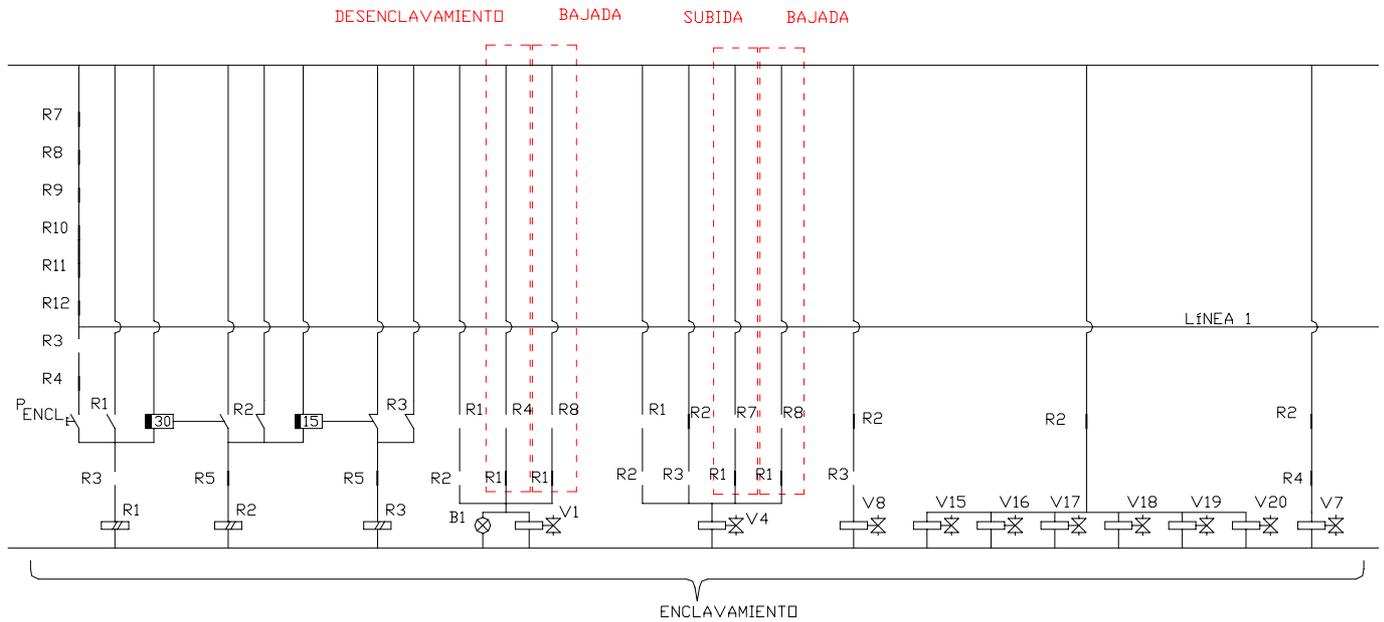


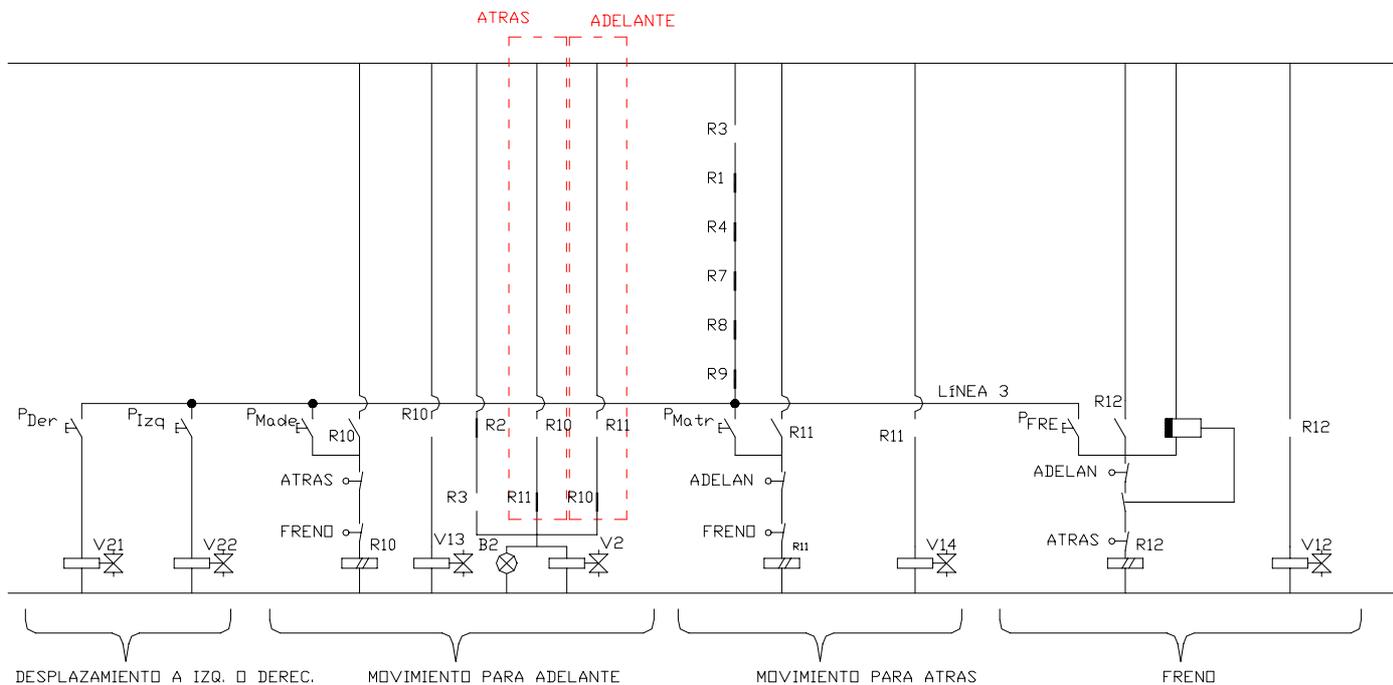
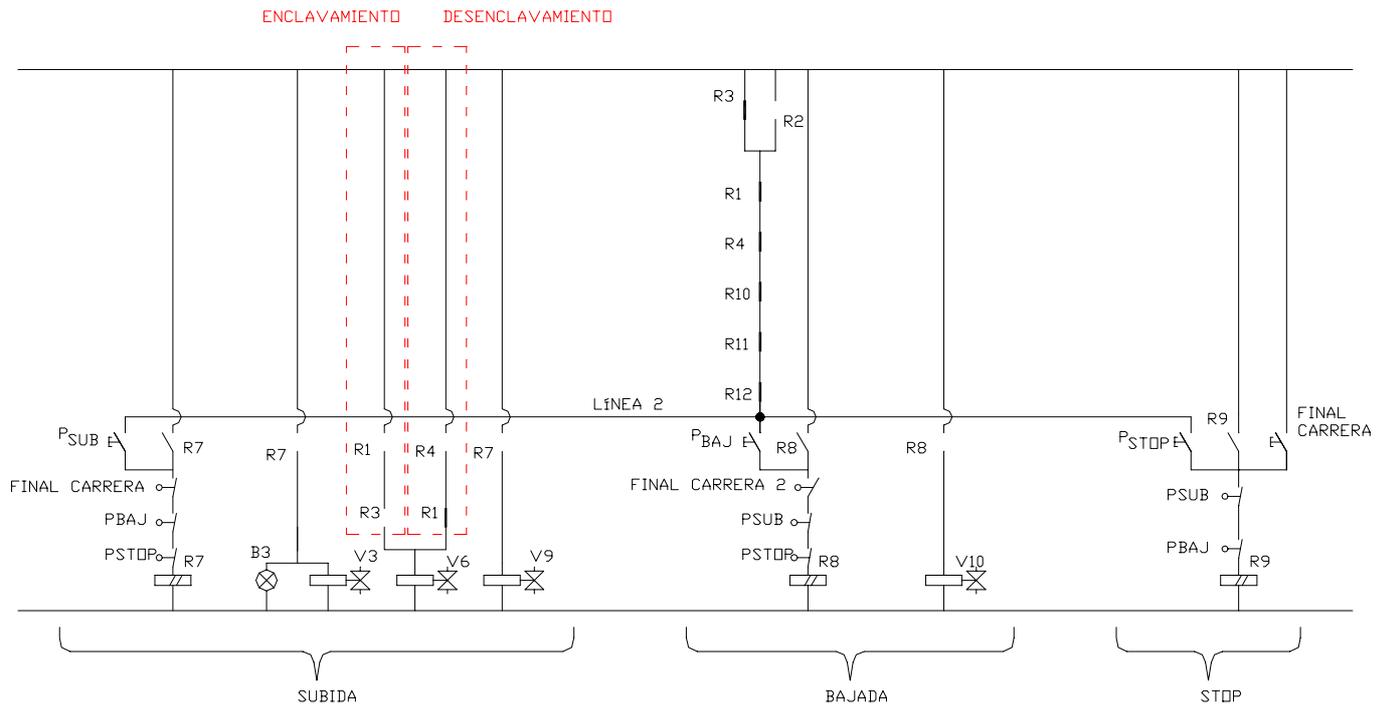
El esquema Hidráulico queda:



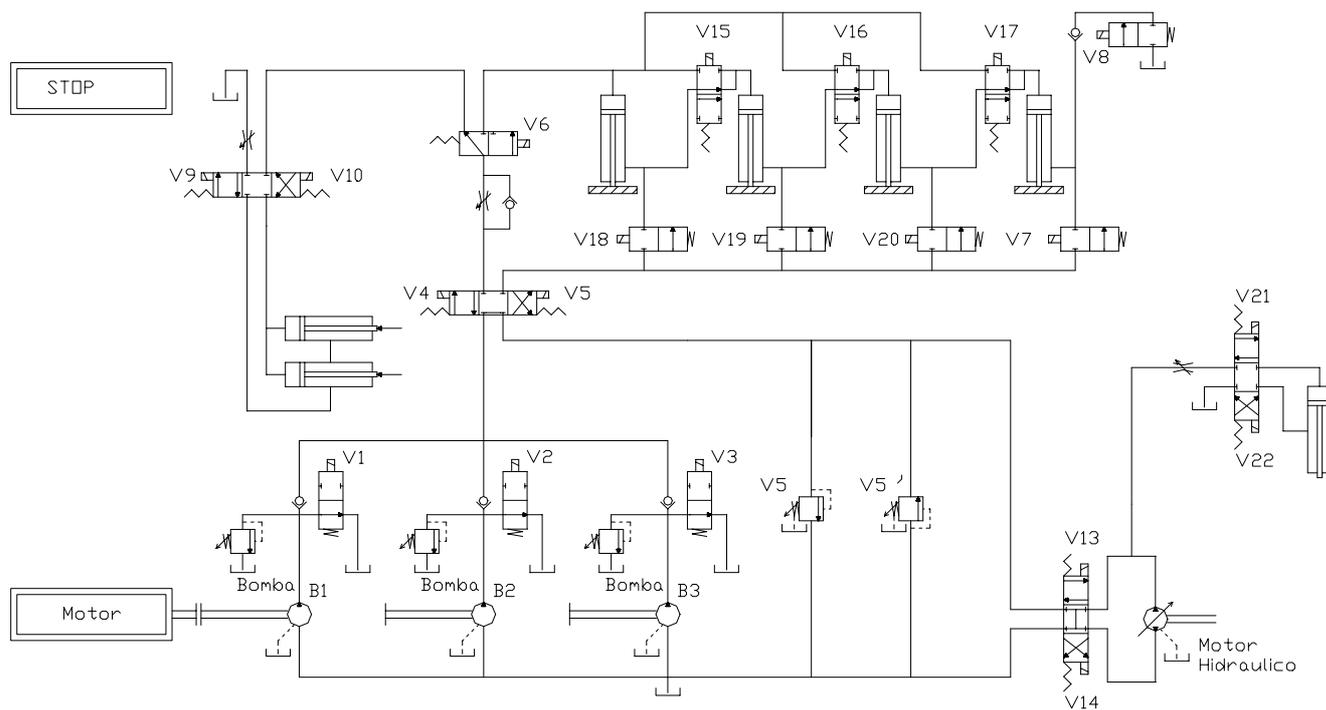
4.7 Circuito hidráulico en la fase de fin de bajada, tras alcanzar Final de carrera 2:

Al llegar a final de carrera 2, se cierra el relé R8, y queda en reposo.





