



**Universidad  
Zaragoza**

## Trabajo Fin de Grado

Análisis, cálculo y optimización de una plataforma elevadora móvil de personal (PEMP) de dos operarios y altura de trabajo de 23 m

Analysis, calculation and optimization of a telescopic boom lift of 2 operators and working height of 23 m

### ANEXOS

Autor/es

**Amirul Akif Bin Ahmad Razid**

Director/es

**Javier Oscar Abad Blasco**

Escuela de Ingeniería y Arquitectura (EINA)

2018/2019



## Índice

ANEXO I: ANALISIS ANALITICO .....	3
1. Cálculo de peso de la plataforma de trabajo .....	3
2. Dimensionamiento de la estructura extensible .....	4
2.1 Barra AB .....	4
2.2 Barra BC.....	5
2.3 Barra CD .....	6
2.4 Barra JK.....	7
2.5 Barra LM.....	8
3. Cálculo de las reacciones. Diagrama de sólido libre (DSL) de las estructuras extensibles .....	9
3.1 Reacciones en la plataforma de trabajo .....	9
3.2 Reacciones en la unión KMN.....	9
3.3 Reacciones en el brazo cuadrilátero .....	10
3.4 Reacciones en el brazo telescópico .....	14
3.5 Resultados de las reacciones .....	18
4. Diagrama de esfuerzo y tensión máxima.....	25
4.1 Diagrama de esfuerzo del brazo cuadrilátero.....	25
4.2 Diagrama de esfuerzo del brazo telescópico .....	34
5. Perfil interior del brazo telescópico.....	54
5.1 Perfil BCD .....	54
5.2 Perfil ABC.....	55
6. Cálculo de cilindro hidráulico.....	57
6.1 Cilindro 1 .....	57
6.2 Cilindro 2 .....	59
6.3 Cilindro 3 .....	60
6.4 Cilindro 4 .....	61
6.5 Cilindro 5 .....	63
7. Cálculo de los pasadores y elementos de soporte.....	65
7.1 Diámetro de los pasadores .....	65
7.2 Espesor de elementos de soporte .....	66
7.3 Longitud de orejetas .....	67
8. Soldaduras.....	69
8.1 Soldaduras de las orejetas del cilindro 3 .....	69
8.2 Soldaduras de las orejetas del cilindro 3 .....	71
8.3 Soldaduras de las chapas de unión E .....	75
ANEXO II: ANALISIS NUMERICO .....	79



1. Análisis y simulación .....	79
1.1 Propiedades de materiales .....	79
1.2 Brazo cuadrilátero .....	80
1.3 Caja de unión EIJK .....	83
1.4 Brazo telescópico .....	84



## ANEXO I: ANALISIS ANALITICO

### 1. Cálculo de peso de la plataforma de trabajo

a) **Barandilla y barras:**

$$Longitud\ total = (2 * 0,91 + 2 * 2,44) * 3 + 8 * 1,1 + 3 * 0,91 = 31,63\ m$$

$$P_{lineal} = 1,9 \frac{kg}{m}$$

$$P_{total} = 60,1\ kg$$

b) **Zócalo**

$$P_{aprox} = 10\ kg$$

c) **Elementos de unión y soldadura**

$$P_{aprox} = 50\ kg$$

d) **Elementos de soporte**

$$P_{aprox} = 50\ kg$$

e) **Rejilla electro soldada**

$$Area = 0,91 * 2,44 = 2,22\ m^2$$

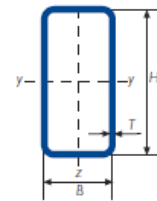
$$P_{superficie} = 27,55 \frac{kg}{m^2}$$

$$P_{total} = 61,17\ kg$$

***Peso total de la plataforma de trabajo = 231,27 kg***

## 2. Dimensionamiento de la estructura extensible

### 2.1 Barra AB



Gama perfil tubular en frío - rectangular

DIMENSION ESPECIFICA DE LADOS		ESPESOR ESPECIFICO	MASA LINEAL	ÁREA DE LA SECCION TRANSVERSAL	MOMENTO DE INERCIA		RADIO DE GIRO		MÓDULO ELÁSTICO		MÓDULO PLÁSTICO		MOMENTO DE INERCIA DETORSION	MÓDULO DE TORSION	SUPERFICIE LATERAL POR UNIDAD DE LARGO	LARGO NOMINAL POR TONELADA	ÁREA SUPERFICIE EXTERIOR POR METRO
H	B	T	M	A	I <sub>xx</sub>	I <sub>yy</sub>	i <sub>xx</sub>	i <sub>yy</sub>	W <sub>elax</sub>	W <sub>elxy</sub>	W <sub>plax</sub>	W <sub>plyy</sub>	I <sub>t</sub>	C <sub>t</sub>	A <sub>s</sub>	m	A <sub>dv</sub>
mm	mm	mm	kg/m	cm <sup>2</sup>	cm <sup>4</sup>	cm <sup>4</sup>	cm	cm	cm <sup>3</sup>	cm <sup>3</sup>	cm <sup>3</sup>	cm <sup>3</sup>	cm <sup>4</sup>	cm <sup>3</sup>	m <sup>2</sup> /m	m	m <sup>2</sup>
350	250	14,2	121	154	25.277	15.079	12,8	9,91	1.444	1.206	1.776	1.413	32.117	2.026	1,13	8,29	73,3
350	250	16	134	171	27.580	16.434	12,7	9,81	1.576	1.315	1.954	1.554	35.499	2.220	1,12	7,46	65,4
400	100	5	38,0	48,4	8.589	949	13,3	4,43	429	190	565	207	2.909	353	0,983	26,3	203
400	100	6	45,2	57,6	10.132	1.108	13,3	4,38	507	222	670	244	3.421	412	0,979	22,1	170
400	100	6,3	47,1	60,0	10.447	1.145	13,2	4,37	522	229	694	253	3.579	429	0,973	21,2	162
400	100	7	52,1	66,4	11.449	1.247	13,1	4,33	572	249	763	278	3.920	468	0,970	19,2	146
400	100	8	59,1	75,2	12.827	1.384	13,1	4,29	641	277	860	312	4.387	521	0,966	16,9	128
400	100	10	72,7	92,6	15.396	1.631	12,9	4,20	770	326	1.044	375	5.251	617	0,957	13,8	103
400	100	12	84,8	108	17.213	1.811	12,6	4,09	861	362	1.191	427	5.989	695	0,938	11,8	86,8
400	100	12,5	88,0	112	17.712	1.856	12,6	4,07	886	371	1.230	440	6.159	714	0,936	11,4	83,5
400	200	5	45,8	58,4	12.490	4.312	14,6	8,60	624	431	762	474	10.159	742	1,18	21,8	203
400	200	6	54,7	69,6	14.789	5.092	14,6	8,55	739	509	906	562	12.068	877	1,18	18,3	169
400	200	6,3	57,0	72,6	15.330	5.286	14,5	8,53	766	529	942	585	12.673	916	1,17	17,5	161
400	200	7	63,1	80,4	16.855	5.803	14,5	8,50	843	580	1.038	645	13.983	1.007	1,17	15,9	146
400	200	8	71,6	91,2	18.974	6.517	14,4	8,45	949	652	1.173	728	15.820	1.133	1,17	14,0	128
400	200	10	88,4	113	23.003	7.864	14,3	8,36	1.150	786	1.434	888	19.368	1.373	1,16	11,3	103
400	200	12	104	132	26.248	8.977	14,1	8,24	1.312	898	1.656	1.027	22.783	1.591	1,14	9,65	86,2
400	200	12,5	108	137	27.100	9.260	14,1	8,22	1.355	926	1.714	1.062	23.595	1.644	1,14	9,30	82,9
400	200	14,2	121	154	29.858	10.173	13,9	8,14	1.493	1.017	1.904	1.178	26.264	1.815	1,13	8,29	73,3
400	250	5	49,7	63,4	14.440	7.056	15,1	10,6	722	565	861	626	14.773	937	1,28	20,1	202
400	250	6	59,4	75,6	17.118	8.352	15,0	10,5	856	668	1.024	744	17.580	1.110	1,28	16,8	169
400	250	6,3	62,0	78,9	17.771	8.679	15,0	10,5	889	694	1.066	775	18.469	1.160	1,27	16,1	161
400	250	7	68,6	87,4	19.558	9.544	15,0	10,5	978	763	1.176	854	20.404	1.277	1,27	14,6	145
400	250	8	77,9	99,2	22.048	10.744	14,9	10,4	1.102	860	1.330	966	23.127	1.440	1,27	12,8	128
400	300	6	64,1	81,6	19.447	12.557	15,4	12,4	972	837	1.142	941	23.651	1.342	1,38	15,6	169
400	300	6,3	66,9	85,2	20.213	13.060	15,4	12,4	1.011	871	1.190	980	24.852	1.404	1,37	14,9	161
400	300	7	74,1	94,4	22.262	14.376	15,4	12,3	1.113	958	1.313	1.082	27.477	1.547	1,37	13,5	145
400	300	8	84,2	107	25.122	16.212	15,3	12,3	1.256	1.081	1.487	1.224	31.179	1.747	1,37	11,9	127
400	300	10	104	133	30.609	19.726	15,2	12,2	1.530	1.315	1.824	1.501	38.407	2.132	1,36	9,61	102
400	300	12	123	156	35.284	22.747	15,0	12,1	1.764	1.516	2.122	1.747	45.528	2.492	1,34	8,16	85,7
400	300	12,5	127	162	36.489	23.517	15,0	12,0	1.824	1.568	2.198	1.810	47.238	2.580	1,34	7,86	82,4
400	300	14,2	143	182	40.431	26.036	14,9	12,0	2.022	1.736	2.451	2.018	52.927	2.869	1,33	7,00	72,9
400	300	16	159	203	44.350	28.535	14,8	11,9	2.218	1.902	2.708	2.228	58.732	3.159	1,32	6,28	65,0

$$A_{AB} = 18200 \text{ mm}^2$$

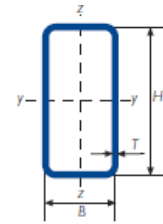
$$w_y = 1736000 \text{ mm}^3$$

$$L_{total} = 6,4 \text{ m}$$

$$P_{lineal} = 143 \frac{\text{kg}}{\text{m}}$$

$$P_{AB} = 915,2 \text{ kg} \approx 8978,112 \text{ N}$$

2.2 Barra BC



Gama perfil tubular en frío - rectangular

DIMENSION ESPECIFICA DE LADOS		ESPESOR ESPECIFICO	MASA LINEAL	AREA DE LA SECCION TRANSVERSAL	MOMENTO DE INERCIA		RADIO DE GIRO		MÓDULO ELÁSTICO		MÓDULO PLÁSTICO		MOMENTO DE INERCIA DE TORSION	MÓDULO DE TORSION	SUPERFICIE LATERAL POR UNIDAD DE LARGO	LARGO NOMINAL POR TONELADA	AREA SUPERFICIE EXTERIOR POR METRO
H	B	T	M	A	$I_{xx}$	$I_{yy}$	$i_{xx}$	$i_{yy}$	$W_{elax}$	$W_{ely}$	$W_{plax}$	$W_{ply}$	$I_t$	$C_t$	$A_s$	m	$A_{ext}$
mm	mm	mm	kg/m	cm <sup>2</sup>	cm <sup>4</sup>	cm <sup>4</sup>	cm	cm	cm <sup>3</sup>	cm <sup>3</sup>	cm <sup>3</sup>	cm <sup>3</sup>	cm <sup>4</sup>	cm <sup>3</sup>	m <sup>2</sup> /m		m <sup>-1</sup>
350	250	14,2	121	154	25.277	15.079	12,8	9,91	1.444	1.206	1.776	1.413	32.117	2.026	1,13	8,29	73,3
350	250	16	134	171	27.580	16.434	12,7	9,81	1.576	1.315	1.954	1.554	35.499	2.220	1,12	7,46	65,4
400	100	5	38,0	48,4	8.589	949	13,3	4,43	429	190	565	207	2.909	353	0,983	26,3	203
400	100	6	45,2	57,6	10.132	1.108	13,3	4,38	507	222	670	244	3.421	412	0,979	22,1	170
400	100	6,3	47,1	60,0	10.447	1.145	13,2	4,37	522	229	694	253	3.579	429	0,973	21,2	162
400	100	7	52,1	66,4	11.449	1.247	13,1	4,33	572	249	763	278	3.920	468	0,970	19,2	146
400	100	8	59,1	75,2	12.827	1.384	13,1	4,29	641	277	860	312	4.387	521	0,966	16,9	128
400	100	10	72,7	92,6	15.396	1.631	12,9	4,20	770	326	1.044	375	5.251	617	0,957	13,8	103
400	100	12	84,8	108	17.213	1.811	12,6	4,09	861	362	1.191	427	5.989	695	0,938	11,8	86,8
400	100	12,5	88,0	112	17.712	1.856	12,6	4,07	886	371	1.230	440	6.159	714	0,936	11,4	83,5