El esquema Hidráulico queda:



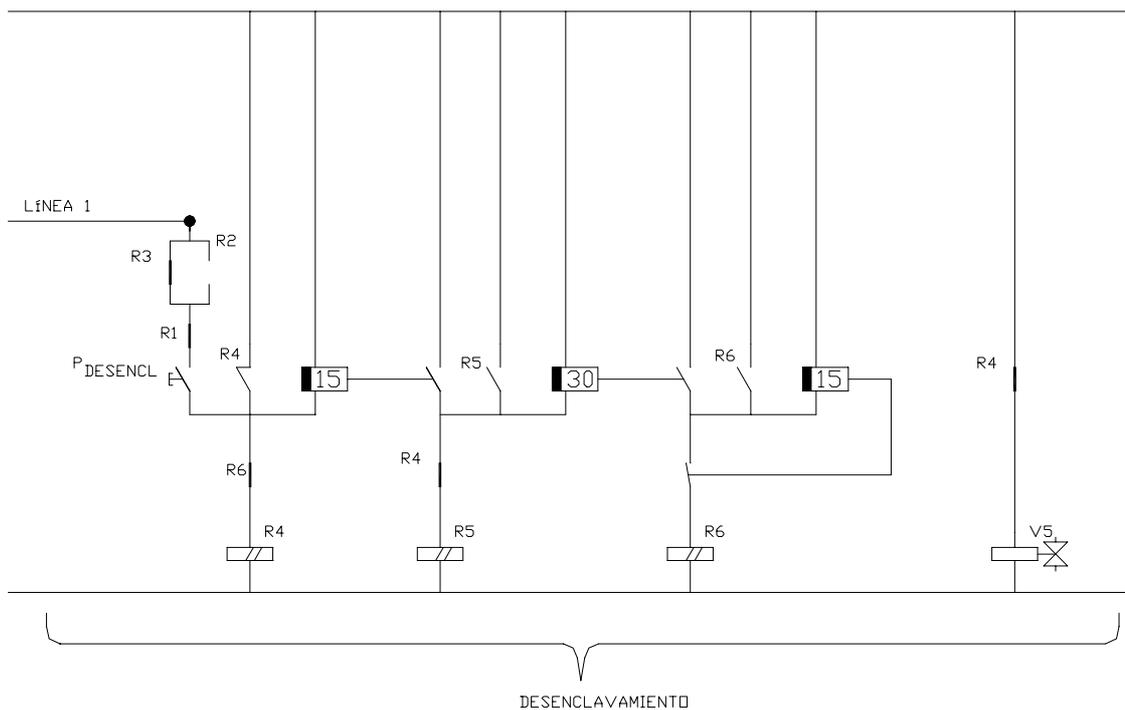
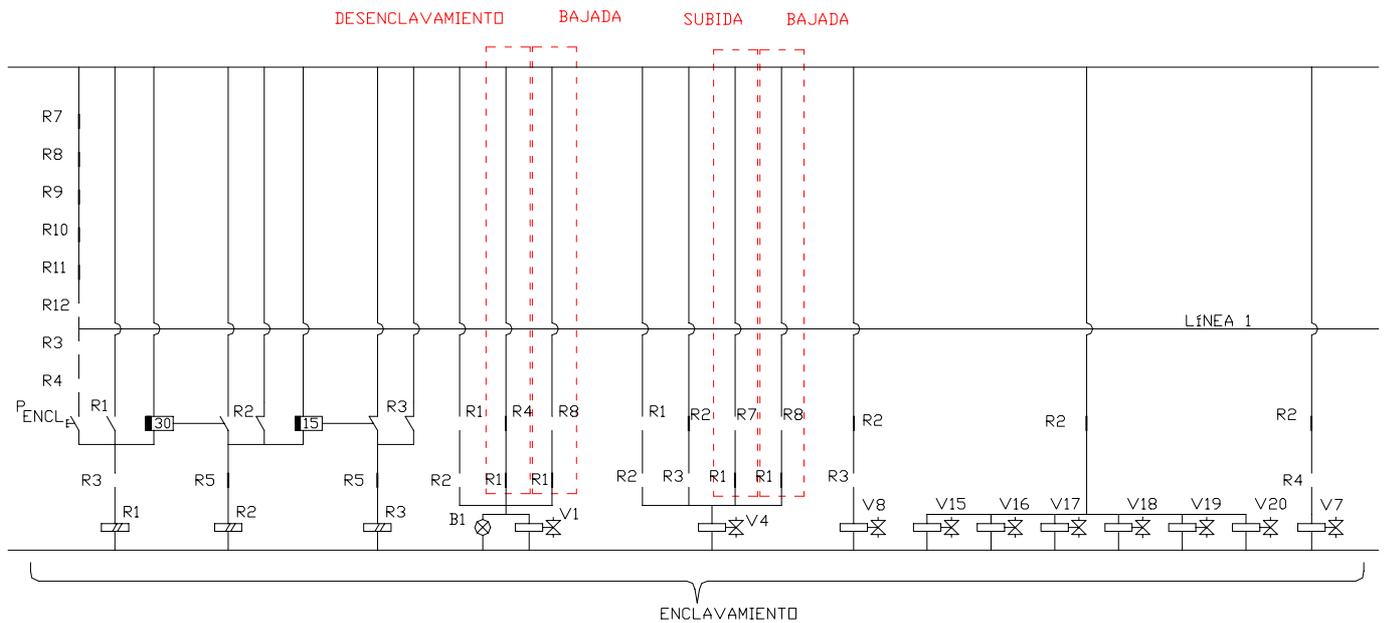
La plataforma queda en reposo en su posición más baja.

4.8 Circuito hidráulico del desenclavamiento:

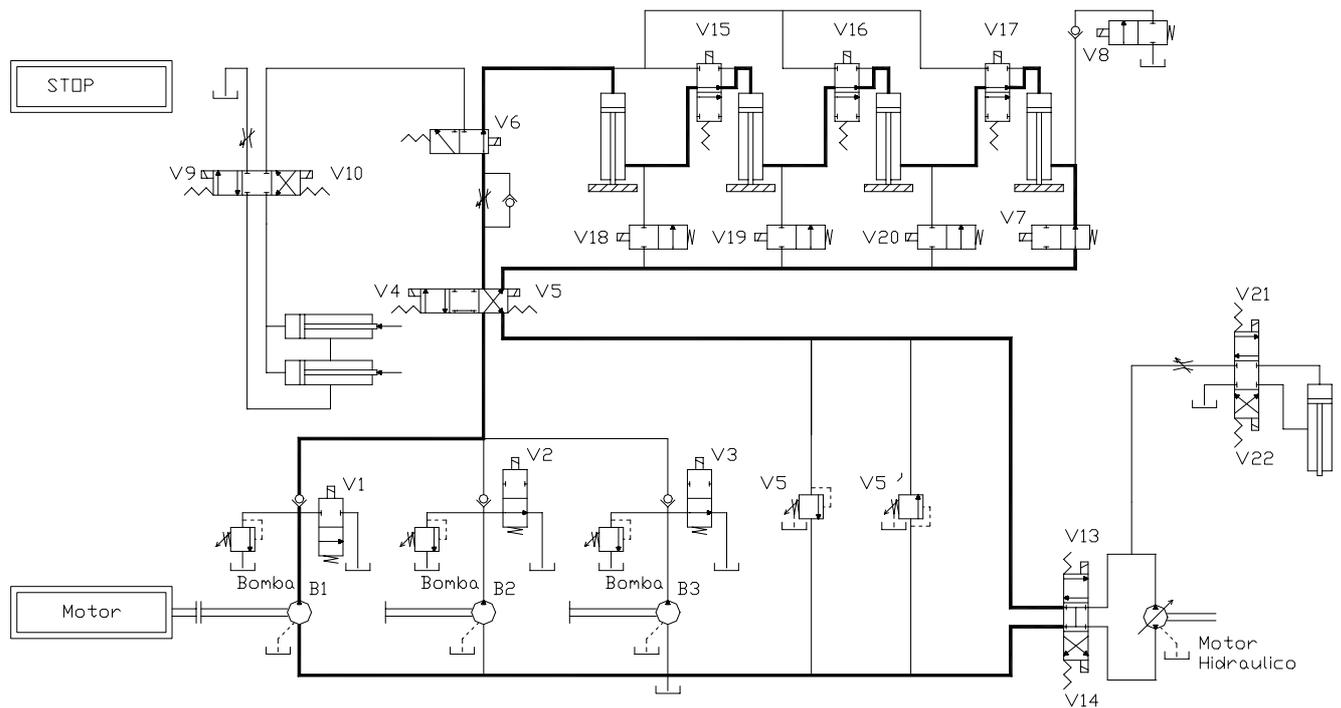
El enclavamiento se va a considerar en tres fases, en función de cómo van actuando los relés.

4.8.1 FASE 1 (movimiento simultáneo de los pistones):

Al pulsar $P_{DESENCL}$, se cierra el relé R4, y activa V5, además de V1 y B1, una vez activo el relé R4, se activará el relé R5 en la fase 2, por la acción de un relé temporizado RT3, al cabo de 15 segundos, se desactiva V7.



El esquema Hidráulico queda:



Con una longitud de carrera de 10 cm, se tiene:

Se parte de una bomba B1 que suministra 20 l/min a un sólo pistón, luego se tiene:

$$Q = 20 \text{ l/min} = 0,0003333 \text{ m}^3/\text{s} = S \cdot V = \frac{\pi \cdot 0,08^2}{4} \cdot V \Rightarrow V = 0,06631 \text{ m/s}$$

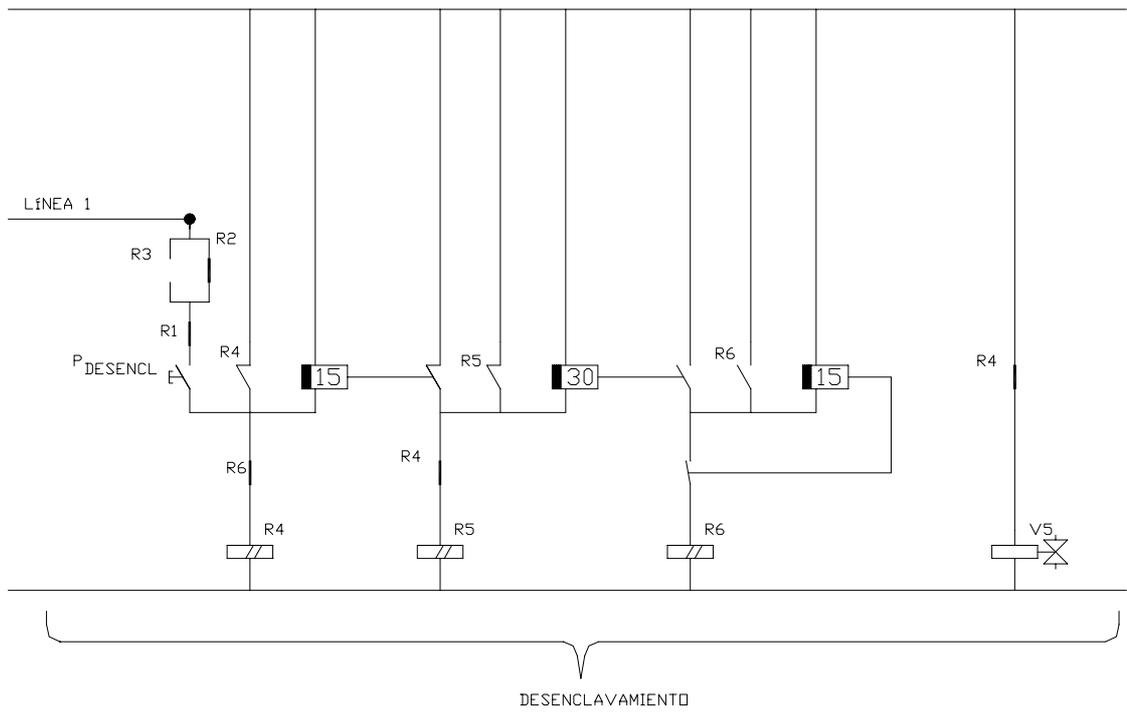
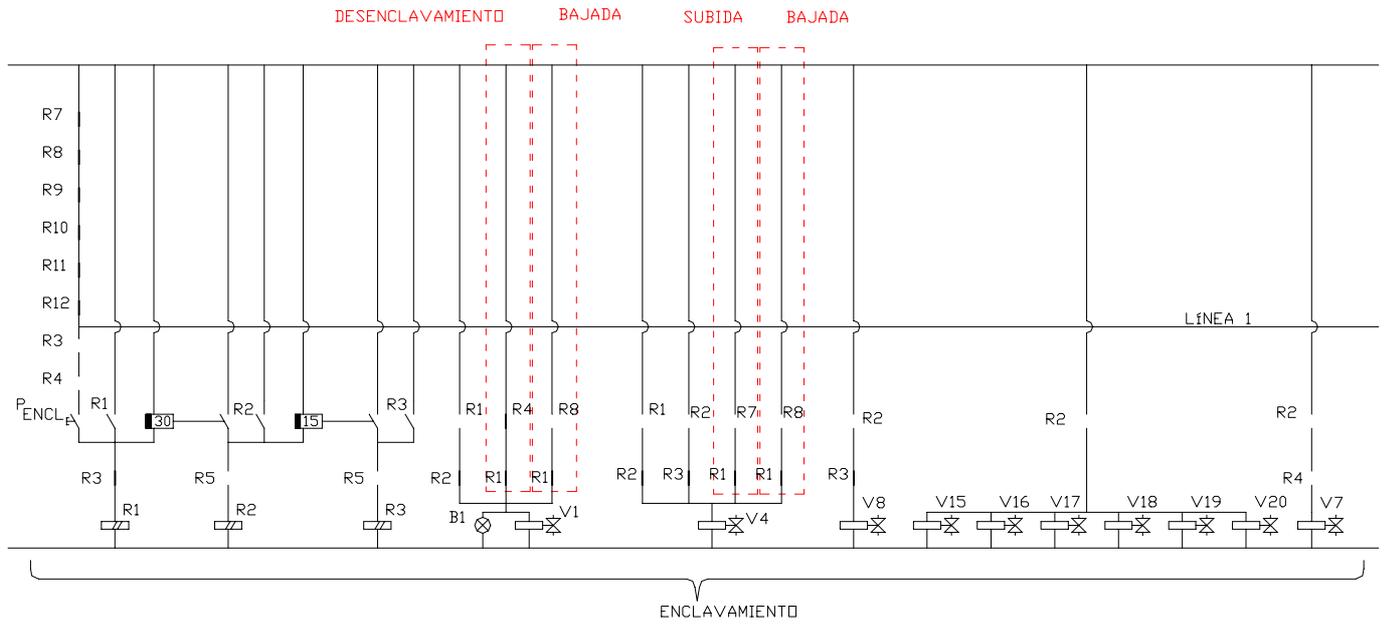
Para una carrera de 10 cm:

$$\frac{L}{t} = V \Rightarrow \frac{0,1}{t} = 0,06631 \text{ m/s} \Rightarrow t = 6,03 \text{ s}$$

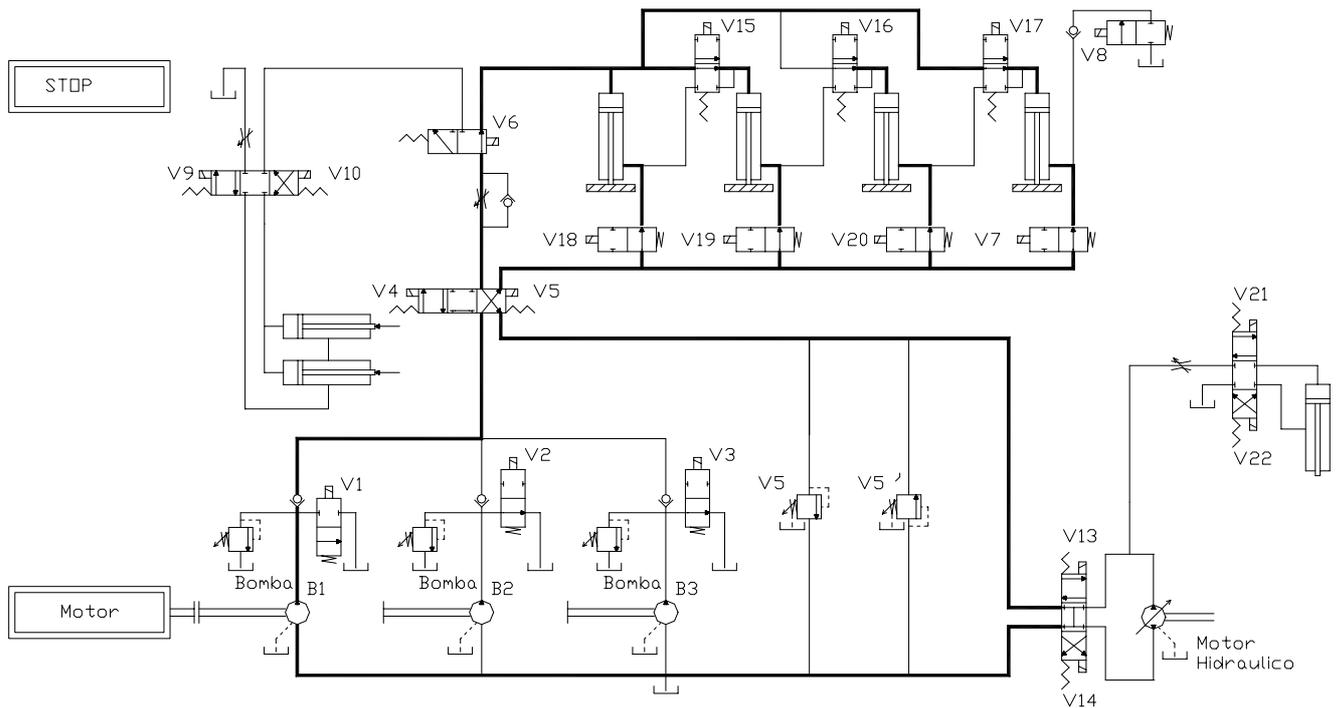
Se toma un relé temporizador, que active a los 15 segundos de llegarle una señal.

4.8.2 FASE 2 (movimiento de los pistones a su posición original):

El relé temporizador RT3 a los 15 segundos activa R5, que abre R2 y R3, siguen activos V5, V1 y B1, se desactivan V15, V16, V17, V18, V19 y V20.



El esquema Hidráulico queda:



En dicha posición, se consigue que los pistones vuelvan a su posición inicial, a continuación se calcula el tiempo que se hace necesario que se actúe sobre los pistones.

Con una bomba que suministra 20 l/min a los cuatros pistones, luego se tiene:

$$\frac{Q}{4} = 20 \text{ l/min} = 0,000083333 \text{ m}^3/\text{s} = S \cdot V = \frac{\pi \cdot 0,08^2}{4} \cdot V \Rightarrow V = 0,01658 \text{ m/s}$$

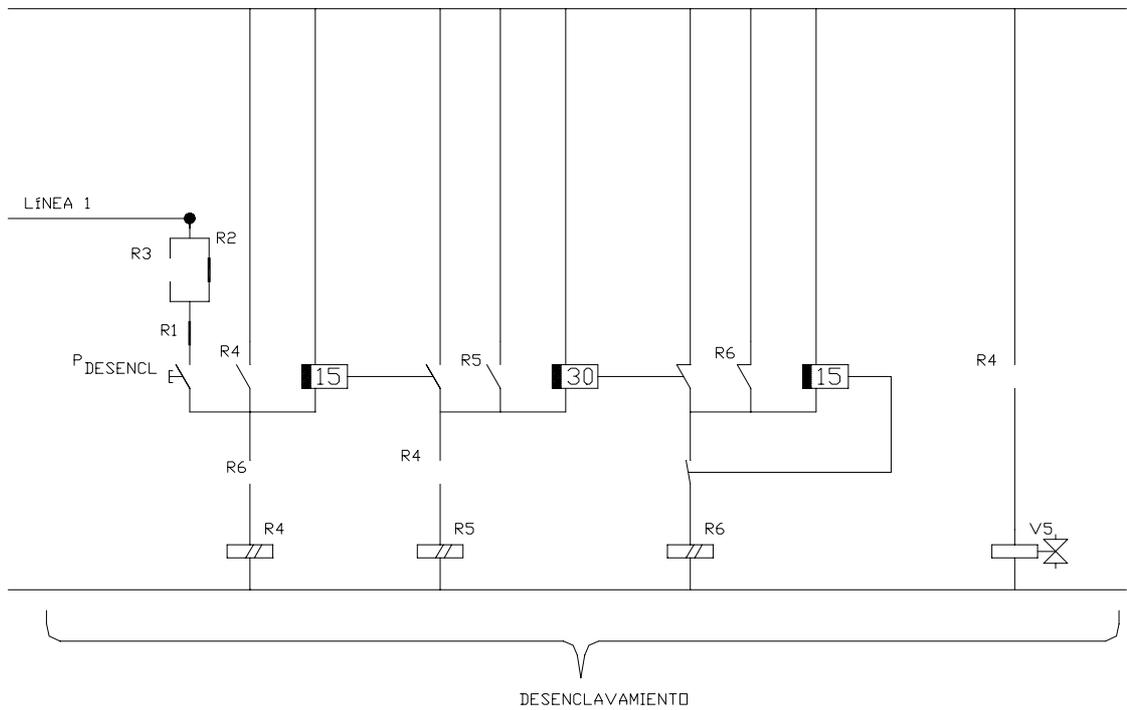
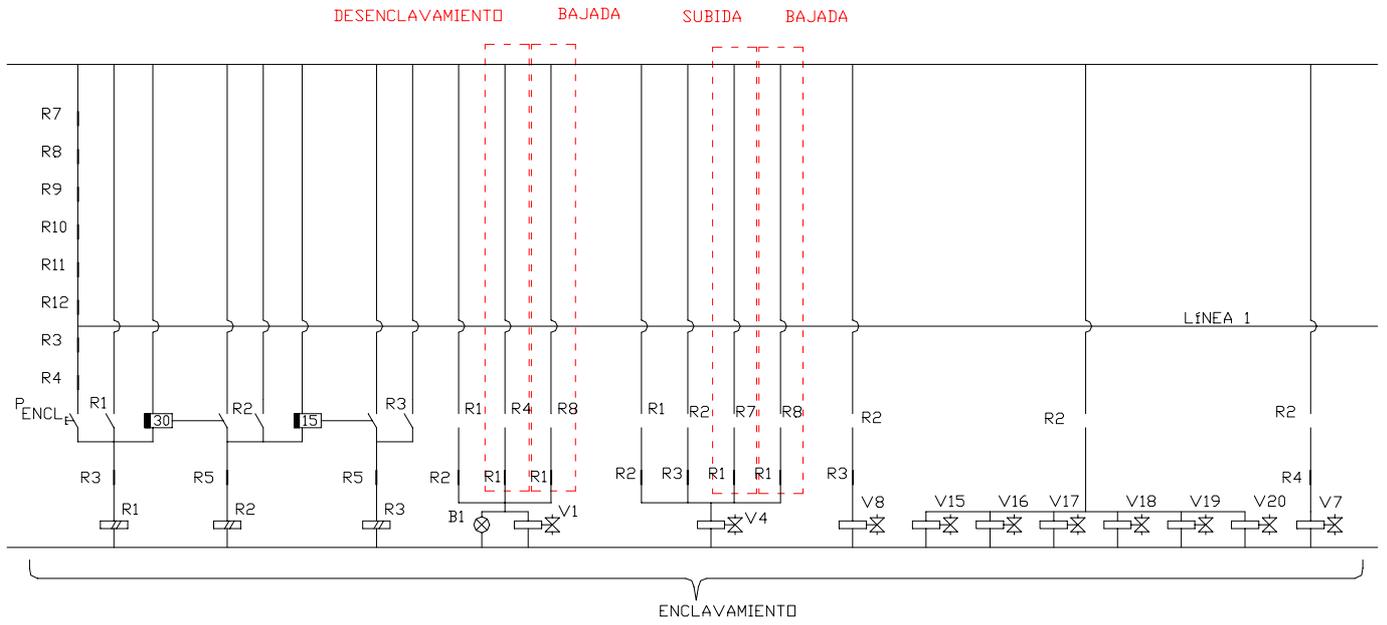
Para una carrera de 40 cm :

$$\frac{L}{t} = V \Rightarrow \frac{0,4}{t} = 0,01658 \text{ m/s} \Rightarrow t = 24,13 \text{ s}$$