$$A_{BC} = 15400 \text{ mm}^2$$

$$w_y = 1206000 \text{ mm}^3$$

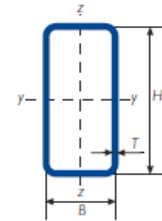
$$L_{total} = 5,2 \text{ m}$$

$$P_{lineal} = 121 \frac{\text{kg}}{\text{m}}$$

$$P_{BC} = 629,2 \text{ kg} \approx 6172,452 \text{ N}$$



2.3 Barra CD



Gama perfil tubular en frío - rectangular

DIMENSION ESPECIFICA DE LADOS		ESPESOR ESPECIFICO	MASA LINEAL	AREA DE LA SECCION TRANSVERSAL	MOMENTO DE INERCIA		RADIO DE GIRO		MÓDULO ELASTICO		MÓDULO PLASTICO		MOMENTO DE INERCIA DETORSION	MÓDULO DE TORSION	SUPERFICIE LATERAL POR UNIDAD DE LARGO	LARGO NOMINAL POR TONELADA	AREA SUPERFICIE EXTERIOR POR METRO
H	B	T	M	A	I <sub>xx</sub>	I <sub>yy</sub>	i <sub>xx</sub>	i <sub>yy</sub>	W <sub>elxx</sub>	W <sub>elyy</sub>	W <sub>plxx</sub>	W <sub>plyy</sub>	I <sub>t</sub>	C <sub>t</sub>	A <sub>s</sub>	m	A <sub>sv</sub>
mm	mm	mm	kg/m	cm <sup>2</sup>	cm <sup>4</sup>	cm <sup>4</sup>	cm	cm	cm <sup>3</sup>	cm <sup>3</sup>	cm <sup>3</sup>	cm <sup>3</sup>	cm <sup>4</sup>	cm <sup>3</sup>	m <sup>2</sup> /m	m	m <sup>2</sup>
300	150	5	34,0	43,4	5.153	1.771	10,9	6,39	344	236	422	262	4.214	407	0,883	29,4	204
300	150	6	40,5	51,6	6.074	2.080	10,8	6,35	405	277	500	309	4.988	479	0,879	24,7	170
300	150	6,3	42,2	53,7	6.266	2.150	10,8	6,32	418	287	517	321	5.234	499	0,873	23,7	162
300	150	7	46,6	59,4	6.863	2.350	10,8	6,29	458	313	569	353	5.760	546	0,870	21,5	147
300	150	8	52,8	67,2	7.684	2.623	10,7	6,25	512	350	640	396	6.491	612	0,866	18,9	129
300	150	10	64,8	82,6	9.209	3.125	10,6	6,15	614	417	776	479	7.879	733	0,857	15,4	104
300	150	12	75,4	96,1	10.298	3.498	10,4	6,03	687	466	883	546	9.154	837	0,838	13,3	87,3
300	150	12,5	78,1	99,5	10.594	3.595	10,3	6,01	706	479	912	563	9.453	862	0,836	12,8	83,9
300	150	14,2	87,2	111	11.526	3.897	10,2	5,92	768	520	1.003	619	10.412	941	0,827	11,5	74,4
300	200	4	30,6	38,9	5.073	2.737	11,4	8,38	338	274	401	305	5.527	449	0,986	32,7	253
300	200	5	38,0	48,4	6.241	3.361	11,4	8,34	416	336	496	376	6.836	552	0,983	26,3	203
300	200	6	45,2	57,6	7.370	3.962	11,3	8,29	491	396	588	446	8.115	651	0,979	22,1	170
300	200	6,3	47,1	60,0	7.624	4.104	11,3	8,27	508	410	610	463	8.524	680	0,973	21,2	162
300	200	7	52,1	66,4	8.366	4.498	11,2	8,23	558	450	671	510	9.400	746	0,970	19,2	146
300	200	8	59,1	75,2	9.389	5.042	11,2	8,19	626	504	757	574	10.627	838	0,966	16,9	128
300	200	10	72,7	92,6	11.313	6.058	11,1	8,09	754	606	921	698	12.987	1.012	0,957	13,8	103
300	200	12	84,8	108	12.788	6.854	10,9	7,96	853	685	1.056	801	15.236	1.167	0,938	11,8	86,8
300	200	12,5	88,0	112	13.179	7.060	10,8	7,94	879	706	1.091	828	15.768	1.205	0,936	11,4	83,5
300	200	14,2	98,3	125	14.428	7.717	10,7	7,85	962	772	1.206	915	17.507	1.325	0,927	10,2	74,0

$$A_{CD} = 12500 \text{ mm}^2$$

$$w_y = 772000 \text{ mm}^3$$

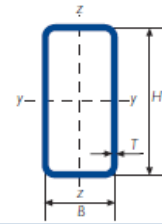
$$L_{total} = 5,05 \text{ m}$$

$$P_{lineal} = 98,3 \frac{\text{kg}}{\text{m}}$$

$$P_{CD} = 496,415 \text{ kg} \approx 4869,831 \text{ N}$$



2.4 Barra JK



Gama perfil tubular en frío - rectangular

DIMENSION ESPECIFICA DE LADOS		ESPESOR ESPECIFICO	MASA LINEAL	ÁREA DE LA SECCIÓN TRANSVERSAL	MOMENTO DE INERCIA		RADIO DE GIRO		MÓDULO ELÁSTICO		MÓDULO PLÁSTICO		MOMENTO DE INERCIA DE TORSION	MÓDULO DE TORSION	SUPERFICIE LATERAL POR UNIDAD DE LARGO	LARGO NOMINAL POR TONELADA	ÁREA SUPERFICIE EXTERIOR POR METRO
H	B	T	M	A	$I_{xx}$	$I_{yy}$	$i_{xx}$	$i_{yy}$	$W_{elx}$	$W_{ely}$	$W_{plx}$	$W_{ply}$	$I_t$	$C_t$	$A_s$	m	$A_{se}$
mm	mm	mm	kg/m	cm <sup>2</sup>	cm <sup>4</sup>	cm <sup>4</sup>	cm	cm	cm <sup>3</sup>	cm <sup>3</sup>	cm <sup>3</sup>	cm <sup>3</sup>	cm <sup>4</sup>	cm <sup>3</sup>	m <sup>2</sup> /m		m <sup>2</sup>
120	100	7	21,3	27,2	528	398	4,41	3,83	88,0	79,5	108	95,7	776	129	0,410	46,9	151
120	100	8	23,9	30,4	576	434	4,35	3,78	96,1	86,8	120	106	862	141	0,406	41,8	133
120	100	10	28,7	36,6	655	492	4,23	3,67	109	98,5	140	123	1.011	162	0,397	34,8	109
120	100	12	32,1	40,9	665	502	4,03	3,50	111	100	148	131	1.095	173	0,378	31,2	92,6
120	100	12,5	33,0	42,0	672	507	4,00	3,47	112	101	151	133	1.114	176	0,376	30,3	89,3

$$A_{JK} = 3660 \text{ mm}^2$$

$$w_y = 98500 \text{ mm}^3$$

$$L_{total} = 2,3 \text{ m}$$

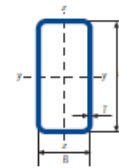
$$P_{lineal} = 28,7 \frac{\text{kg}}{\text{m}}$$

$$P_{JK} = 66,01 \text{ kg} \approx 647,558 \text{ N}$$





2.5 Barra LM



Gama perfil tubular en frío - rectangular

DIMENSION ESPECIFICA DE LADOS		ESPEJOR ESPECIFICO	MASA LINEAL	AREA DE LA SECCION TRANSVERSAL		MOMENTO DE INERCIA		RADIO DE GIRO		MÓDULO ELASTICO		MÓDULO PLASTICO		MOMENTO DE INERCIA DE TORSION	MÓDULO DE TORSION	SUPERFICIE LATERAL POR UNIDAD DE LARGO	LARGO NOMINAL POR TONELADA	AREA SUPERFICIE EXTERIOR POR METRO
H	B	T	M	A	I <sub>xx</sub>	I <sub>yy</sub>	i <sub>xx</sub>	i <sub>yy</sub>	W <sub>elx</sub>	W <sub>ely</sub>	W <sub>plx</sub>	W <sub>ply</sub>	I <sub>t</sub>	C <sub>t</sub>	A <sub>s</sub>	L	A <sub>ext</sub>	
mm	mm	mm	kg/m	cm <sup>2</sup>	cm <sup>4</sup>	cm <sup>4</sup>	cm	cm	cm <sup>3</sup>	cm <sup>3</sup>	cm <sup>3</sup>	cm <sup>3</sup>	cm <sup>4</sup>	cm <sup>3</sup>	m <sup>2</sup> /m	m	m <sup>2</sup>	
80	30	5	7,34	9,36	61,0	12,1	2,55	1,14	15,3	8,05	21,0	10,1	36,4	14,9	0,203	136	217	
80	30	6	8,50	10,8	66,9	12,9	2,48	1,09	16,7	8,63	23,6	11,2	40,0	16,1	0,199	118	184	
80	30	6,3	8,56	10,9	62,8	12,4	2,40	1,07	15,7	8,27	22,9	11,0	39,2	15,7	0,193	117	177	
80	40	1,5	2,71	3,45	29,0	9,9	2,90	1,70	7,25	4,97	8,93	5,53	23,8	8,57	0,235	369	680	
80	40	2	3,56	4,54	37,4	12,7	2,87	1,67	9,34	6,36	11,6	7,17	30,9	11,0	0,233	281	514	
80	40	2,5	4,39	5,59	45,1	15,3	2,84	1,65	11,3	7,63	14,1	8,72	37,6	13,2	0,231	228	414	
80	40	3	5,19	6,61	52,3	17,6	2,81	1,63	13,1	8,78	16,5	10,2	43,9	15,3	0,230	193	348	
80	40	4	6,71	8,55	64,8	21,5	2,75	1,59	16,2	10,7	20,9	12,8	55,2	18,8	0,226	149	265	
80	40	5	8,13	10,4	75,1	24,6	2,69	1,54	18,8	12,3	24,7	15,0	65,0	21,7	0,223	123	215	
80	40	6	9,45	12,0	83,3	27,0	2,63	1,50	20,8	13,5	28,0	16,9	73,0	24,0	0,219	106	182	
80	40	6,3	9,55	12,2	79,9	26,2	2,56	1,47	20,0	13,1	27,5	16,7	73,5	24,0	0,213	105	175	
80	40	1,5	2,71	3,45	29,0	9,94	2,90	1,70	7,25	4,97	8,93	5,53	23,8	8,57	0,235	369	680	
80	40	2	3,56	4,54	37,4	12,7	2,87	1,67	9,34	6,36	11,6	7,17	30,9	11,0	0,233	281	514	
80	40	2,5	4,39	5,59	45,1	15,3	2,84	1,65	11,3	7,63	14,1	8,72	37,6	13,2	0,231	228	414	
80	40	3	5,19	6,61	52,3	17,6	2,81	1,63	13,1	8,78	16,5	10,2	43,9	15,3	0,230	193	348	
80	40	4	6,71	8,55	64,8	21,5	2,75	1,59	16,2	10,7	20,9	12,8	55,2	18,8	0,226	149	265	
80	40	5	8,13	10,4	75,1	24,6	2,69	1,54	18,8	12,3	24,7	15,0	65,0	21,7	0,223	123	215	
80	40	6	9,45	12,0	83,3	27,0	2,63	1,50	20,8	13,5	28,0	16,9	73,0	24,0	0,219	106	182	
80	40	6,3	9,55	12,2	79,9	26,2	2,56	1,47	20,0	13,1	27,5	16,7	73,5	24,0	0,213	105	175	
80	45	1,5	2,83	3,60	31,3	12,9	2,95	1,89	7,82	5,74	9,52	6,41	29,1	9,73	0,245	354	680	
80	45	2	3,72	4,74	40,4	16,6	2,92	1,87	10,1	7,38	12,4	8,33	37,9	12,5	0,243	269	513	
80	45	2,5	4,58	5,84	48,9	20,0	2,89	1,85	12,2	8,88	15,1	10,1	46,2	15,1	0,241	218	413	
80	45	3	5,42	6,91	56,7	23,1	2,86	1,83	14,2	10,2	17,7	11,9	54,1	17,5	0,240	184	347	
80	45	4	7,02	8,95	70,6	28,4	2,81	1,78	17,6	12,6	22,4	15,0	68,5	21,7	0,236	142	264	
80	45	5	8,52	10,9	82,2	32,8	2,75	1,74	20,5	14,6	26,6	17,7	81,1	25,2	0,233	117	214	
80	45	6	9,92	12,6	91,6	36,2	2,69	1,69	22,9	16,1	30,2	20,0	91,9	28,1	0,229	101	182	
80	45	6,3	10,0	12,8	88,5	35,3	2,63	1,66	22,1	15,7	29,9	19,8	93,2	28,2	0,223	99,5	174	
80	50	1,5	2,95	3,8	33,6	14,4	2,99	2,09	8,40	6,54	10,1	7,33	34,7	10,9	0,255	340	679	
80	50	2	3,88	4,94	43,4	21,1	2,97	2,07	10,9	8,43	13,2	9,54	45,3	14,0	0,253	258	513	
80	50	2,5	4,78	6,09	52,6	25,4	2,94	2,04	13,2	10,2	16,1	11,6	55,4	17,0	0,251	209	413	
80	50	3	5,66	7,21	61,1	29,4	2,91	2,02	15,3	11,8	18,8	13,6	65,0	19,7	0,250	177	346	
80	50	4	7,34	9,35	76,4	36,5	2,86	1,98	19,1	14,6	24,0	17,2	82,7	24,6	0,246	136	263	
80	50	5	8,91	11,4	89,2	42,3	2,80	1,93	22,3	16,9	28,5	20,5	98,4	28,7	0,243	112	214	
80	50	6	10,4	13,2	99,8	47,0	2,75	1,88	24,9	18,8	32,5	23,2	112	32,1	0,239	96,3	181	
80	50	6,3	10,5	13,4	97,1	46,1	2,69	1,85	24,3	18,4	32,2	23,1	114	32,4	0,233	94,9	173	
80	60	1,5	3,18	4,05	38,2	24,7	3,07	2,47	9,56	8,22	11,3	9,28	46,8	13,2	0,275	314	678	
80	60	2	4,19	5,34	49,5	31,9	3,05	2,44	12,4	10,6	14,7	12,1	61,2	17,1	0,273	239	512	
80	60	2,5	5,17	6,59	60,1	38,6	3,02	2,42	15,0	12,9	18,0	14,8	75,1	20,7	0,271	193	412	
80	60	3	6,13	7,81	70,0	44,9	3,00	2,40	17,5	15,0	21,2	17,4	88,3	24,1	0,270	163	345	
80	60	4	7,97	10,1	87,9	56,1	2,94	2,35	22,0	18,7	27,0	22,1	113	30,3	0,266	126	262,4	
80	60	5	9,70	12,4	103	65,7	2,89	2,31	25,8	21,9	32,2	26,4	136	35,7	0,263	103	212,7	
80	60	6	11,3	14,4	116	73,6	2,84	2,26	29,1	24,5	36,9	30,2	156	40,2	0,259	88,3	180	
80	60	6,3	11,5	14,7	114	72,7	2,79	2,22	28,6	24,2	36,8	30,2	160	40,9	0,253	86,7	172	