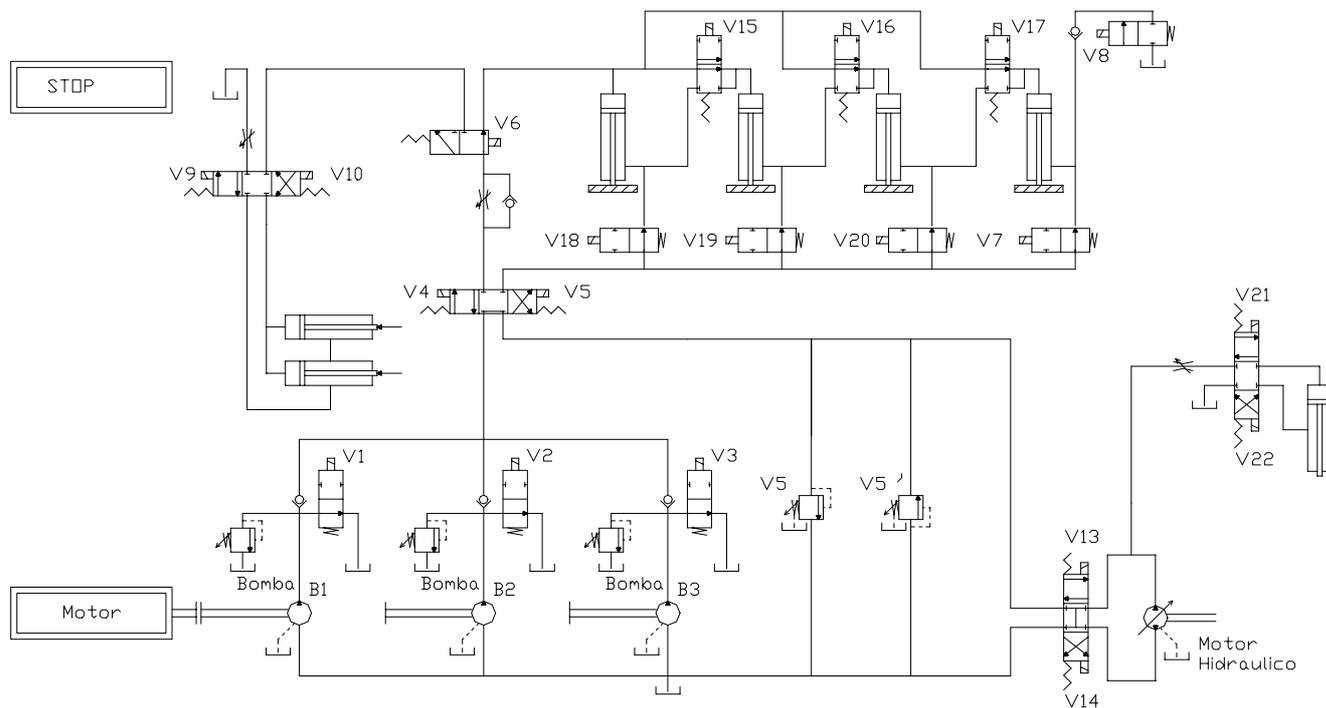
Se toma un relé temporizador, que active a los 30 segundos de llegarle una señal.

4.8.3 FASE 3 (desactivación de los relés):

El relé temporizador RT4 a los 30 segundos activa R6, que abre R4 y R5, todas las válvulas están en su posición inicial, un relé temporizado abrirá R6, al cabo de 15 segundos.

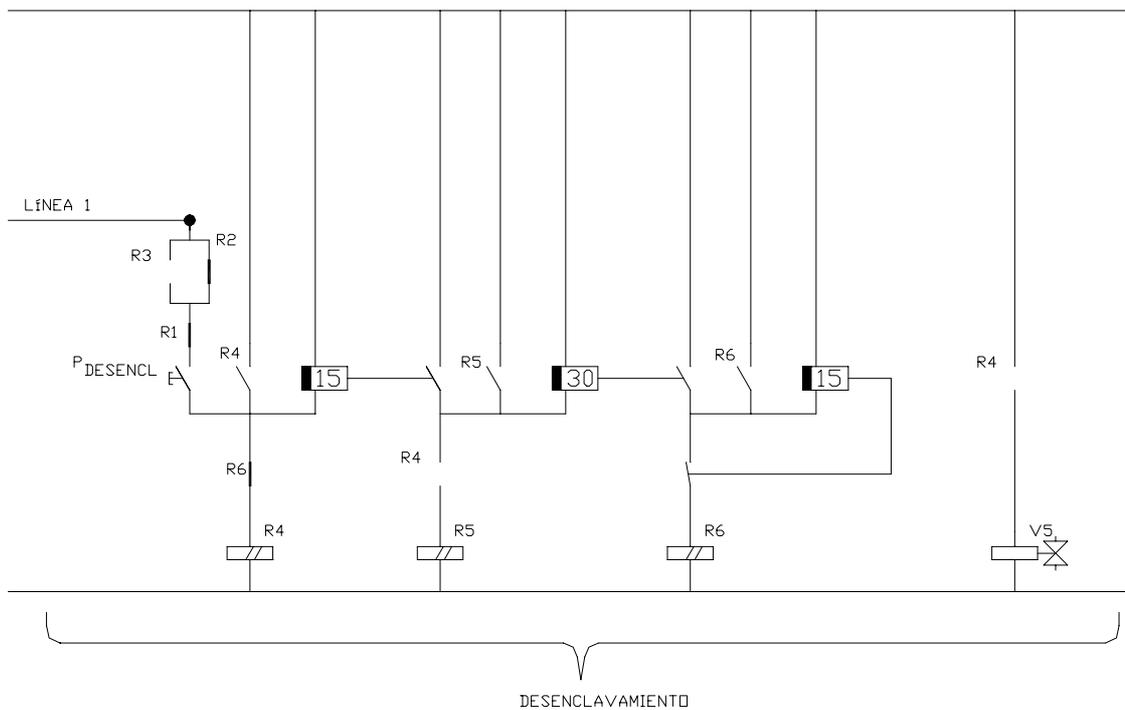
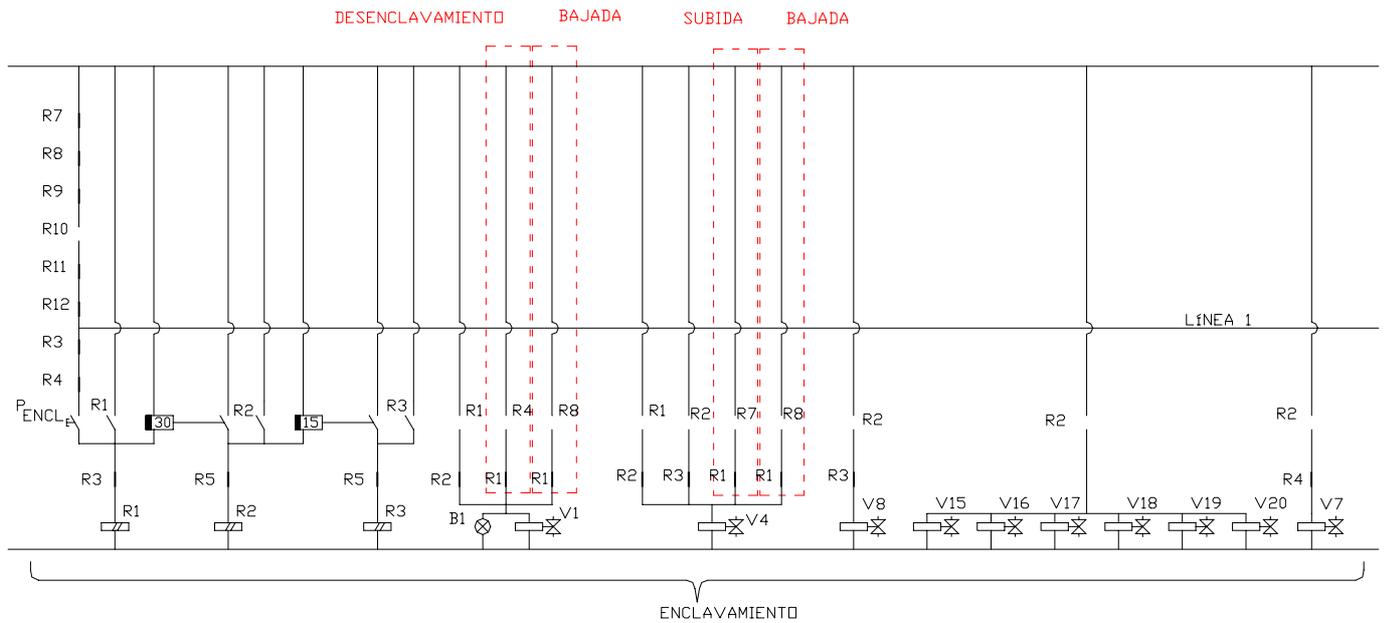


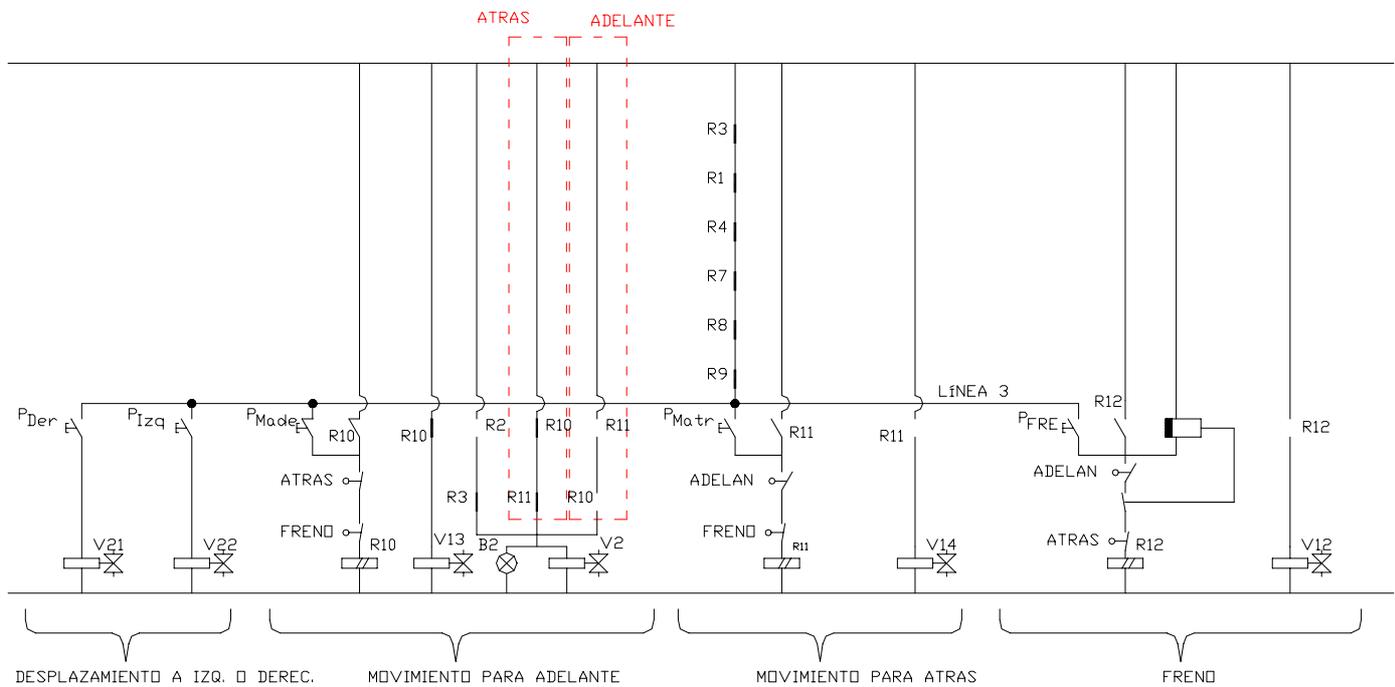
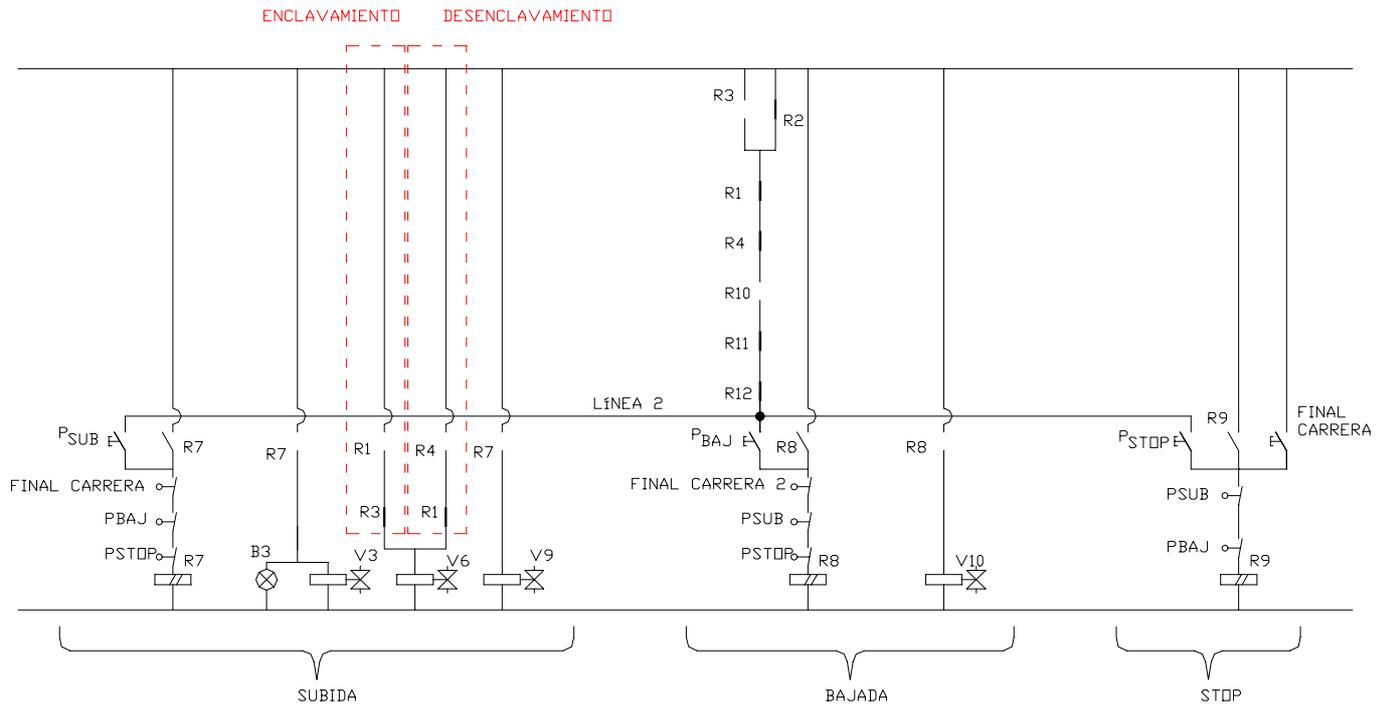
El esquema Hidráulico queda:



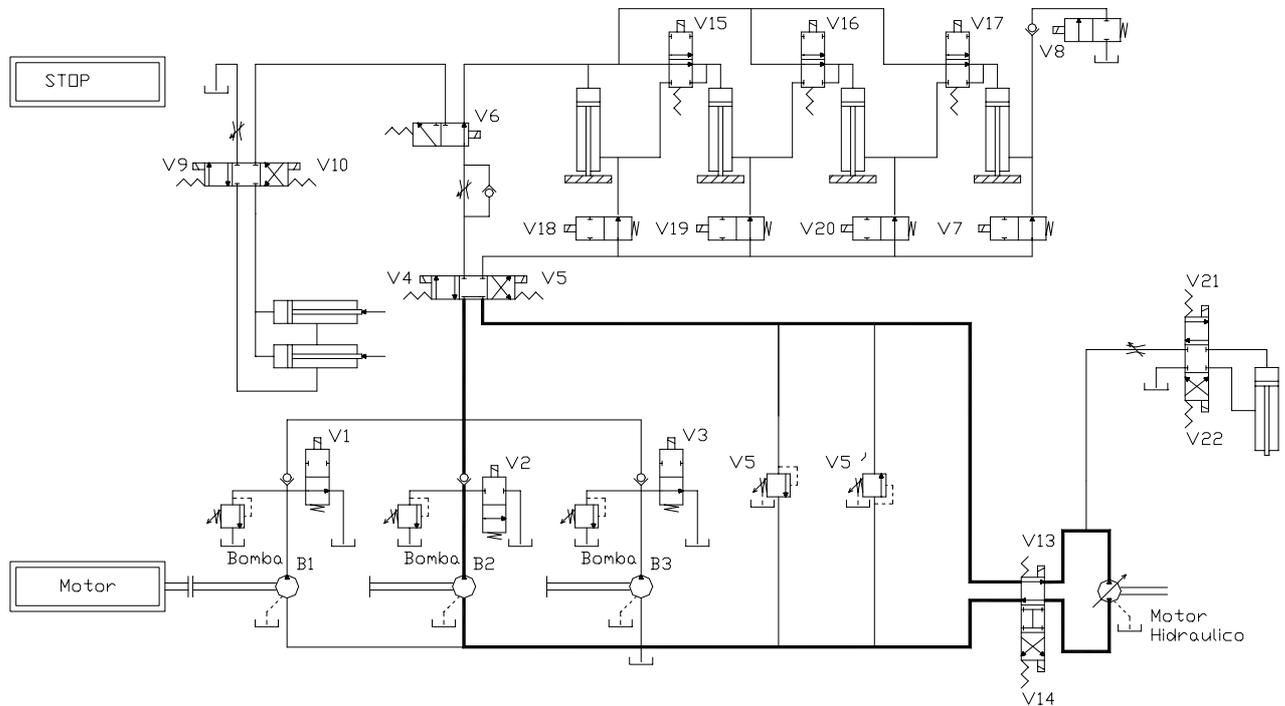
4.9 Movimiento del mecanismo:

Se pulsa P_{Made} , para que se ponga en marcha el movimiento hacia adelante, se activa la bomba B2 y las válvulas V2 y V13, y sigue un movimiento hacia adelante hasta que se pulsa P_{FRE} (freno) o P_{Matr} (pulsador de movimiento hacia atrás).





El esquema Hidráulico queda:



La bomba B2 suministra un caudal $Q=20 \text{ l/s}$, a una presión de $73,86 \text{ bar}$.

Tramo Bomba B2- válvula EV4:

Se considera 1 metros de canalización.

Diámetro interior del conducto de 1".

De la expresión de Hagen Poiseuille, para régimen laminar (h_{pl}):

$$h_{pl} = \frac{128 L Q v}{g \pi D_i^4} = 0,21 \text{ bar}$$

$Pe(EV1) = 73,86 \text{ bar}$.

Se ha consultado catálogo de la firma Sauer-Danfoss, para una válvula retención, con límite de funcionamiento de caudal $Q \geq 30 \text{ l/min}$, en una válvula de referencia CP-108-1, en el diagrama correspondiente se tiene para 20 l/min una pérdida de carga de $1,5 \text{ bar}$, se tiene como presión a la salida de la válvula:

$Ps(EV1) = 73,86 - 1,5 = 72,36 \text{ bar}$.

Se considera 1 metros de canalización.

Diámetro interior del conducto de 1".

De la expresión de Hagen Poiseuille, para régimen laminar (h_{pl}):

$$h_{pl} = \frac{128 L Q v}{g \pi D_i^4} = 0,21 \text{ bar}$$

Luego la presión a la entrada de la electroválvula EV4, será:

$$P_s(\text{EV1}) = 72,36 - 0,21 = 72,15 \text{ bar.}$$

Tramo válvula EV4-electroválvula EV6:

Se considera 7 metros de canalización.

Diámetro interior del conducto de 1".

De la expresión de Hagen Poiseuille, para régimen laminar (h_{pl}):

$$h_{pl} = \frac{128 L Q v}{g \pi D_i^4} = 1,49 \text{ bar}$$

Con la válvula de referencia CP-530-3P-X-XX-3, que será la electroválvula EV-6, para 20 *l/min* hay una pérdida de carga de 7 *bar*, si se considera una pérdida de 1,5 *bar* en la entrada y en la salida, se tiene como presión a la entrada del motor hidráulico:

$$P_{\text{entrada}}(\text{Motor}) = 72,36 - 7 - 1,5 - 1,5 = 62,36 \text{ bar}$$

$$W = AP \cdot Q = 6215000 \cdot 0,0003333 = 2071,46 \text{ W}$$

Presión a la entrada del pistón:

Con la válvula de referencia CP-530-3P-X-XX-4, que será la electroválvula EV-7, para 20 *l/min* hay una pérdida de carga de 7 *bar*, si se considera una pérdida de 1,5 *bar* en la entrada y en la salida, se tiene como presión a la entrada del pistón:

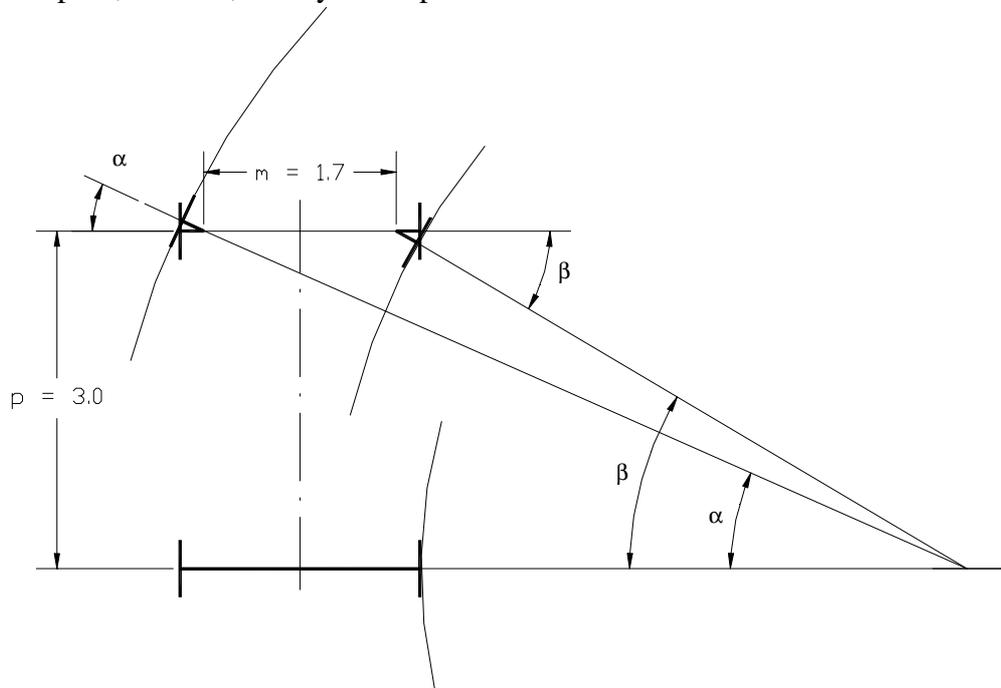
$$P_{\text{entrada}}(\text{Pistón}) = P_{\text{entrada}}(\text{Motor}) - 7 - 1,5 - 1,5 = 52,36 \text{ bar.}$$

La carrera del pistón será: $L = 0,173 + 0,087 = 0,26 \text{ m} = 26 \text{ cm.}$

Las dimensiones del pistón serán idénticas a las de los pistones de enclavamiento, al haber presiones menores en este caso, no son necesarias las comprobaciones mecánicas.