$$A_{LM} = 1440 \text{ mm}^2$$

$$w_y = 24500 \text{ mm}^3$$

$$L_{total} = 2 * 2,3 = 4,6 \text{ m (2 barras de LM)}$$

$$P_{lineal} = 11,3 \frac{\text{kg}}{\text{m}}$$

$$P_{LM} = 51,98 \text{ kg} \approx 509,924 \text{ N}$$

### 3. Cálculo de las reacciones. Diagrama de sólido libre (DSL) de las estructuras extensibles

#### 3.1 Reacciones en la plataforma de trabajo

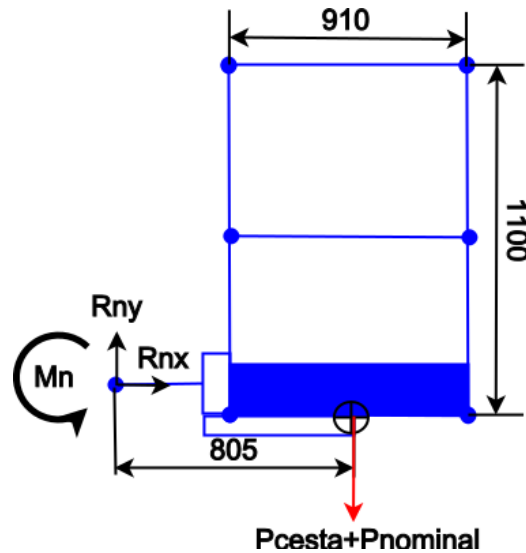


Figura 3.1 (1): DSL de la plataforma de trabajo

Ecuaciones de equilibrio:

$$\begin{aligned} \sum F_x &= 0 \rightarrow R_{N,x} = 0 \\ \sum F_y &= 0 \rightarrow R_{N,y} - \left(461,27kg \cdot \frac{9,81m}{s^2}\right) = 0 \\ \sum M_N &= 0 \rightarrow M_N - 4525 \cdot 0,805 = 0 \\ R_{N,y} &= 4525 \text{ N} \\ M_N &= 3642,625 \text{ Nm} \end{aligned}$$

#### 3.2 Reacciones en la unión KMN

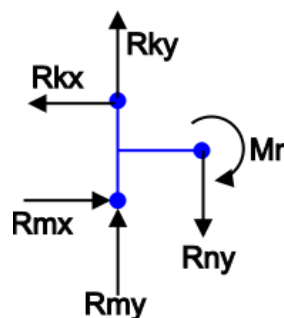


Figura 3.2 (1): DSL de la unión KMN

Ecuaciones de equilibrio:

$$\sum F_x = 0 \rightarrow R_{M,x} - R_{K,x} = 0 \rightarrow R_{M,x} = R_{K,x}$$

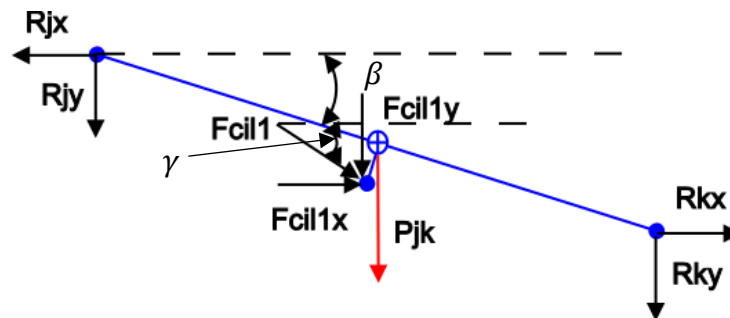
$$\sum F_y = 0 \rightarrow R_{M,y} + R_{K,y} = R_{N,y}$$

$$\sum M_K = 0 \rightarrow M_N + R_{N,y} * 0,26 = R_{M,x} * 0,3$$

### 3.3 Reacciones en el brazo cuadrilátero

#### 3.3.1 Reacciones en el brazo cuadrilátero en $\beta < 0$

**Barra JK**



**Figura 3.3.1 (1): DSL de la barra JK**

Ecuaciones de equilibrio:

$$\sum F_x = 0 \rightarrow R_{K,x} + F_{cil1,x} = R_{J,x}$$

$$\sum F_y = 0 \rightarrow F_{cil1,y} + R_{K,y} + R_{J,y} + P_{JK} = 0$$

$$\sum M_J = 0 \rightarrow R_{K,y} * 2,2 \cos(\beta) + P_{JK} * 1,1 \cos(\beta) - F_{cil1,x} (1,1 \sin(\beta) + 0,127 \cos(\beta)) + F_{cil1,y} * (1,1 \cos(\beta) - 0,127 \sin(\beta)) = 0$$

$$\begin{cases} F_{cil1,x} = F_{cil1} \cos(\gamma) \\ F_{cil1,y} = F_{cil1} \sin(\gamma) \end{cases}$$

Barra LM

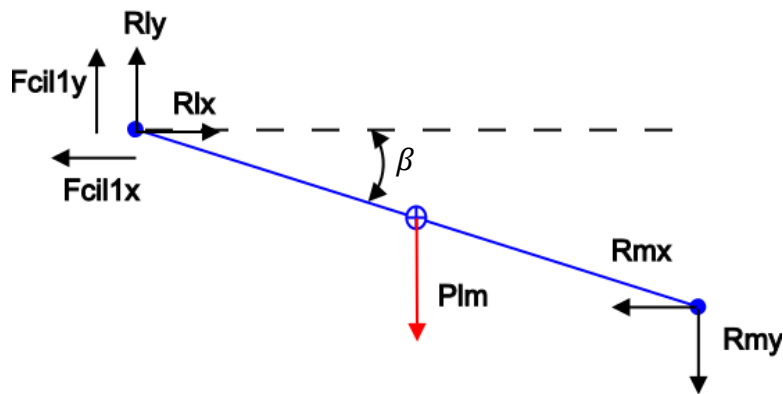


Figura 3.3.1 (2): DSL de la barra LM

Ecuaciones de equilibrio:

$$\sum F_x = 0 \rightarrow R_{L,x} = F_{cil1,x} + R_{M,x}$$

$$\sum F_y = 0 \rightarrow R_{L,y} + F_{cil1,y} = P_{LM} + R_{M,y}$$

$$\sum M_L = 0 \rightarrow R_{M,y} * 2,2 \cos(\beta) + P_{LM} * 1,1 \cos(\beta) + R_{M,x} * 2,2 \text{sen}(\beta) = 0$$

3.3.2 Reacciones en el brazo cuadrilátero en  $\beta = 0$

Barra JK

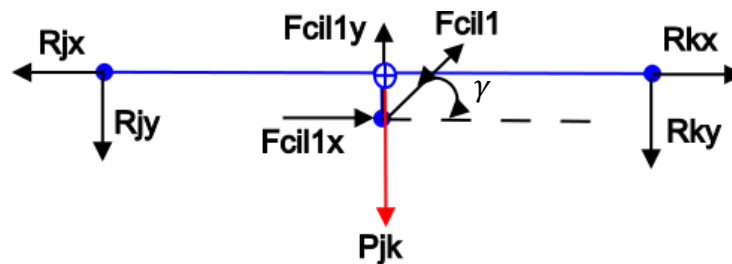


Figura 3.3.2 (1): DSL de la barra JK

Ecuaciones de equilibrio:

$$\sum F_x = 0 \rightarrow R_{K,x} + F_{cil1,x} = R_{J,x}$$

$$\sum F_y = 0 \rightarrow F_{cil1,y} = R_{K,y} + R_{J,y} + P_{JK}$$

$$\sum M_J = 0 \rightarrow R_{K,y} * 2,2 + P_{JK} * 1,1 - F_{cil1,x} * 0,127 - F_{cil1,y} * 1,1 = 0$$

$$\begin{cases} F_{cil1,x} = F_{cil1} \cos(\gamma) \\ F_{cil1,y} = F_{cil1} \text{sen}(\gamma) \end{cases}$$

Barra LM

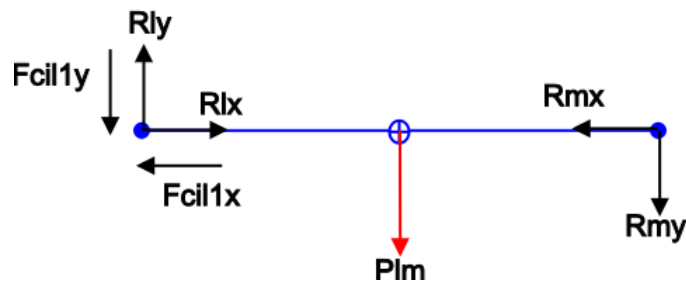


Figura 3.3.2 (2): DSL de la barra LM

Ecuaciones de equilibrio:

$$\sum F_x = 0 \rightarrow R_{L,x} = F_{cil1,x} + R_{M,x}$$

$$\sum F_y = 0 \rightarrow R_{L,y} = F_{cil1,y} + P_{LM} + R_{M,y}$$

$$\sum M_L = 0 \rightarrow R_{M,y} * 2,2 + P_{LM} * 1,1 = 0$$

3.3.3 Reacciones en el brazo cuadrilátero en  $\beta > 0$

Barra JK

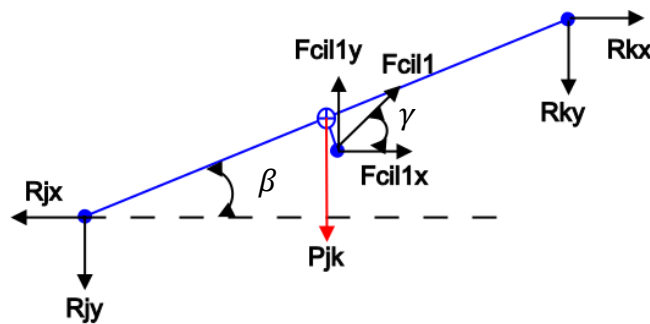


Figura 3.3.3 (1): DSL de la barra JK

Ecuaciones de equilibrio:

$$\sum F_x = 0 \rightarrow R_{K,x} + F_{cil1,x} = R_{J,x}$$

$$\sum F_y = 0 \rightarrow F_{cil1,y} = R_{K,y} + R_{J,y} + P_{JK}$$

$$\sum M_J = 0 \rightarrow R_{K,y} * 2,2 \cos(\beta) + P_{JK} * 1,1 \cos(\beta) + F_{cil1,x} (1,1 \sin(\beta) - 0,127 \cos(\beta)) - F_{cil1,y} * (1,1 \cos(\beta) + 0,127 \sin(\beta)) = 0$$

$$\begin{cases} F_{cil1,x} = F_{cil1} \cos(\gamma) \\ F_{cil1,y} = F_{cil1} \sin(\gamma) \end{cases}$$