5. Cálculo del mecanismo de dirección:

Las ruedas en las curvas, deben describir arcos concéntricos, para que haya un movimiento de rodadura pura, es decir, no haya derrapamiento.



Se emplea el cuadrilátero de Ackerman, empleando el método de cálculo descrito en la publicación: *Cálculo Teórico-Práctico de los Elementos y Grupos del Vehículo Industrial y Automoción de Francisco Muñoz Gracia* para el cálculo, del mecanismo de orientación de las ruedas.

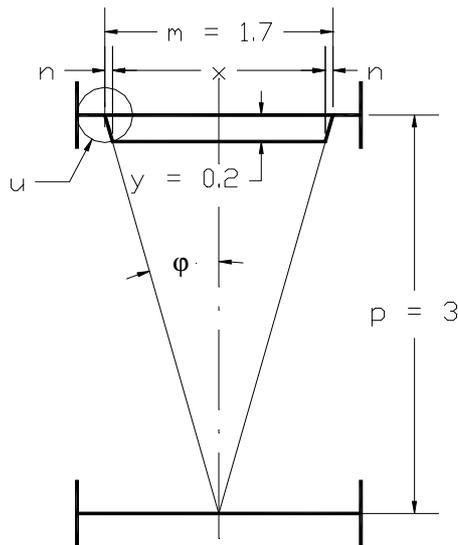
La condición analítica del mecanismo es:

$$\cot g\alpha - \cot g\beta = \frac{m}{p} = \text{constante}$$

Se cumple:

$$2,5 \cdot m = 3,75 \geq p = 3 \geq 2 \cdot m = 3$$

Luego en dicho cuadrilátero las prolongaciones de las bielas de enlace de las ruedas, deben cortarse en el centro del eje de las ruedas traseras.



Por trigonometría se deducen las siguientes expresiones:

$$x = \frac{m(p - y)}{p} = \frac{1,7 \cdot (3 - 0,2)}{3} = 1,587$$

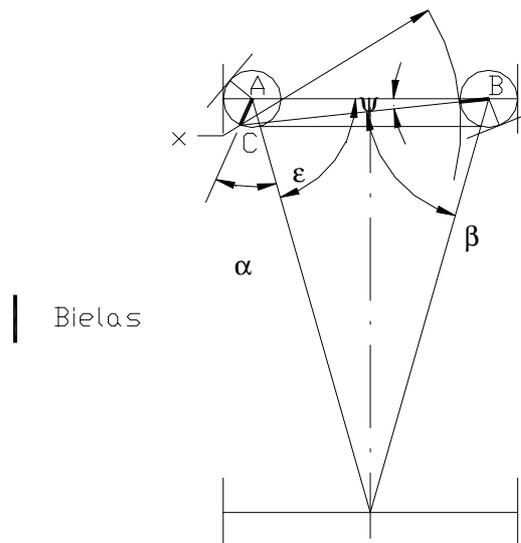
$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{m/2}{p} = 0,283 \Rightarrow \varphi = 15,82^\circ$$

$$\operatorname{sen} \varphi = \frac{(m - x)/2}{u} \Rightarrow u = 0,208$$

$$n = (m - x)/2 \Rightarrow n = 0,057$$

5.1 Cálculo del mecanismo de los ángulos máximos que describen las ruedas de dirección:

Se produce cuando una de las bielas está alineada con la barra transversal, como se muestra en la siguiente figura:



Por trigonometría:

$$\varepsilon = 90 - \varphi = 74,1808$$

En el triángulo ABC, se cumple:

$$(x + u)^2 = m^2 + u^2 - 2m \cdot u \cdot \cos(\alpha + \varepsilon)$$

$$\cos(\alpha + \varepsilon) = \frac{m^2 + u^2 - (x + u)^2}{2 \cdot m \cdot u}$$

$$\cos[180 - (\alpha + \varepsilon)] = \frac{(x + u)^2 - m^2 - u^2}{2 \cdot m \cdot u} = 0,4063 \Rightarrow \alpha = 39,79^\circ$$

$$\frac{x + u}{\sin(\alpha + \varepsilon)} = \frac{u}{\sin \psi} \Rightarrow \sin \psi = 0.10584415$$

$$\beta = \varepsilon - \psi = 74,181 - 6,076 = 68,105$$

5.2 Limitación de los ángulos de giro:

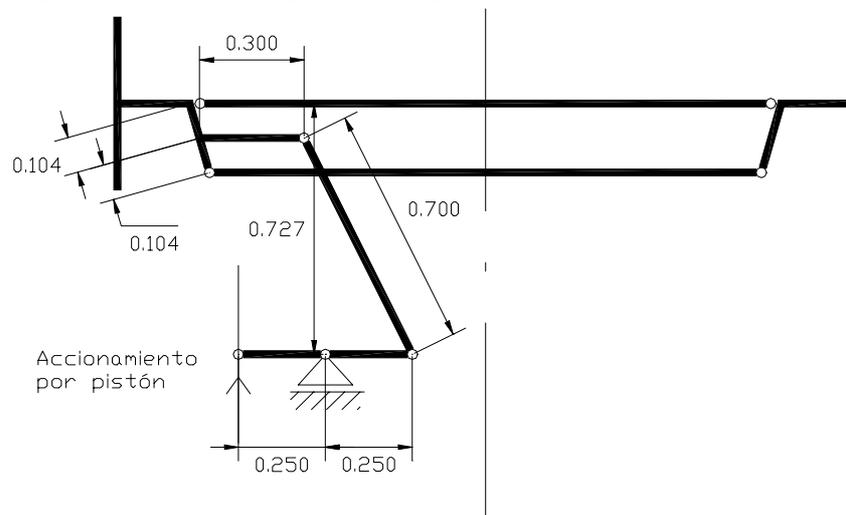
No se debe alcanzar los valores máximos pues se pueden producir agarrotamientos en las barras del mecanismo de dirección. Se recomienda tomar un margen de seguridad, para el valor del ángulo α , mayor de 10° . En concreto, se toma un margen de seguridad de 14,74 para el ángulo $\alpha = 39,79 - 14,79 = 25^\circ$.

De la condición analítica se deduce el valor de β límite:

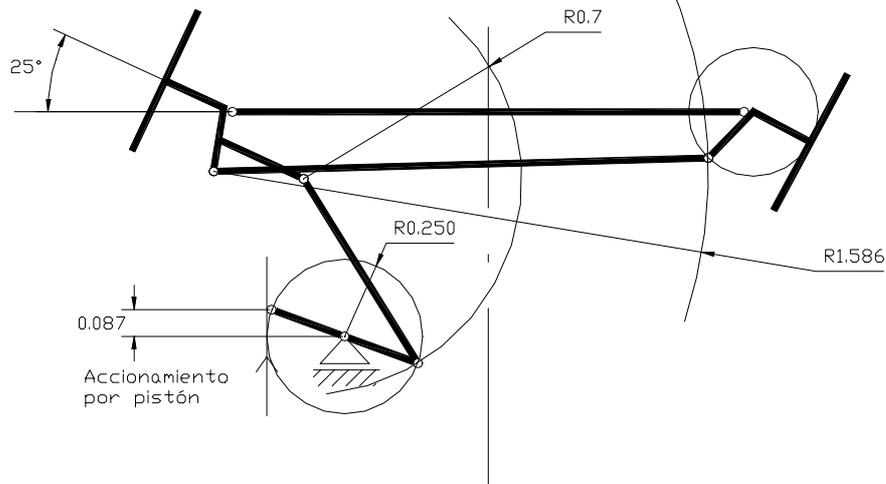
$$\cot g 25 - \cot g \beta = \frac{1,5}{3} \Rightarrow \beta = 31,30^\circ$$

5.3 Mecanismo de barras:

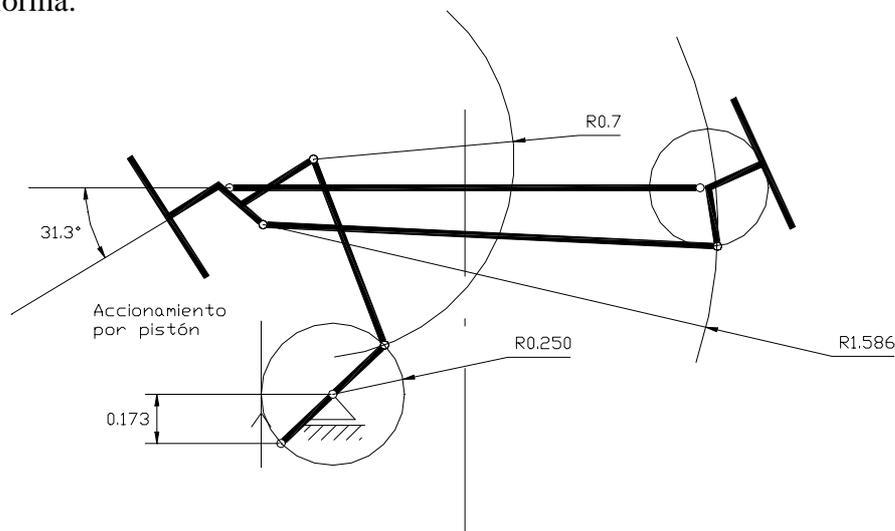
En la siguiente figura se representa la geometría del mecanismo:



Si las ruedas directrices giran a la derecha un ángulo $\alpha=25^\circ$, dicho mecanismo queda de la siguiente forma:



Si las ruedas directrices giran a la izquierda un ángulo $\beta=31,30^\circ$, dicho mecanismo queda de la siguiente forma:



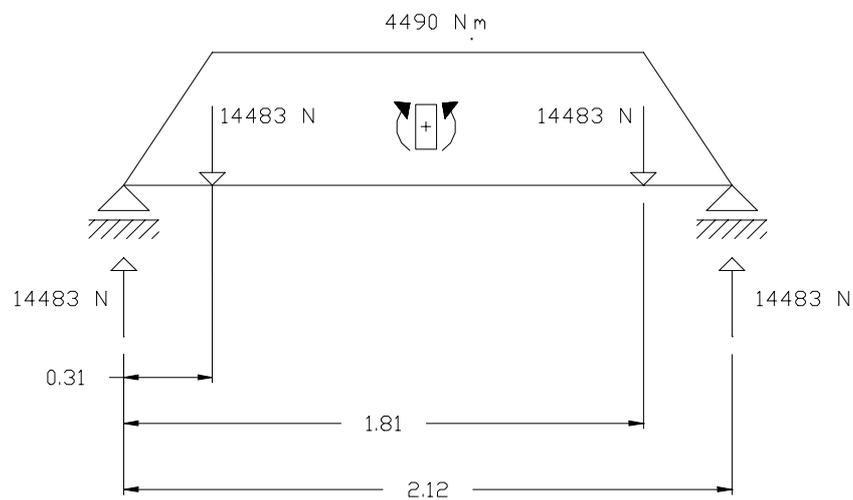
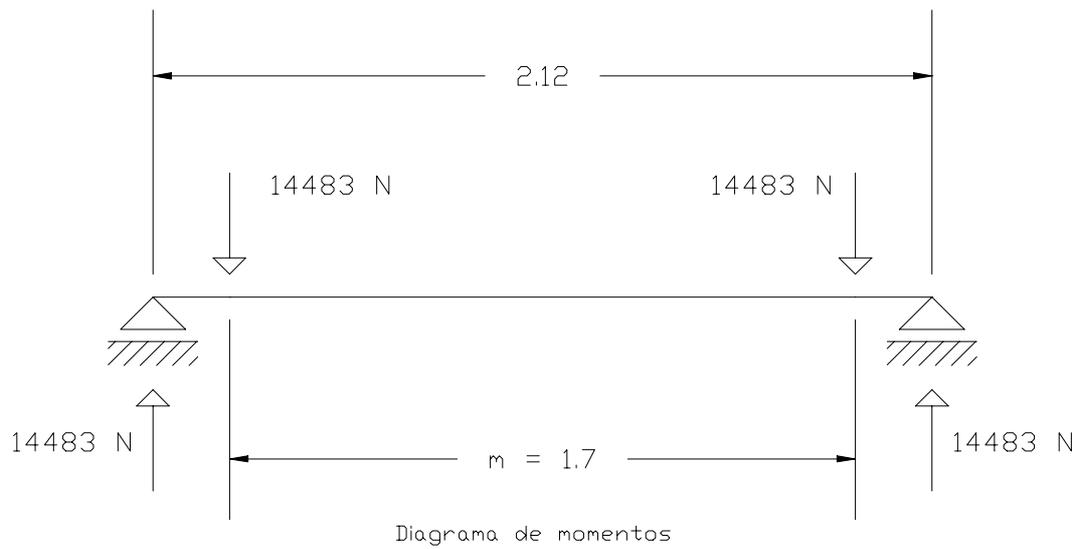
5.4 Radio mínimo de giro (R):

$$R \approx \frac{p}{\text{sen } \alpha} = \frac{3}{\text{sen } 25} \approx 7,1 \text{ metros.}$$

5.5 Cálculo de los ejes principales de las ruedas:

Se consideran sólo las cargas verticales, pesos estructurales, pesos de materiales y personal, se considera en su cálculo que no debe de transportar más de 5 personas, se toma un eje de 9 cm de diámetro:

Parte del conjunto:	Peso (N):
Chasis+Soporte	7499,3
Mecanismo	27570
Plataforma	4526,4
Materiales	5880
Personal y su equip.	4900
total	50375,7
total/2	25188
Coef. Dinámico	1,15
Total con coef Dinámico	28966
Sobre cada rueda	14483



Cálculo de los axiles:(N)

$$N = F_{\text{centrífuga máxima}} = m \cdot \frac{V^2}{R_{\text{mínimo}}} = \frac{14483 \text{ N}}{9,8} \cdot \frac{1,33 \text{ m/s}}{7,1 \text{ m}} = 277 \text{ N.}$$

$$\sigma_{alterna} = \frac{32 \cdot M}{\pi \cdot d^2} = \frac{32 \cdot 4490}{\pi \cdot (0,09)^2} = 5,6463 \cdot 10^6 \text{ N/m}^2$$

$$\sigma_{media} = 277 \text{ N.}$$

El límite de fatiga se calcula, siguiendo la norma ANSI/ASME B106.1M-1985, como:

$$S_f = k_a \cdot k_b \cdot k_c \cdot k_d \cdot k_e \cdot k_f \cdot k_g \cdot S_f^*$$

K_a = Coeficiente de acabado superficial:

Se emplea la gráfica de la publicación Engineering Consideration of Stress, Strain and Strength; McGraw-Hill de Juvinal, para mecanizado de un acero con $S_u=520 \text{ MPa}$, y $S_y=355 \text{ MPa}$.

$$k_a = 0,8$$

k_b = Coeficiente de tamaño:

Se emplea la fórmula compuesta, para $d > 50 \text{ mm}$.

$$k_b = 1,85 \cdot d^{-0,19} = 1,85 \cdot 90^{-0,19} = 0,79$$

k_c = Coeficiente de fiabilidad:

Se diseña con una fiabilidad del 99%, luego: $k_c = 0,814$

k_d = factor temperatura, $k_d = 1$

k_e = Coeficiente de severidad del ciclo de carga:

Se considera que la carga irregular, origina una reducción del 20% del límite de fatiga:

$$k_e = 0,80$$

k_f = Coeficiente de concentrador de tensiones:

$$k_f = 1:$$

k_g = Coeficiente misceláneo, $k_g = 1$

$$S_f = 0,8 \cdot 0,79 \cdot 0,814 \cdot 1 \cdot 0,8 \cdot 1 \cdot S_f^* = 0,4116 \cdot S_f^* = 0,4116 \cdot (0,5 \cdot S_U) = 107,016 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{eq} = \sigma_{media} + \left(\frac{S_y}{S_f} \right) \sigma_{alterna} = 277 + \left(\frac{355 \cdot 10^6}{107,016 \cdot 10^6} \right) 5,6463 \cdot 10^6 = 1,8730 \cdot 10^6 \text{ N/m}^2$$

$$\sigma_o = f_y / S = (2,75 \cdot 10^8 \text{ N/m}^2) / 3 = 9,17 \cdot 10^7 \text{ N/m}^2$$

$$\sigma_{VonMises} = \sqrt{\sigma_{eq}^2 + 3\tau_{eq}^2} = 1,8730 \cdot 10^7 \text{ N/m}^2 < 9,17 \cdot 10^7 \text{ N/m}^2$$

Potencia del motor hidráulico y relación de transmisión:

Notación:

n_m	velocidad del motor, en <i>r.p.m.</i>
n_r	velocidad de la rueda, en <i>r.p.m.</i>
n_c	velocidad a la salida de la caja de cambios, en <i>r.p.m.</i>
D	Diámetro de la rueda.
V	Velocidad del vehículo.
r_d	Reducción en el diferencial

Se toma una velocidad de diseño para el vehículo, aproximada a 5 Km/h, y un diámetro de la rueda de 24".

$$V = \frac{\pi \cdot D \cdot n_r}{60} = \frac{\pi \cdot 0,6096 \cdot n_r}{60} = 4,60 \text{ Km/h} = 1,2767 \text{ m/s} \Rightarrow n_r \approx 40 \text{ r.p.m}$$

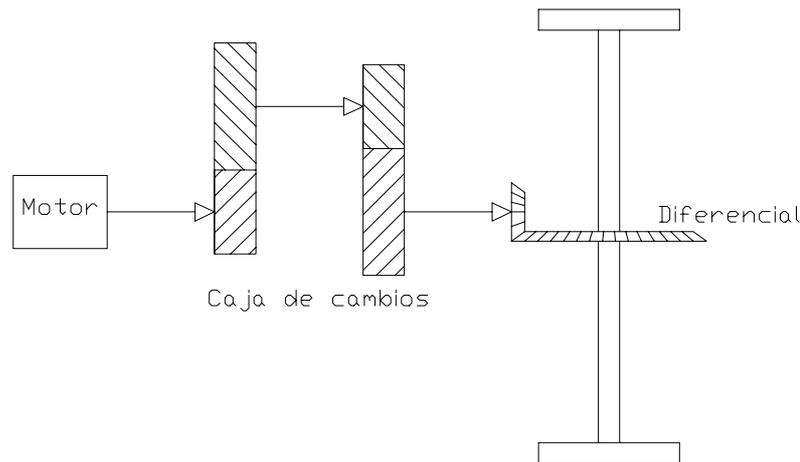
Se tiene:

$$\frac{n_m \cdot n_c}{n_c \cdot n_r} = \frac{1}{r_c} \cdot \frac{1}{r_d}$$

De catálogos, tomamos un régimen de velocidad del motor hidráulico de $n_m = 2000 \text{ r.p.m.}$

$$\frac{n_m \cdot n_c}{n_c \cdot n_r} = \frac{2000}{40} = \frac{1}{1/50} = \frac{Z_1}{Z_2} \cdot \frac{Z_3}{Z_4} \cdot \frac{Z_5}{Z_6} = \left(\frac{50}{10} \cdot \frac{50}{10} \right) \frac{20}{10}$$

Para ello se dispone de una reducción cónica-espiral de relación=10/20, para el diferencial y dos relaciones 10/50, para la caja de cambios.



Fuerzas que se oponen al movimiento del vehículo:

- 1) Resistencia a la rodadura, R_r .

En la publicación de *Francisco Muñoz Gracia: Cálculo Teórico-Práctico de los Elementos y Grupos del Vehículo Industrial y Automoción*, se indica que en los cálculos se suele tomar, un coeficiente de rodadura de 0,02, así se tiene:

$$R_r = \mu_r \cdot Q = 0,02 \cdot 28966 = 579,32 \text{ N.}$$

- 2) Resistencia al aire.

La resistencia al aire se toma de la fuerza horizontal obtenida en la hipótesis C2, (plataforma fuera de servicio, con viento, posición 1 del apoyo móvil).

$$R_a = 1114,1 \text{ N.}$$

La resistencia total que se opone al movimiento del vehículo es:

$$R_{TOTAL} = R_r + R_a = 1693,42 \text{ N.}$$

La potencia necesaria para vencer esta resistencia es:

$$N = \text{Potencia} = R_{TOTAL} \cdot V = 1693,42 \text{ N} \cdot (1,33 \text{ m/s}) = 2252,25 \text{ W}$$

Considerando un coeficiente de rendimiento $\rho = 0,8$, se tiene:

$$N_{ruedas} = N / 0,8 = 2815 \text{ W.}$$

Cálculo de los cojinetes de apoyo del chasis en el eje:

Se consulta el catálogo de la firma SKF, rodamientos de rodillos de dos hileras de bolas con contacto angular, serie 32 A, para un diámetro del eje de 9 cm, se toma rodamiento número 3218 A.

$$F_{\text{radial}} = \sqrt{R_{TOTAL}^2 + R_{VERTICAL}^2} = \sqrt{1693,42^2 + 14483^2} = 14582 \text{ N}$$

$$F_{axial}=277 \text{ N}$$

De las tablas correspondientes se obtienen la capacidad estática de base C_0 , y la capacidad dinámica de base C.

$$C_0=12700 \text{ kg} = 124460 \text{ N.}$$

$$C=11800 \text{ kg} = 115640 \text{ N.}$$

De la tabla de coeficientes X e Y, con $e=0,86$:

$$\frac{F_{axial}}{F_{radial}}=0,018996 < 0,86 \Rightarrow X=1; Y=0,73.$$

$$P = \text{carga equivalente} = X \cdot F_r + Y \cdot F_a = 1 \cdot 14582 + 0,73 \cdot 277 = 14784,21 \text{ N.}$$

$$\frac{C}{P} = \text{Seguridad de carga} = \frac{115640}{14784,21} = 7,822$$

Con $C/P=6,165$ y $41,67 \text{ r.p.m}$, se obtiene una duración de funcionamiento en horas $L_h=200000$ horas.

5.6 Cálculo del diámetro de las barras del mecanismo de dirección:

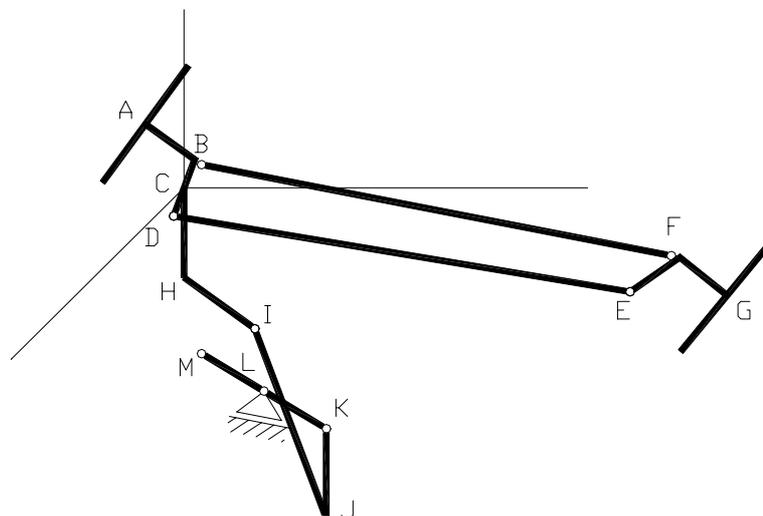
El caso que se supone, es aquel que implica esfuerzos mayores.