Barra LM

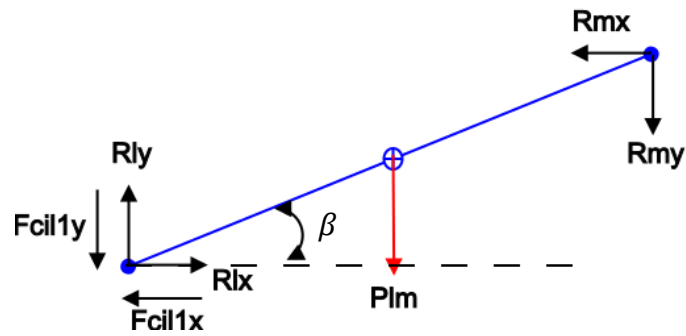


Figura 5.3.3 (2): DSL de la barra LM

Ecuaciones de equilibrio:

$$\sum F_x = 0 \rightarrow R_{L,x} = F_{cil1,x} + R_{M,x}$$

$$\sum F_y = 0 \rightarrow R_{L,y} = F_{cil1,y} + P_{LM} + R_{M,y}$$

$$\sum M_L = 0 \rightarrow R_{M,y} * 2,2 \cos(\beta) + P_{LM} * 1,1 \cos(\beta) - R_{M,x} * 2,2 \sin(\beta) = 0$$

### 3.4 Reacciones en el brazo telescópico

#### 3.4.1 Reacciones en el brazo telescópico en $\alpha < 0$

##### Caja de unión EIJK

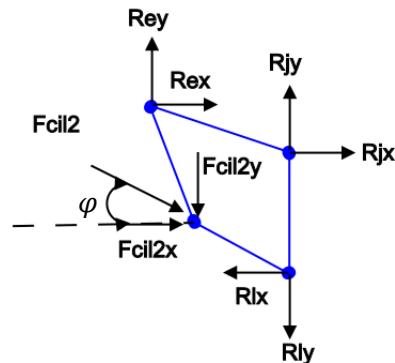


Figura 3.4.1 (1): DSL de caja de unión EIJK

Ecuaciones de equilibrio:

$$\sum F_x = 0 \rightarrow R_{E,x} + R_{J,x} + F_{cil2,x} - R_{L,x} = 0$$

$$\sum F_y = 0 \rightarrow R_{E,y} + R_{J,y} - F_{cil2,y} - R_{L,y} = 0$$

$$\sum M_J = 0 \rightarrow R_{E,x} * 0,025 + R_{E,y} * 0,28 + R_{L,x} * 0,3 - F_{cil2,x} * 0,214 - F_{cil2,y} * 0,18 = 0$$

$$F_{cil2,x} = F_{cil2} \cos(\varphi)$$

$$F_{cil2,y} = F_{cil2} \text{sen}(\varphi)$$

##### Brazo telescópico

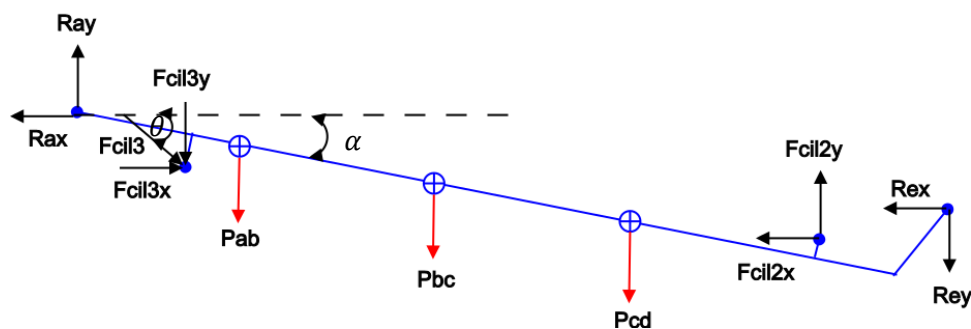


Figura 3.4.1 (2): DSL del brazo telescópico

Ecuaciones de equilibrio:

$$\sum F_x = 0 \rightarrow F_{cil3,x} - R_{A,x} - F_{cil2,x} - R_{E,x} = 0$$

$$\sum F_y = 0 \rightarrow R_{A,y} - F_{cil3,y} + F_{cil2,y} - R_{E,y} - P_{AB} - P_{BC} - P_{CD} = 0$$

$$\begin{aligned} \sum M_A = 0 \rightarrow & R_{E,y} * (15,5 \cos(\alpha) + 0,103 \text{sen}(\alpha)) + R_{E,x} * (15,5 \text{sen}(\alpha) - 0,103 \cos(\alpha)) + P_{AB} \\ & * (3,01 \cos(\alpha)) + P_{BC} * (8,11 \cos(\alpha)) + P_{CD} * (12,635 \cos(\alpha)) + F_{cil2,x} \\ & * (14,62 \text{sen}(\alpha) - 0,033 \cos(\alpha)) + F_{cil3,y} * (2,36 \cos(\alpha) - 0,344 \text{sen}(\alpha)) - F_{cil3,x} \\ & * (2,36 \text{sen}(\alpha) + 0,344 \cos(\alpha)) - F_{cil2,y} * (14,62 \cos(\alpha) + 0,033 \text{sen}(\alpha)) = 0 \end{aligned}$$

### 3.4.2 Reacciones en el brazo telescópico en $\alpha = 0$

#### Caja de unión EIJK

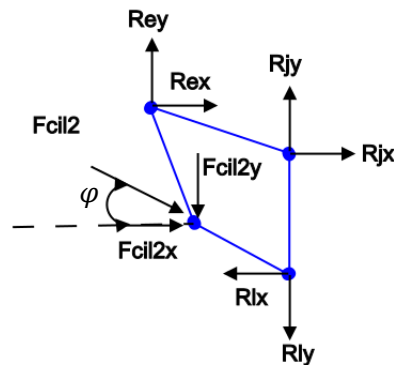


Figura 3.4.2 (1): DSL de la caja de unión EIJK

Ecuaciones de equilibrio:

$$\sum F_x = 0 \rightarrow R_{E,x} + R_{J,x} + F_{cil2,x} - R_{L,x} = 0$$

$$\sum F_y = 0 \rightarrow R_{E,y} + R_{J,y} - F_{cil2,y} - R_{L,y} = 0$$

$$\sum M_J = 0 \rightarrow R_{E,x} * 0,025 + R_{E,y} * 0,28 + R_{L,x} * 0,3 - F_{cil2,x} * 0,214 - F_{cil2,y} * 0,18 = 0$$

$$F_{cil2,x} = F_{cil2} \cos(\varphi)$$

$$F_{cil2,y} = F_{cil2} \text{sen}(\varphi)$$

#### Brazo telescópico

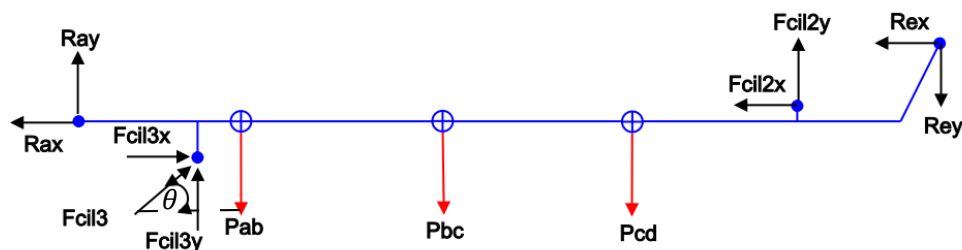


Figura 3.4.2 (2): DSL del brazo telescópico



Ecuaciones de equilibrio:

$$\sum F_x = 0 \rightarrow F_{cil3,x} - R_{A,x} - F_{cil2,x} - R_{E,x} = 0$$

$$\sum F_y = 0 \rightarrow R_{A,y} + F_{cil3,y} + F_{cil2,y} - R_{E,y} - P_{AB} - P_{BC} - P_{CD} = 0$$

$$\sum M_A = 0 \rightarrow R_{E,y} * 15,5 + P_{AB} * 3,01 + P_{BC} * 8,11 + P_{CD} * 12,635 - F_{cil3,y} * 2,36 - F_{cil2,y} * 14,62 - F_{cil3,x} * 0,344 - F_{cil2,x} * 0,033 - R_{E,x} * 0,103 = 0$$

### 3.4.3 Reacciones en el brazo telescópico $\alpha > 0$

#### Caja de unión EIJK

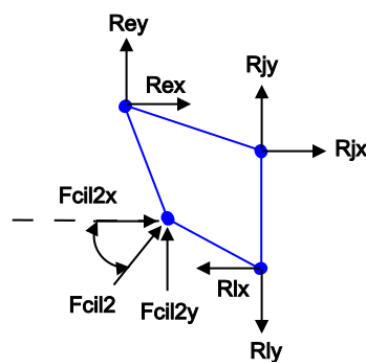


Figura 3.4.3 (1): DSL de caja de unión EIJK

Ecuaciones de equilibrio:

$$\sum F_x = 0 \rightarrow R_{E,x} + R_{J,x} + F_{cil2,x} - R_{L,x} = 0$$

$$\sum F_y = 0 \rightarrow R_{E,y} + R_{J,y} + F_{cil2,y} - R_{L,y} = 0$$

$$\sum M_J = 0 \rightarrow R_{E,x} * 0,025 + R_{E,y} * 0,28 + R_{L,x} * 0,3 - F_{cil2,x} * 0,214 + F_{cil2,y} * 0,18 = 0$$

$$F_{cil2,x} = F_{cil2} \cos(\varphi)$$

$$F_{cil2,y} = F_{cil2} \text{sen}(\varphi)$$

Brazo telescópico

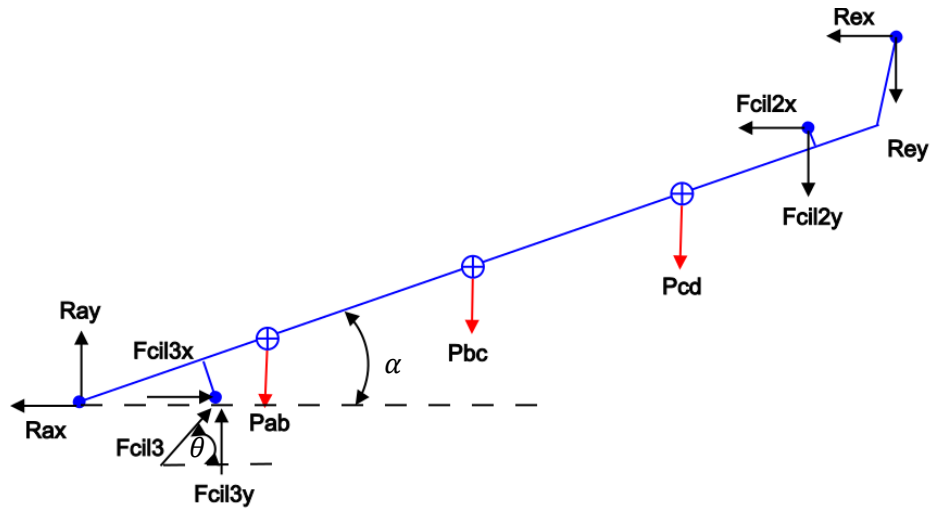


Figura 3.4.3 (2): DSL del brazo telescópico

Ecuaciones de equilibrio:

$$\sum F_x = 0 \rightarrow F_{cil3,x} - R_{A,x} - F_{cil2,x} - R_{E,x} = 0$$

$$\sum F_y = 0 \rightarrow R_{A,y} + F_{cil3,y} - F_{cil2,y} - R_{E,y} - P_{AB} - P_{BC} - P_{CD} = 0$$

$$\begin{aligned} \sum M_A = 0 \rightarrow & R_{E,y} * (15,5 \cos(\alpha) - 0,103 \text{sen}(\alpha)) - R_{E,x} * (15,5 \text{sen}(\alpha) + 0,103 \cos(\alpha)) + P_{AB} \\ & * (3,01 \cos(\alpha)) + P_{BC} * (8,11 \cos(\alpha)) + P_{CD} * (12,635 \cos(\alpha)) - F_{cil2,x} \\ & * (14,62 \text{sen}(\alpha) + 0,033 \cos(\alpha)) - F_{cil3,y} * (2,36 \cos(\alpha) + 0,344 \text{sen}(\alpha)) + F_{cil3,x} \\ & * (2,36 \text{sen}(\alpha) - 0,344 \cos(\alpha)) + F_{cil2,y} * (14,62 \cos(\alpha) - 0,033 \text{sen}(\alpha)) = 0 \end{aligned}$$



### 3.5 Resultados de las reacciones

#### 3.5.1 Resultados de las reacciones en el brazo cuadrilátero

##### Barra JK

$\beta$	$\gamma$	Fcil1x	Fcil1y	Fcil1	Rjx	Rjy	Rj	Rkx	Rky	Rk	Pjk
-65	-65	15791	33863	37364	31855	-73740	80326	16064	39229	42390	648
-40	-33.5	28609	18936	34308	44673	-37843	58547	16064	18259	24319	648
-20	-11.2	35230	6976	35914	51294	-18250	54443	16064	10627	19261	648
0	8.6	38275	5788	38710	54338	361	54340	16064	4780	16760	648
20	27.3	35282	18210	39704	51346	18630	54621	16064	-1067	16099	648
40	44.5	28814	28315	40398	44878	36367	57763	16064	-8699	18268	648
68	67.4	13998	33628	36425	30062	67960	74312	16064	-34979	38491	648

Tabla 3.5.1 (1): Las reacciones de la barra JK en ejes globales

$\beta$	$\gamma$	Fcil1x	Fcil1y	Fcil1	Rjx	Rjy	Rj	Rkx	Rky	Rk	Pjkx	Pjky	Pjk
-65	-65	37364	0	37364	80293	-2294	80326	42342	2020	42390	587	274	648
-40	-34	34088	-3884	34308	58546	-274	58547	24042	3662	24319	416	496	648
-20	-11	35491	-5494	35914	54442	394	54443	18730	4492	19261	221	609	648
0	9	38275	5788	38710	54338	361	54340	16064	4780	16760	0	648	648
20	27	39382	5045	39704	54621	-55	54621	15460	4492	16099	221	609	648
40	45	40274	3170	40398	57755	-988	57763	17897	3662	18268	416	496	648
68	67	36423	-381	36425	74273	-2415	74312	38450	1791	38491	600	243	648

Tabla 3.5.1 (2): Las reacciones de la barra JK en ejes locales

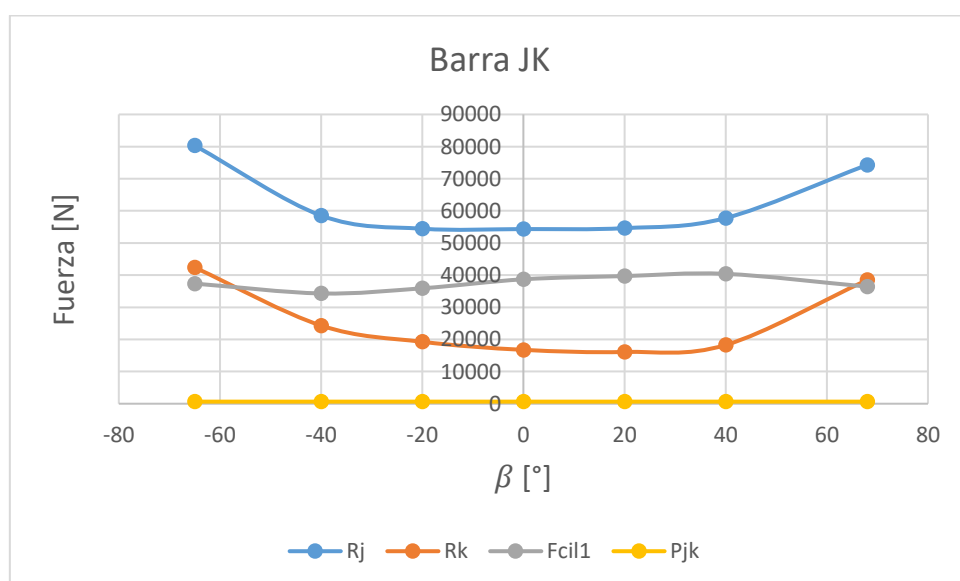


Gráfico 3.5.1 (1): Reacciones en la barra JK



Barra LM

$\beta$	$\gamma$	Fcil1x	Fcil1y	Fcil1	Rlx	Rly	RI	Rmx	Rmy	Rm	Plm
-65	-65	7895	16932	18682	15927	-34029	37572	8032	-17352	19121	510
-40	-34	14305	9468	17154	22336	-16080	27522	8032	-6867	10567	510
-20	-11	17615	3488	17957	25647	-6284	26405	8032	-3051	8592	510
0	9	19137	2894	19355	27169	3022	27337	8032	-127	8033	510
20	27	17641	9105	19852	25673	12156	28405	8032	2796	8505	510
40	45	14407	14158	20199	22439	21025	30750	8032	6612	10403	510
68	67	6999	16814	18213	15031	36821	39771	8032	19752	21323	510

Tabla 3.5.1 (3): Las reacciones de la barra LM en ejes globales

$\beta$	$\gamma$	Fcil1x	Fcil1y	Fcil1	Rlx	Rly	RI	Rmx	Rmy	Rm	Plmx	Plmy	Plm
-65	-65	18682	0	18682	37572	54	37572	19121	-54	19121	231	108	510
-40	-34	17044	-1942	17154	27447	2040	27522	10567	-98	10567	164	195	510
-20	-11	17746	-2747	17957	26249	2867	26405	8591	-120	8592	87	240	510
0	9	19137	2894	19355	27169	3022	27337	8032	-127	8033	0	255	510
20	27	19691	2523	19852	28282	2642	28405	8504	-120	8505	87	240	510
40	45	20137	1585	20199	30704	1682	30750	10403	-98	10403	164	195	510
68	67	18212	-191	18213	39771	-143	39771	21323	-48	21323	236	96	510

Tabla 3.5.1 (4): Las reacciones de la barra LM en ejes locales

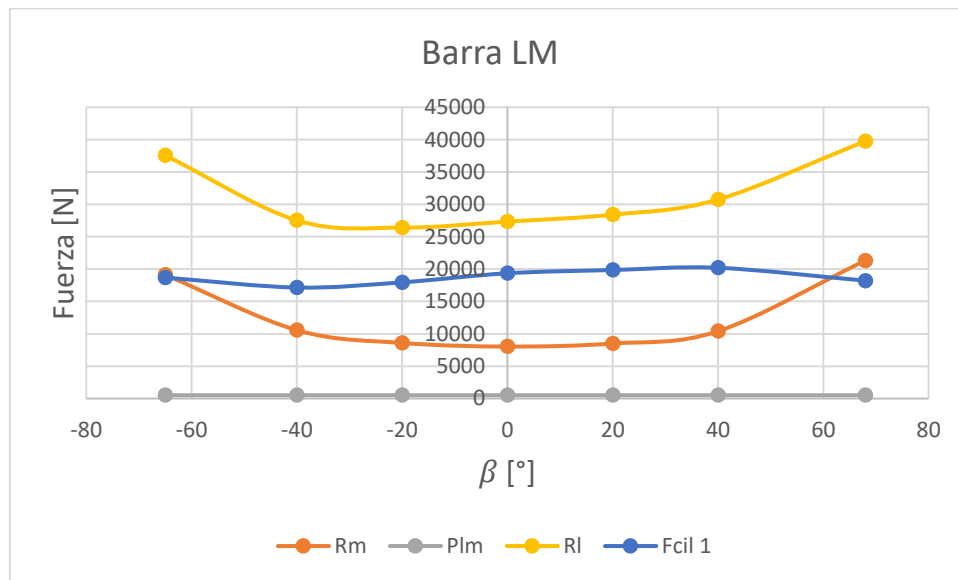


Gráfico 3.5.1 (2): Reacciones en la barra LM



3.5.2 Resultados de las reacciones en el brazo telescópico

$\alpha = -15^\circ$

$\alpha$	$\beta$	Rex	Rey	Re	Fcil2x	Fcil2y	Fcil2	Rax	Ray	Ra	Fcil3x	Fcil3y	Fcil3	Pab	Pbc	Pcd
-15	-65	-56304	28774	63231	56304	23092	60855	262105	33482	264235	262105	7779	262221	8978	6172	4870
	-40	-75727	36740	84169	75727	31058	81849	266439	33611	268550	266439	7908	266556	8978	6172	4870
	-20	-85759	40855	94993	85759	35172	92691	268677	33677	270779	268677	7974	268795	8978	6172	4870
	0	-90373	42747	99973	90373	37065	97678	269706	33708	271804	269706	8005	269825	8978	6172	4870
	20	-85838	40887	95078	85838	35205	92777	268694	33678	270797	268694	7975	268813	8978	6172	4870
	40	-76037	36868	84504	76037	31185	82184	266508	33613	268619	266508	7910	266625	8978	6172	4870
	68	-53588	27660	60305	53588	21978	57919	261499	33464	263632	261499	7761	261614	8978	6172	4870

Tabla 3.5.2 (1): Reacciones en el brazo telescópico en ejes globales

$\alpha$	$\beta$	Rex'	Rey'	Re'	Fcil2x'	Fcil2y'	Fcil2'	Rax'	Ray'	Ra'	Fcil3x'	Fcil3y'	Fcil3'	Pab'	Pbc'	Pcd'
-15	-65	-61833	13221	63231	60362	7733	60855	261840	-35497	264235	255188	-60324	262221	2324	8672	8978
	-40	-82656	15889	84169	81185	10400	81849	266059	-36494	268550	259407	-61321	266556	2324	8672	8978
	-20	-93411	17267	94993	91940	11778	92691	268238	-37009	270779	261586	-61836	268795	2324	8672	8978
	0	-98357	17900	99973	96886	12411	97678	269240	-37246	271804	262588	-62073	269825	2324	8672	8978
	20	-93495	17277	95078	92025	11789	92777	268255	-37013	270797	261603	-61840	268813	2324	8672	8978
	40	-82989	15932	84504	81518	10443	82184	266126	-36510	268619	259474	-61337	266625	2324	8672	8978
	68	-58921	12848	60305	57450	7359	57919	261250	-35357	263632	254598	-60184	261614	2324	8672	8978

Tabla 3.5.2 (2): Reacciones en el brazo telescópico en ejes locales

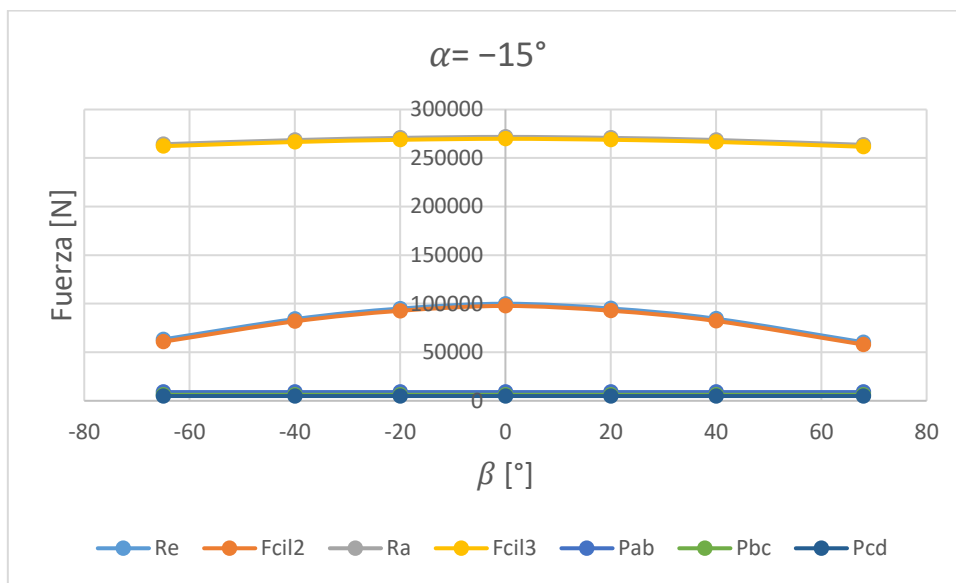


Gráfico 3.5.2 (1): Reacciones en el brazo telescópico



$\alpha = 0^\circ$

$\alpha$	$\beta$	Rex	Rey	Re	Fcil2x	Fcil2y	Fcil2	Rax	Ray	Ra	Fcil3x	Fcil3y	Fcil3	Pab	Pbc	Pcd
0	-65	-50276	14367	52288	50276	8684	51020	214125	-43871	218573	214125	69574	225145	8978	6172	4870
	-40	-67619	17362	69813	67619	11680	68620	217592	-44997	222196	217592	70700	228789	8978	6172	4870
-20	-76577	18910	78877	76577	13227	77711	219382	-45579	224067	219382	71282	230672	8978	6172	4870	
	0	-80697	19621	83048	80697	13939	81892	220205	-45846	224927	220205	71549	231538	8978	6172	4870
20	-76647	18922	78948	76647	13239	77782	219396	-45583	224081	219396	71286	230687	8978	6172	4870	
	40	-67896	17410	70093	67896	11728	68902	217647	-45015	222253	217647	70718	228848	8978	6172	4870
68	-47850	13948	49841	47850	8265	48559	213641	-43713	218067	213641	69416	224635	8978	6172	4870	

Tabla 3.5.2 (3): Reacciones en el brazo telescópico en ejes globales

$\alpha$	$\beta$	Rex'	Rey'	Re	Fcil2x	Fcil2y	Fcil2	Rax'	Ray'	Ra	Fcil3x	Fcil3y	Fcil3	Pab	Pab'	Pai	Pbc	Pbc'	Pbc	Pcd	Pcd'	Pcd
0	-65	-50276	14367	52288	50276	8684	51020	214125	-43871	218573	214125	69574	225145	0	8978	8978	0	6172	6172	0	4870	4870
	-40	-67619	17362	69813	67619	11680	68620	217592	-44997	222196	217592	70700	228789	0	8978	8978	0	6172	6172	0	4870	4870
-20	-76577	18910	78877	76577	13227	77711	219382	-45579	224067	219382	71282	230672	0	8978	8978	0	6172	6172	0	4870	4870	
	0	-80697	19621	83048	80697	13939	81892	220205	-45846	224927	220205	71549	231538	0	8978	8978	0	6172	6172	0	4870	4870
20	-76647	18922	78948	76647	13239	77782	219396	-45583	224081	219396	71286	230687	0	8978	8978	0	6172	6172	0	4870	4870	
	40	-67896	17410	70093	67896	11728	68902	217647	-45015	222253	217647	70718	228848	0	8978	8978	0	6172	6172	0	4870	4870
68	-47850	13948	49841	47850	8265	48559	213641	-43713	218067	213641	69416	224635	0	8978	8978	0	6172	6172	0	4870	4870	