La fuerza que se opone al movimiento será la fuerza que se opone al movimiento de las ruedas, que viene dado por la siguiente expresión (procedimiento tomado de *Cálculo Teórico-Práctico de los Elementos y Grupos del Vehículo Industrial y Automoción de Francisco Muñoz Gracia*):

$$F_1 = F_a = \mu_a \cdot Q = 0,6 \cdot 14483 = 8690 \text{ N}$$

$\mu_a=0,6$ coeficiente de adhesión, se toma 0,6

Q=Carga vertical, que gravita sobre las ruedas



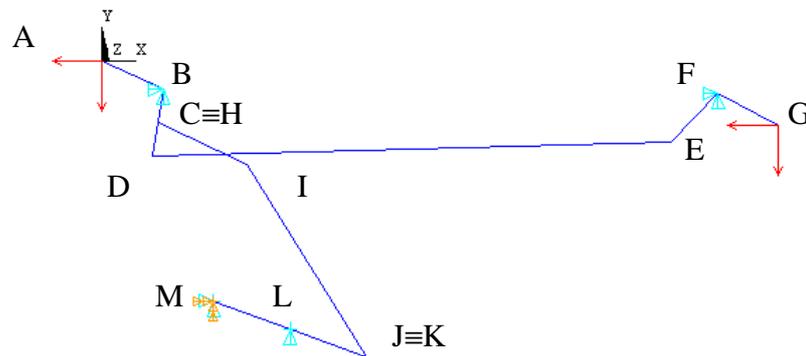


Figura. Estudio con ANSYS del mecanismo de dirección, para obtener los esfuerzos.

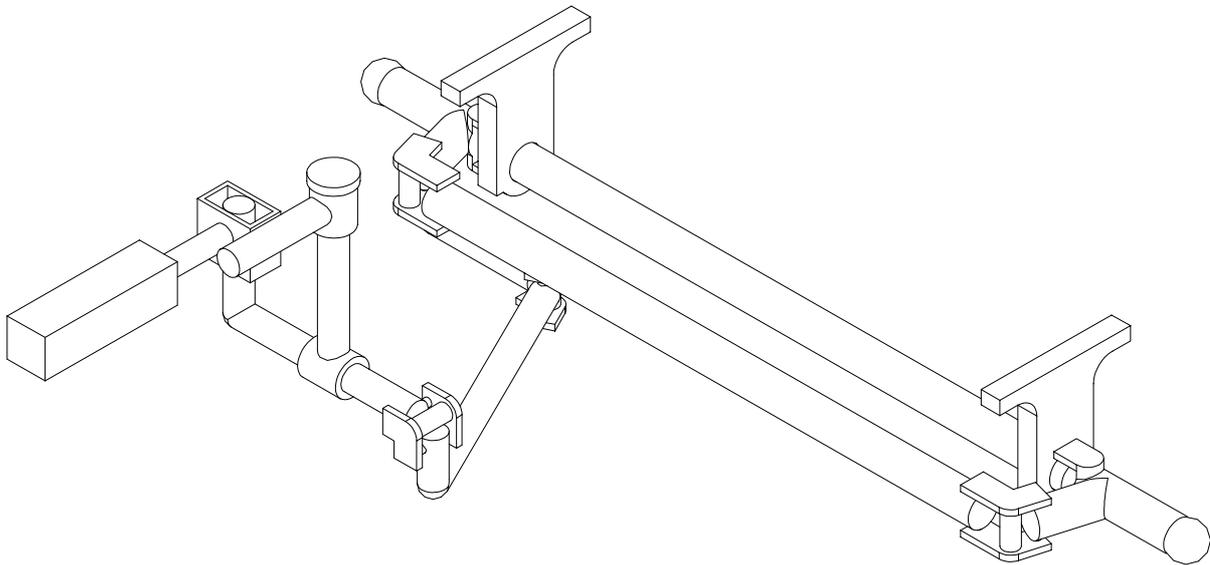


Figura. Vista Isométrica del mecanismo de dirección.

5.6.1 Tramo A-B ($\phi 80\text{mm}$):

a) Comprobación de resistencia:

Los resultados en ANSYS, para la situación más desfavorable (máximo giro):

$$Axil=N^*=0,0611 \text{ N}; M^*=1436,7 \text{ N}\cdot\text{m}; y=0,04 \text{ m}; I_x=2,01\cdot 10^{-6} \text{ m}^4$$

$$\sigma^* = \frac{N^*}{A} + M_y^* \frac{y}{I_x} = 2,86\cdot 10^8 \text{ Pa} \leq \sigma_u = \frac{3,55\cdot 10^8 \text{ Pa}}{1,1} = 3,23\cdot 10^8 \text{ Pa}$$

b) Comprobación de pandeo:

Dicha barra no se encuentra sometida a compresión.

5.6.2 Tramo B-C ($\phi 80\text{mm}$):a) Comprobación de resistencia:

Los resultados en ANSYS, para la situación más desfavorable (máximo giro):

$$\text{Axil} = N^* = 259,80 \text{ N}; M^* = 1436,7 \text{ N}\cdot\text{m}; y = 0,04 \text{ m}; I_x = 2,01 \cdot 10^{-6} \text{ m}^4$$

$$\sigma^* = \frac{N^*}{A} + M_y^* \frac{y}{I_x} = 3,67 \cdot 10^7 \text{ Pa} \leq \sigma_u = 3,23 \cdot 10^8 \text{ Pa}$$

b) Comprobación de pandeo:

Dicha barra no se encuentra sometida a compresión.

5.6.3 Tramo C-D ($\phi 80\text{mm}$):a) Comprobación de resistencia:

Los resultados en ANSYS, para la situación más desfavorable (máximo giro):

$$\text{Axil} = N^* = 1445,53 \text{ N}; M^* = 497,4 \text{ N}\cdot\text{m}; y = 0,04 \text{ m}; I_x = 2,01 \cdot 10^{-6} \text{ m}^4$$

$$\sigma^* = \frac{N^*}{A} + M_y^* \frac{y}{I_x} = 5,48 \cdot 10^7 \text{ Pa} \leq \sigma_u = 3,23 \cdot 10^8 \text{ Pa}$$

b) Comprobación de pandeo:

Dicha barra no se encuentra sometida a compresión.

5.6.4 Tramo D-E ($\phi 110\text{mm}$):a) Comprobación de resistencia:

Los resultados en ANSYS, para la situación más desfavorable (máximo giro):

$$\text{Axil} = N^* = 8902 \text{ N}; M^* = 0 \text{ N}\cdot\text{m}; y = 0,055 \text{ m}; I_x = 2,01 \cdot 10^{-6} \text{ m}^4$$

$$\sigma^* = \frac{N^*}{A} + M_y^* \frac{y}{I_x} = 2,767 \cdot 10^8 \text{ Pa} \leq \sigma_u = 3,23 \cdot 10^8 \text{ Pa}$$

b) Comprobación de pandeo:

$$\text{Axil} = N^* = 8902 \text{ N}; M^* = 0 \text{ N}\cdot\text{m}; y = 0,055 \text{ m}; I_x = 2,01 \cdot 10^{-6} \text{ m}^4$$

$$i = \text{radio mínimo de giro} = \sqrt{I/A} = \sqrt{2,01 \cdot 10^{-6} / 3,22 \cdot 10^{-5}} = 0,25 \text{ m.}$$

$\beta=1$ (Biarticulado).

$l=1,587 \text{ m}$.

$l_k=l/\beta=1,587 \text{ m}$.

$\lambda = l_k/i=100 < 115$; se toma $\lambda=115$ (Recomendación del autor Argüelles, La estructura metálica hoy) y un acero S-355 $\Rightarrow \omega=3,32$

$$\sigma^* = \frac{N^*}{A} \omega + M_x^* \frac{y}{I_x} = 2,57 \cdot 10^8 \text{ Pa} \leq \sigma_u = 3,23 \cdot 10^8 \text{ Pa}$$

5.6.5 Tramo E-F ($\phi 80\text{mm}$):

a) Comprobación de resistencia:

Los resultados en ANSYS, para la situación más desfavorable (máximo giro):

Axil= $N^*=6204 \text{ N}$; $M^*=1437 \text{ N}\cdot\text{m}$; $y=0,04 \text{ m}$; $I_x=2,01 \cdot 10^{-6} \text{ m}^4$

$$\sigma^* = \frac{N^*}{A} + M_y^* \frac{y}{I_x} = 2,21 \cdot 10^7 \text{ Pa} \leq \sigma_u = 3,23 \cdot 10^8 \text{ Pa}$$

b) Comprobación de pandeo:

Dicha barra no se encuentra sometida a compresión.

5.6.6 Tramo F-G ($\phi 80\text{mm}$):

a) Comprobación de resistencia:

Los resultados en ANSYS, para la situación más desfavorable (máximo giro):

Axil= $N^*=0,023 \text{ N}$; $M^*=1437 \text{ N}\cdot\text{m}$; $y=0,04 \text{ m}$; $I_x=2,01 \cdot 10^{-6} \text{ m}^4$

$$\sigma^* = \frac{N^*}{A} + M_y^* \frac{y}{I_x} = 2,86 \cdot 10^7 \text{ Pa} \leq \sigma_u = 3,23 \cdot 10^8 \text{ Pa}$$

b) Comprobación de pandeo:

Dicha barra no se encuentra sometida a compresión.

5.6.7 Tramo C-H ($\phi 80\text{mm}$):

a) Comprobación de resistencia:

Los resultados en ANSYS, para la situación más desfavorable (máximo giro):

$$\text{Torsor} = T^* = 497,4 \text{ N}\cdot\text{m}; d = 0,08 \text{ m}.$$

$$\tau^* = \frac{16 \cdot T}{\pi \cdot d^3} = 1,17 \cdot 10^7 \text{ Pa} \leq \sigma_u / 2 = 1,78 \cdot 10^8 \text{ Pa}$$

5.6.8 Tramo H-I ($\phi 60\text{mm}$):

a) Comprobación de resistencia:

Los resultados en ANSYS, para la situación más desfavorable (máximo giro):

$$\text{Axil} = N^* = 1305 \text{ N}; M^* = 0 \text{ N}\cdot\text{m}; y = 0,03 \text{ m}; I_x = 6,36 \cdot 10^{-7} \text{ m}^4$$

$$\sigma^* = \frac{N^*}{A} + M_y^* \frac{y}{I_x} = 1,28 \cdot 10^8 \text{ Pa} \leq \sigma_u = 3,23 \cdot 10^8 \text{ Pa}$$

b) Comprobación de pandeo:

Dicha barra no se encuentra sometida a compresión.

5.6.9 Tramo I-J ($\phi 60\text{mm}$):

a) Comprobación de resistencia:

Los resultados en ANSYS, para la situación más desfavorable (máximo giro):

$$\text{Axil} = N^* = 1565 \text{ N}; M^* = 0 \text{ N}\cdot\text{m}; y = 0,03 \text{ m}; I_x = 6,36 \cdot 10^{-7} \text{ m}^4$$

$$\sigma^* = \frac{N^*}{A} + M_y^* \frac{y}{I_x} = 1,54 \cdot 10^7 \text{ Pa} \leq \sigma_u = 3,23 \cdot 10^8 \text{ Pa}$$

b) Comprobación de pandeo:

Dicha barra no se encuentra sometida a compresión.

5.6.10 Tramo J-K ($\phi 80\text{mm}$):

a) Comprobación de resistencia:

a) Comprobación de resistencia:

Los resultados en ANSYS, para la situación más desfavorable (máximo giro):

$$\text{Torsor} = T^* = 235 \text{ N}\cdot\text{m}; d = 0,08 \text{ m}.$$

$$\tau^* = \frac{16 \cdot T}{\pi \cdot d^3} = 5,54 \cdot 10^6 \text{ Pa} \leq \sigma_u / 2 = 1,78 \cdot 10^8 \text{ Pa}$$

5.6.11 Tramo K-M ($\phi 80\text{mm}$):a) Comprobación de resistencia:

Los resultados en ANSYS, para la situación más desfavorable (máximo giro):

$$Axil=N^*=1229 \text{ N}; M^*=0 \text{ N}\cdot\text{m}; y=0,04 \text{ m}; I_x=2,01\cdot 10^{-6} \text{ m}^4$$

$$\sigma^* = \frac{N^*}{A} + M_y^* \frac{y}{I_x} = 1,21\cdot 10^8 \text{ Pa} \leq \sigma_u = 3,23\cdot 10^8 \text{ Pa}$$

b) Comprobación de pandeo:

Dicha barra no se encuentra sometida a compresión.