Tabla 3.5.2 (4): Reacciones en el brazo telescópico en ejes locales

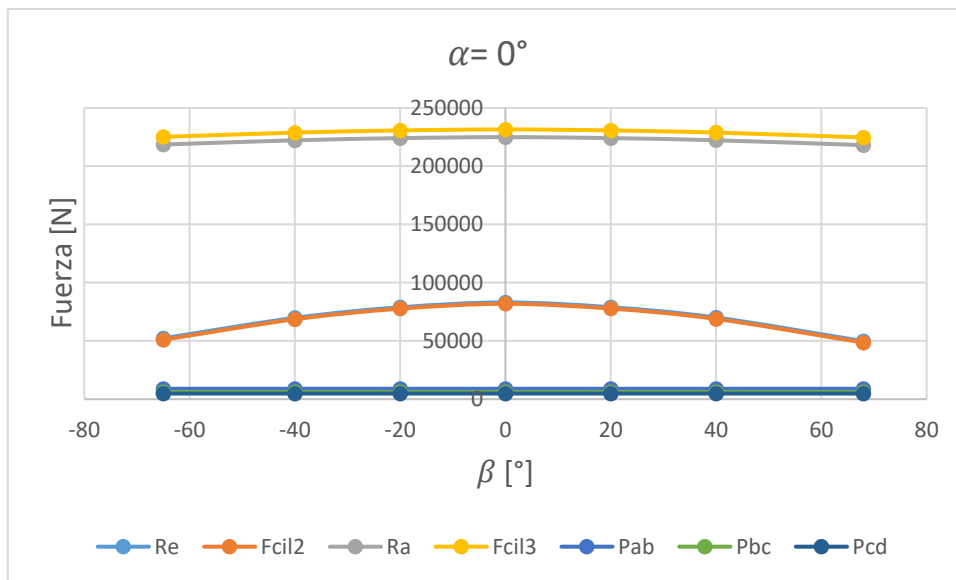


Gráfico 3.5.2 (2): Reacciones en el brazo telescópico



$\alpha = 25^\circ$

$\alpha$	$\beta$	Rex	Rey	Re	Fcil2x	Fcil2y	Fcil2	Rax	Ray	Ra	Fcil3x	Fcil3y	Fcil3	Pab	Pbc	Pcd
25	-65	-42623	-3923	42803	42623	9606	43692	138089	-110472	176841	138089	136175	193939	8978	6172	4870
	-40	-57327	-7237	57782	57327	12919	58764	140550	-112899	180279	140550	138602	197395	8978	6172	4870
	-20	-64921	-8948	65535	64921	14631	66549	141822	-114152	182055	141822	139855	199180	8978	6172	4870
	0	-68414	-9735	69103	68414	15418	70129	142406	-114729	182872	142406	140432	200001	8978	6172	4870
	20	-64981	-8962	65596	64981	14644	66610	141832	-114162	182069	141832	139865	199194	8978	6172	4870
	40	-57562	-7290	58021	57562	12972	59005	140590	-112937	180334	140590	138640	197450	8978	6172	4870
	68	-40567	-3460	40714	40567	9142	41584	137745	-110132	176360	137745	135835	193455	8978	6172	4870

Tabla 3.5.2 (5): Reacciones en el brazo telescópico en ejes globales

$\alpha$	$\beta$	Rex'	Rey'	Re	Fcil2x	Fcil2y	Fcil	Rax'	Ray	Ra	Fcil3x	Fcil3y	Fcil3	Pab	Pab'	Pal	Pbc	Pbc'	Pbd	Pcd	Pcd'	Pcd''
25	-65	-40288	14458	42803	42689	-9308	43692	171839	-41762	176841	182701	65057	193939	3794	8137	8978	2609	5594	6172	2058	4414	4870
	-40	-55014	17669	57782	57415	-12519	58764	175095	-42922	180279	185958	66217	197395	3794	8137	8978	2609	5594	6172	2058	4414	4870
	-20	-62620	19327	65535	65021	-14177	66549	176777	-43521	182055	187639	66815	199180	3794	8137	8978	2609	5594	6172	2058	4414	4870
	0	-66118	20090	69103	68520	-14940	70129	177550	-43796	182872	188413	67091	200001	3794	8137	8978	2609	5594	6172	2058	4414	4870
	20	-62680	19340	65596	65081	-14190	66610	176790	-43525	182069	187653	66820	199194	3794	8137	8978	2609	5594	6172	2058	4414	4870
	40	-55249	17720	58021	57651	-12570	59005	175147	-42940	180334	186010	66235	197450	3794	8137	8978	2609	5594	6172	2058	4414	4870
	68	-38228	14009	40714	40629	-8859	41584	171384	-41600	176360	182246	64895	193455	3794	8137	8978	2609	5594	6172	2058	4414	4870

Tabla 3.5.2 (6): Reacciones en el brazo telescópico en ejes locales

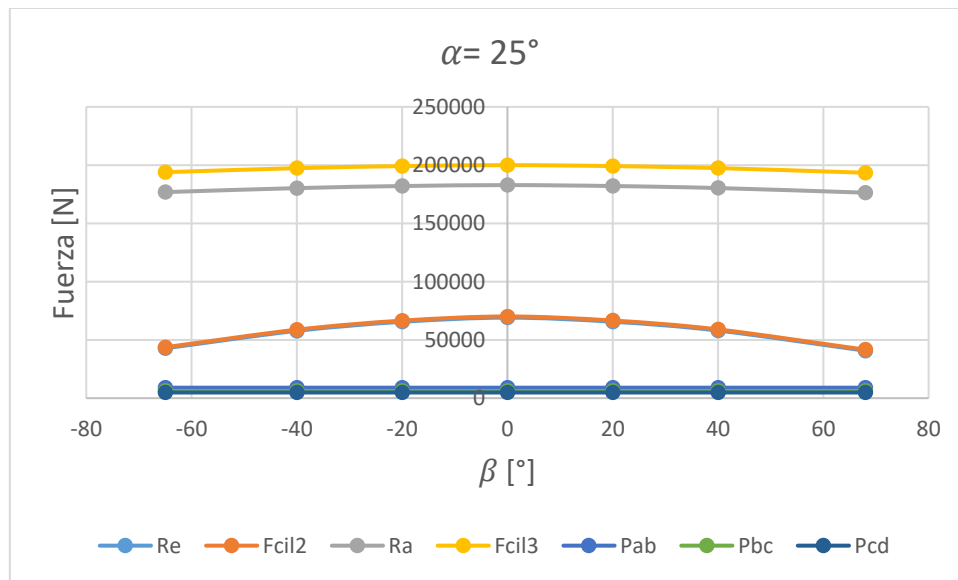


Gráfico 3.5.2 (3): Reacciones en el brazo telescópico



$\alpha = 50^\circ$

$\alpha$	$\beta$	Rex	Rey	Re	Fcil2x	Fcil2y	Fcil2	Rax	Ray	Ra	Fcil3x	Fcil3y	Fcil3	Pab	Pbc	Pcd
50	-65	-35151	-21781	41352	35151	27463	44608	63865	-119099	135142	63865	144802	158261	8978	6172	4870
	-40	-47277	-31255	56674	47277	36937	59996	65444	-122680	139044	65444	148383	162174	8978	6172	4870
	-20	-53540	-36148	64601	53540	41830	67944	66260	-124529	141060	66260	150232	164195	8978	6172	4870
	0	-56421	-38398	68247	56421	44081	71599	66635	-125379	141987	66635	151082	165124	8978	6172	4870
	20	-53590	-36186	64663	53590	41869	68006	66266	-124543	141076	66266	150246	164211	8978	6172	4870
	40	-47471	-31406	56920	47471	37088	60242	65470	-122737	139106	65470	148440	162236	8978	6172	4870
	68	-33455	-20456	39213	33455	26138	42455	63645	-118599	134597	63645	144301	157713	8978	6172	4870

Tabla 3.5.2 (7): Reacciones en el brazo telescópico en ejes globales

$\alpha$	$\beta$	Rex'	Rey'	Re	Fcil2x'	Fcil2y'	Fcil2	Rax'	Ray'	Ra	Fcil3x'	Fcil3y'	Fcil3	Pab'	Pab	Pbc'	Pbc	Pcd'	Pcd			
50	-65	-39280	12927	41352	43633	-9274	44608	132287	-27632	135142	151977	44153	158261	6878	5771	8978	4728	3968	6172	3731	3130	4870
	-40	-54332	16126	56674	58685	-12474	59996	136045	-28724	139044	155734	45245	162174	6878	5771	8978	4728	3968	6172	3731	3130	4870
	-20	-62106	17779	64601	66459	-14126	67944	137986	-29287	141060	157675	45809	164195	6878	5771	8978	4728	3968	6172	3731	3130	4870
	0	-65681	18539	68247	70034	-14886	71599	138878	-29547	141987	158568	46068	165124	6878	5771	8978	4728	3968	6172	3731	3130	4870
	20	-62167	17792	64663	66520	-14139	68006	138001	-29292	141076	157691	45813	164211	6878	5771	8978	4728	3968	6172	3731	3130	4870
	40	-54572	16178	56920	58925	-12525	60242	136105	-28741	139106	155795	45263	162236	6878	5771	8978	4728	3968	6172	3731	3130	4870
	68	-37175	12480	39213	41528	-8827	42455	131762	-27479	134597	151451	44001	157713	6878	5771	8978	4728	3968	6172	3731	3130	4870

Tabla 3.5.2 (8): Reacciones en el brazo telescópico en ejes locales

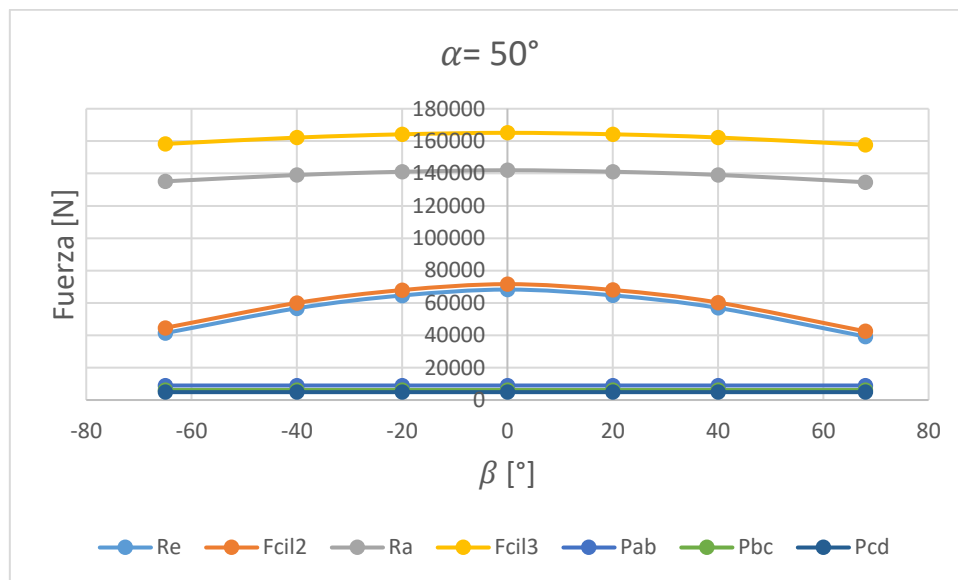


Gráfico 3.5.2 (4): Reacciones en el brazo telescópico





$\alpha = 75^\circ$

$\alpha$	$\beta$	Rex	Rey	Re	Fcil2x	Fcil2y	Fcil2	Rax	Ray	Ra	Fcil3x	Fcil3y	Fcil3	Pab	Pbc	Pcd
75	-65	-23204	-50336	55426	23204	56018	60634	7465	-65096	65523	7465	90799	91106	8978	6172	4870
	-40	-31208	-69660	76331	31208	75343	81550	7880	-70148	70589	7880	95851	96174	8978	6172	4870
	-20	-35342	-79641	87131	35342	85324	92354	8095	-72757	73206	8095	98460	98792	8978	6172	4870
	0	-37244	-84232	92098	37244	89914	97322	8193	-73957	74409	8193	99659	99996	8978	6172	4870
	20	-35375	-79720	87216	35375	85402	92439	8097	-72777	73226	8097	98480	98812	8978	6172	4870
	40	-31336	-69969	76666	31336	75652	81885	7887	-70228	70670	7887	95931	96255	8978	6172	4870
	68	-22084	-47633	52503	22084	53316	57708	7407	-64390	64814	7407	90093	90397	8978	6172	4870

Tabla 3.5.2 (9): Reacciones en el brazo telescópico en ejes globales

$\alpha$	$\beta$	Rex'	Rey'	Re	Fcil2x	Fcil2y	Fcil	Rax'	Ray'	Ra	Fcil3x	Fcil3y	Fcil3	Pab	Pab'	Pab	Pbc	Pbc'	Pbc	Pcd	Pcd'	Pcd
75	-65	-54626	9385	55426	60115	-7914	60634	64810	-9637	65523	89637	16290	91106	8672	2324	8978	5962	1598	6172	4704	1260	4870
	-40	-75364	12115	76331	80853	-10644	81550	69797	-10544	70589	94624	17196	96174	8672	2324	8978	5962	1598	6172	4704	1260	4870
	-20	-86075	13525	87131	91564	-12055	92354	72373	-11012	73206	97200	17664	98792	8672	2324	8978	5962	1598	6172	4704	1260	4870
	0	-91001	14174	92098	96490	-12703	97322	73557	-11227	74409	98384	17879	99996	8672	2324	8978	5962	1598	6172	4704	1260	4870
	20	-86159	13536	87216	91648	-12066	92439	72393	-11015	73226	97220	17668	98812	8672	2324	8978	5962	1598	6172	4704	1260	4870
	40	-75695	12159	76666	81184	-10688	81885	69877	-10558	70670	94704	17211	96255	8672	2324	8978	5962	1598	6172	4704	1260	4870
	68	-51726	9003	52503	57215	-7532	57708	64113	-9511	64814	88940	16163	90397	8672	2324	8978	5962	1598	6172	4704	1260	4870

Tabla 3.5.2 (10): Reacciones en el brazo telescópico en ejes locales

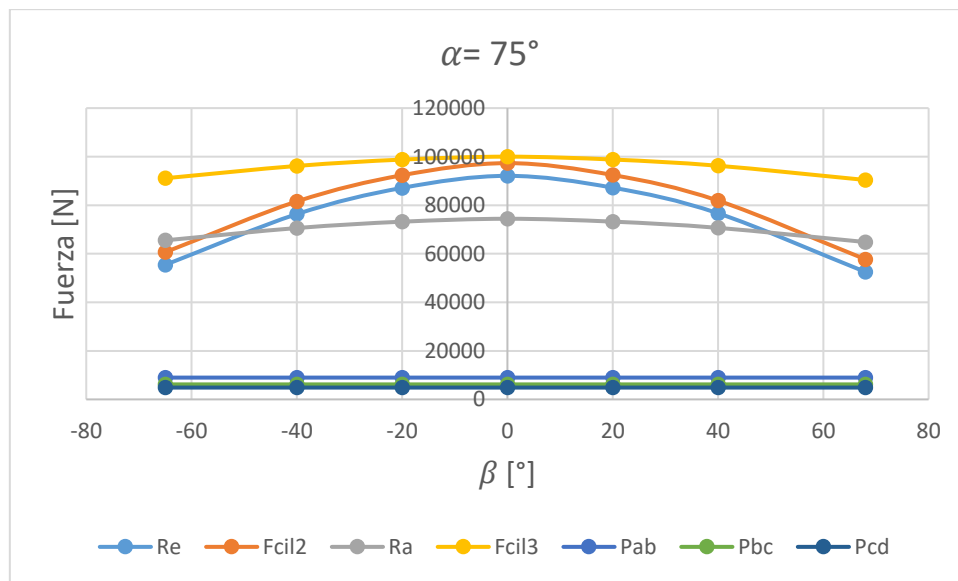


Gráfico 3.5.2 (5): Reacciones en el brazo telescópico

#### 4. Diagrama de esfuerzo y tensión máxima

##### 4.1 Diagrama de esfuerzo del brazo cuadrilátero

$$\beta = -65^\circ$$

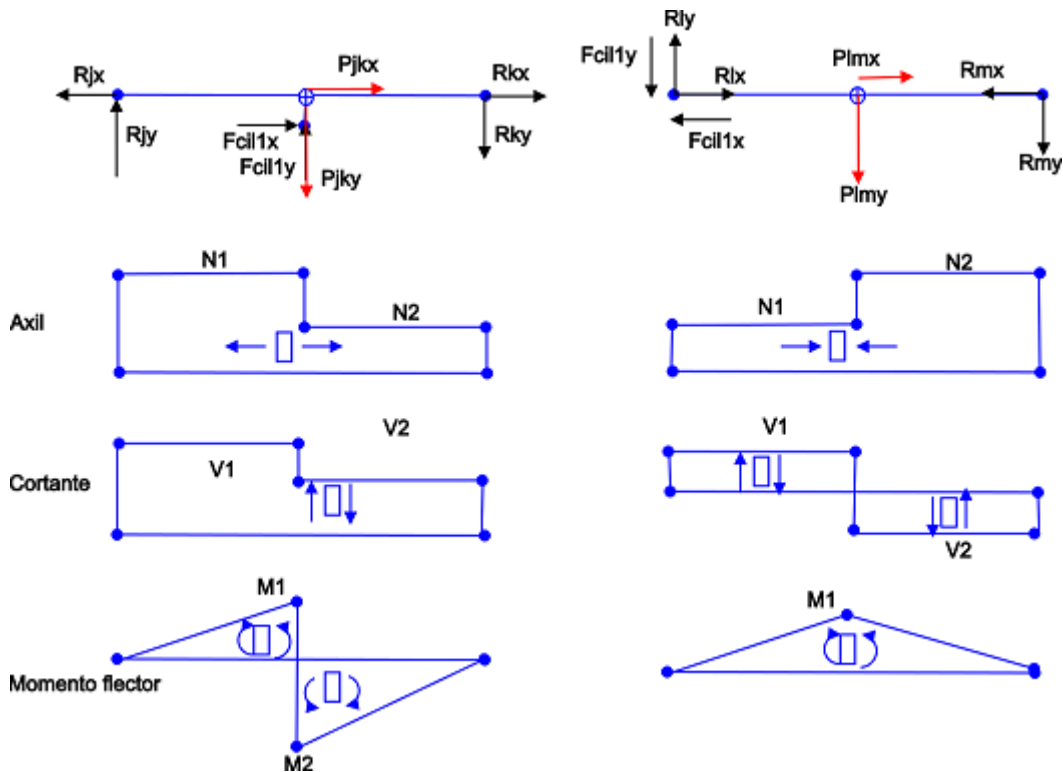


Figura 4.1 (1): Diagramas de esfuerzos

**JK**

**Axil:**

$$N1 = R_{J,x}$$

$$N2 = R_{J,x} - F_{cil1,x} - P_{JK,x}$$

**Cortante:**

$$V1 = R_{J,y}$$

$$V2 = R_{J,y} - F_{cil1,y} - P_{JK,y}$$

**Momento flector:**

$$M1 = R_{J,y} * 1,1$$

$$M2 = R_{K,y} * 1,1$$

**Tensiones máximas:**

$$\sigma_{max,1} = \frac{N1}{A_{JK}}$$

$$\sigma_{max,2} = \frac{N1}{A_{JK}} + \frac{M1}{w_{JK}}$$

$$\sigma_{max,3} = \frac{N2}{A_{JK}} + \frac{M2}{w_{JK}}$$

$$\sigma_{max,4} = \frac{N2}{A_{JK}}$$

**LM**

**Axil:**

$$N1 = R_{L,x}$$

$$N2 = R_{J,x} + P_{LM,x} - F_{cil1,x}$$

**Cortante:**

$$V1 = R_{L,y} - F_{cil1,y}$$

$$V2 = R_{L,y} - F_{cil1,y} - P_{LM,y}$$

**Momento flector:**

$$M1 = R_{L,y} * 1,1$$

**Tensiones máximas**

$$\sigma_{max,1} = \frac{N1}{A_{LM}}$$

$$\sigma_{max,2} = \frac{N1}{A_{LM}} + \frac{M1}{w_{LM}}$$

$$\sigma_{max,2} = \frac{N2}{A_{LM}} + \frac{M1}{w_{LM}}$$

$$\sigma_{max,4} = \frac{N2}{A_{LM}}$$



$$\beta = -40^\circ$$

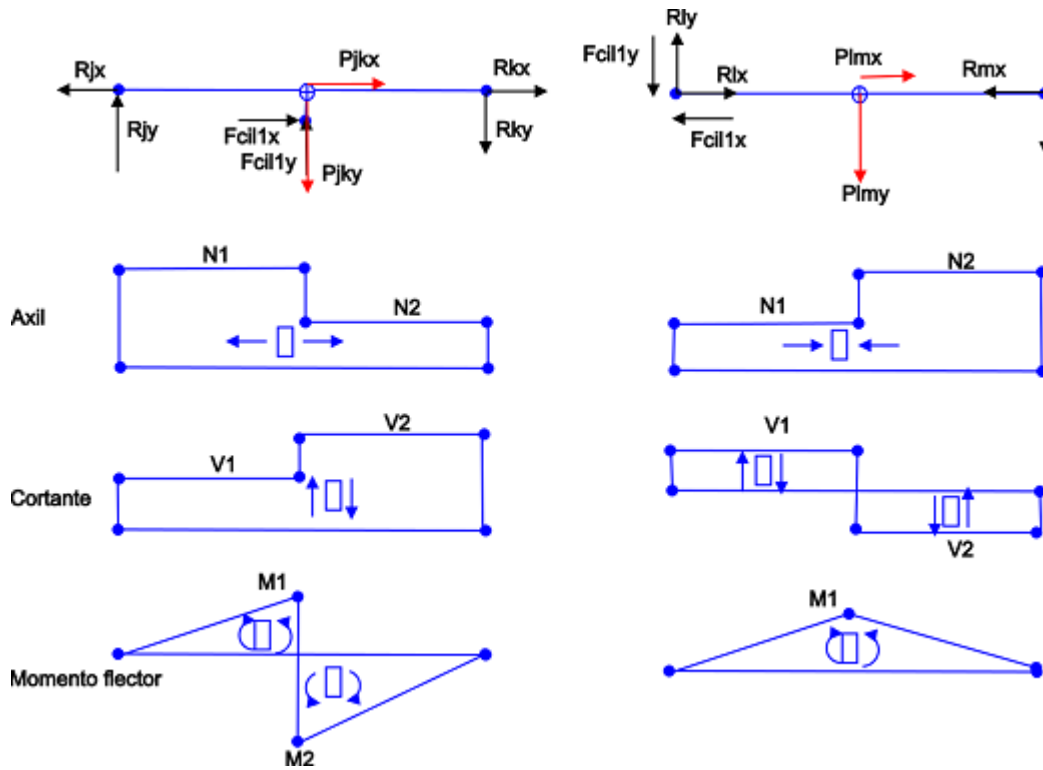


Figura 4.1 (2): Diagramas de esfuerzos

**Axil:**

$$N1 = R_{J,x}$$

$$N2 = R_{J,x} - F_{cil1,x} - P_{JK,x}$$

**Cortante:**

$$V1 = R_{J,y}$$

$$V2 = R_{J,y} - F_{cil1,y} - P_{JK,y}$$

**Momento flector:**

$$M1 = R_{J,y} * 1,1$$

$$M2 = R_{K,y} * 1,1$$

**Tensiones máximas**

$$\sigma_{max,1} = \frac{N1}{A_{JK}}$$

$$\sigma_{max,2} = \frac{N1}{A_{JK}} + \frac{M1}{w_{JK}}$$

$$\sigma_{max,3} = \frac{N2}{A_{JK}} + \frac{M2}{w_{JK}}$$

$$\sigma_{max,4} = \frac{N2}{A_{JK}}$$

**Axil:**

$$N1 = R_{L,x}$$

$$N2 = R_{J,x} + P_{LM,x} - F_{cil1,x}$$

**Cortante:**

$$V1 = R_{L,y} - F_{cil1,y}$$

$$V2 = R_{L,y} - F_{cil1,y} - P_{LM,y}$$

**Momento flector:**

$$M1 = R_{L,y} * 1,1$$

**Tensiones máximas**

$$\sigma_{max,1} = \frac{N1}{A_{LM}}$$

$$\sigma_{max,2} = \frac{N1}{A_{LM}} + \frac{M1}{w_{LM}}$$

$$\sigma_{max,2} = \frac{N2}{A_{LM}} + \frac{M1}{w_{LM}}$$

$$\sigma_{max,4} = \frac{N2}{A_{LM}}$$



$\beta = -20^\circ$

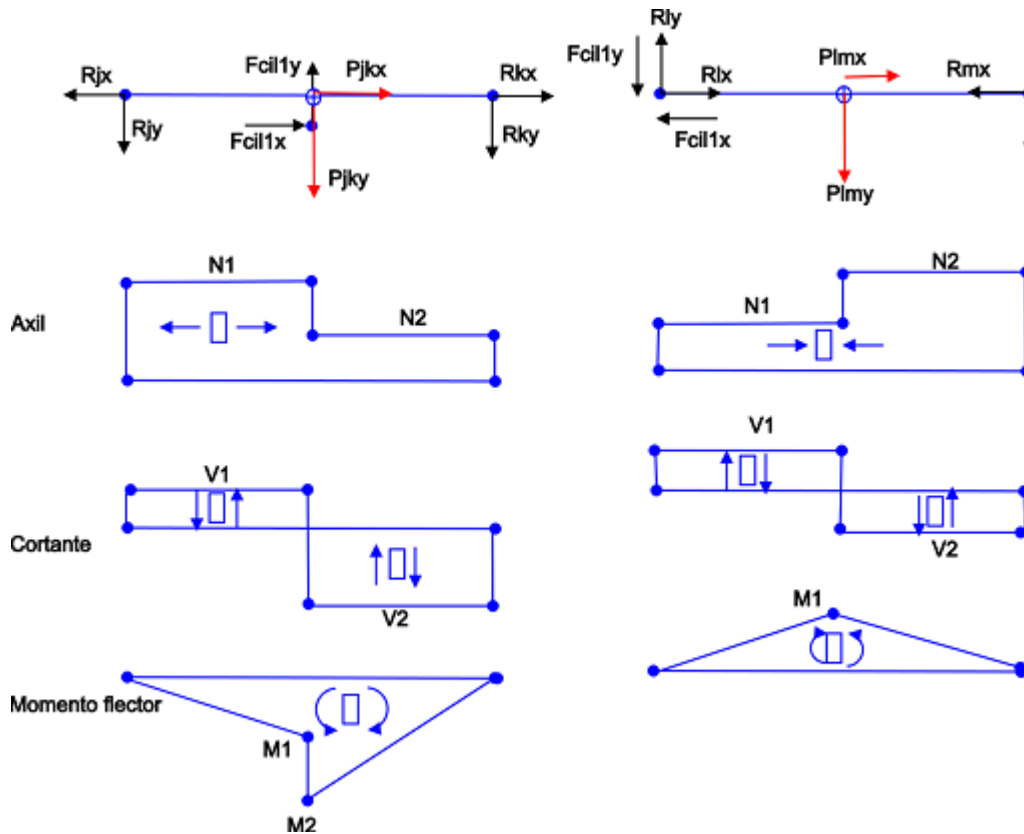


Figura 4.1 (3): Diagramas de esfuerzos

**JK**

Axil:

$$N1 = R_{J,x}$$

$$N2 = R_{J,x} - F_{cil1,x} - P_{JK,x}$$

Cortante

$$V1 = R_{J,y}$$

$$V2 = R_{J,y} - F_{cil1,y} - P_{JK,y}$$

Momento flector

$$M1 = R_{J,y} * 1,1$$

$$M2 = R_{J,y} * 1,1 + F_{cil1,x} * 0,127$$

**LM**

Axil:

$$N1 = R_{L,x}$$

$$N2 = R_{J,x} + P_{LM,x} - F_{cil1,x}$$

Cortante

$$V1 = R_{L,y} - F_{cil1,y}$$

$$V2 = R_{L,y} - F_{cil1,y} - P_{LM,y}$$

Momento flector

$$M1 = R_{L,y} * 1,1$$

Tensiones máximas

$$\sigma_{max,1} = \frac{N1}{A_{JK}}$$

$$\sigma_{max,2} = \frac{N1}{A_{JK}} + \frac{M1}{w_{JK}}$$

$$\sigma_{max,3} = \frac{N2}{A_{JK}} + \frac{M2}{w_{JK}}$$

$$\sigma_{max,4} = \frac{N2}{A_{JK}}$$

Tensiones máximas

$$\sigma_{max,1} = \frac{N1}{A_{LM}}$$

$$\sigma_{max,2} = \frac{N1}{A_{LM}} + \frac{M1}{w_{LM}}$$

$$\sigma_{max,2} = \frac{N2}{A_{LM}} + \frac{M1}{w_{LM}}$$

$$\sigma_{max,4} = \frac{N2}{A_{LM}}$$



$\beta = 0^\circ$

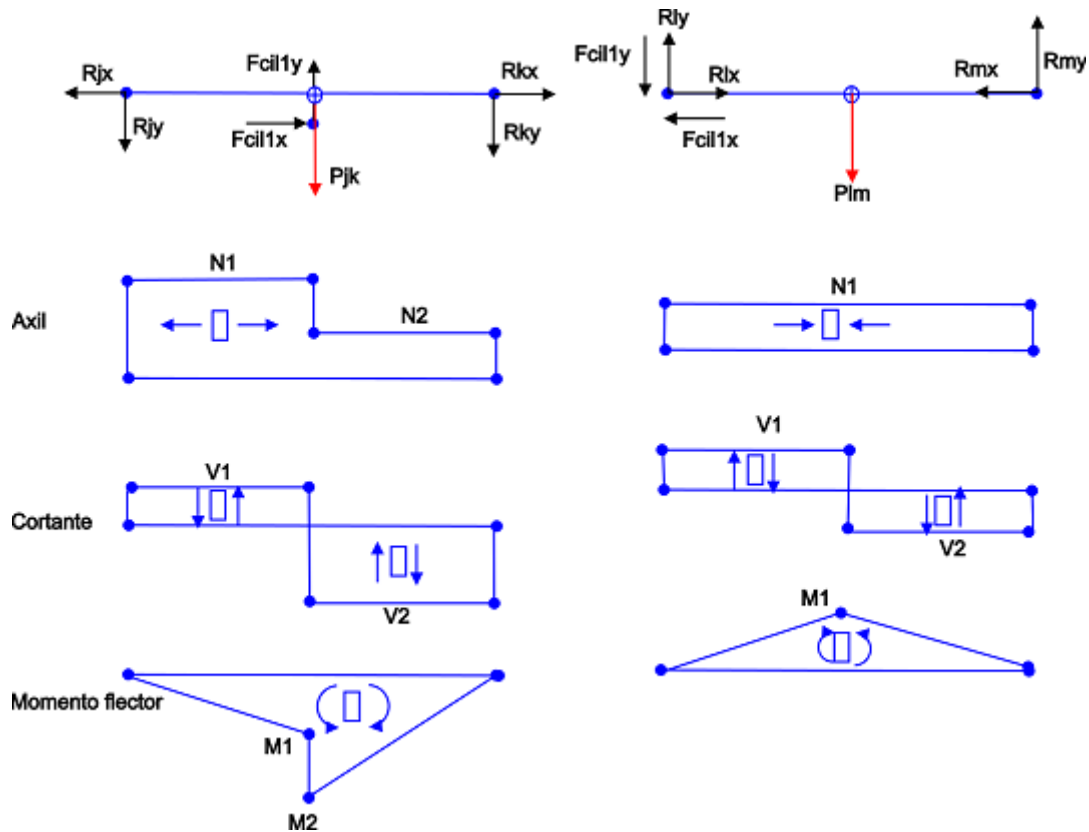


Figura 4.1 (4): Diagramas de esfuerzos

**JK**

Axil:

$$N1 = R_{J,x}$$

$$N2 = R_{J,x} - F_{cil1,x}$$

Cortante

$$V1 = R_{J,y}$$

$$V2 = R_{J,y} - F_{cil1,y} - P_{JK}$$

Momento flector

$$M1 = R_{J,y} * 1,1$$

$$M2 = R_{J,y} * 1,1 + F_{cil1,x} * 0,127$$

Tensiones máximas

$$\sigma_{max,1} = \frac{N1}{A_{JK}}$$

$$\sigma_{max,2} = \frac{N1}{A_{JK}} + \frac{M1}{w_{JK}}$$

$$\sigma_{max,3} = \frac{N2}{A_{JK}} + \frac{M2}{w_{JK}}$$

$$\sigma_{max,4} = \frac{N2}{A_{JK}}$$

**LM**

Axil:

$$N1 = R_{L,x} - F_{cil1,x}$$

Cortante

$$V1 = R_{L,y} - F_{cil1,y}$$

$$V2 = R_{L,y} - F_{cil1,y} - P_{LM}$$

Momento flector

$$M1 = R_{L,y} * 1,1$$

Tensiones máximas

$$\sigma_{max,1} = \frac{N1}{A_{LM}}$$

$$\sigma_{max,2} = \frac{N1}{A_{LM}} + \frac{M1}{w_{LM}}$$

$$\sigma_{max,2} = \frac{N1}{A_{LM}} + \frac{M1}{w_{LM}}$$

$$\sigma_{max,4} = \frac{N1}{A_{LM}}$$



$$\beta = 20^\circ$$

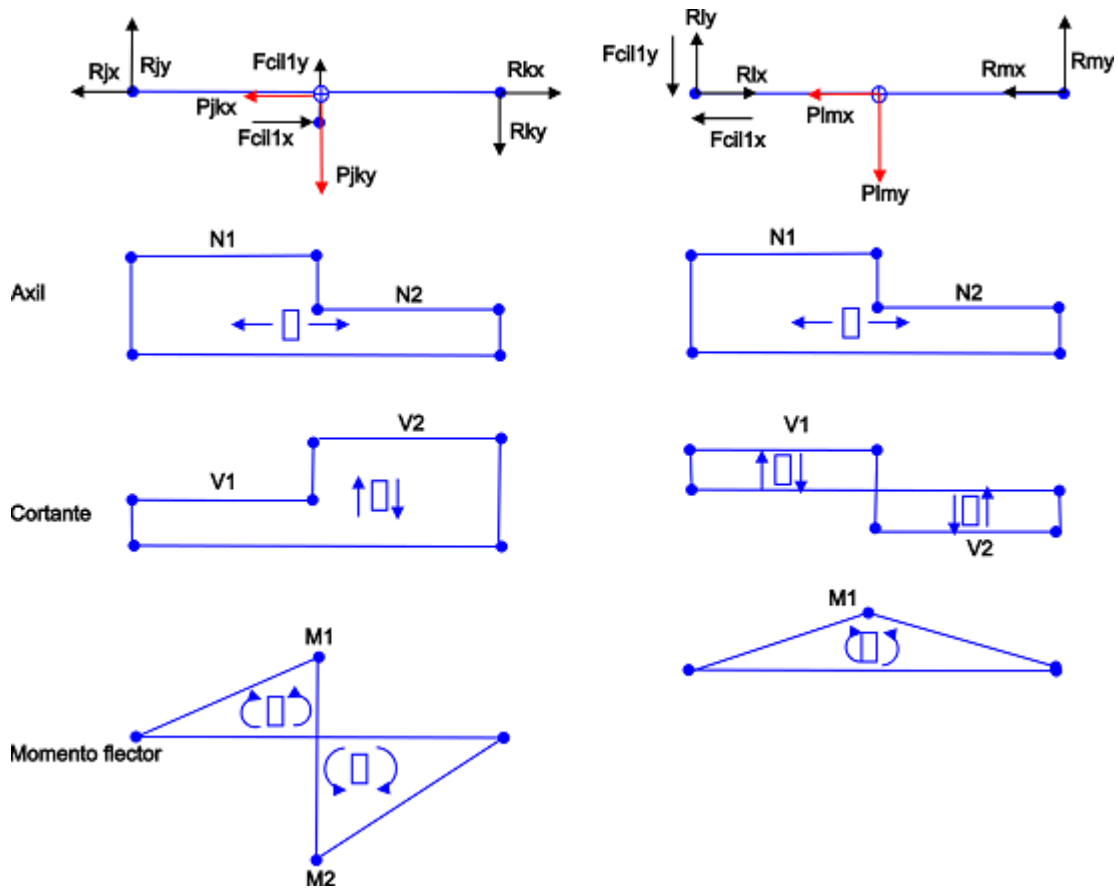


Figura 4.1 (5): Diagramas de esfuerzos

**JK**

Axil:

$$N1 = R_{J,x}$$

$$N2 = R_{J,x} - F_{cil1,x} + P_{JK,x}$$

Cortante

$$V1 = R_{J,y}$$

$$V2 = R_{J,y} - F_{cil1,y} - P_{JK,y}$$

Momento flector

$$M1 = R_{J,y} * 1,1$$

$$M2 = R_{K,y} * 1,1$$

Tensiones máximas

$$\sigma_{max,1} = \frac{N1}{A_{JK}}$$

$$\sigma_{max,2} = \frac{N1}{A_{JK}} + \frac{M1}{w_{JK}}$$

$$\sigma_{max,3} = \frac{N2}{A_{JK}} + \frac{M2}{w_{JK}}$$

$$\sigma_{max,4} = \frac{N2}{A_{JK}}$$

**LM**

Axil:

$$N1 = R_{L,x}$$

$$N2 = R_{J,x} - P_{LM,x} - F_{cil1,x}$$

Cortante

$$V1 = R_{L,y} - F_{cil1,y}$$

$$V2 = R_{L,y} - F_{cil1,y} - P_{LM,y}$$

Momento flector

$$M1 = R_{L,y} * 1,1$$

Tensiones máximas

$$\sigma_{max,1} = \frac{N1}{A_{LM}}$$

$$\sigma_{max,2} = \frac{N1}{A_{LM}} + \frac{M1}{w_{LM}}$$

$$\sigma_{max,2} = \frac{N2}{A_{LM}} + \frac{M1}{w_{LM}}$$

$$\sigma_{max,4} = \frac{N2}{A_{LM}}$$



$\beta = 40^\circ$

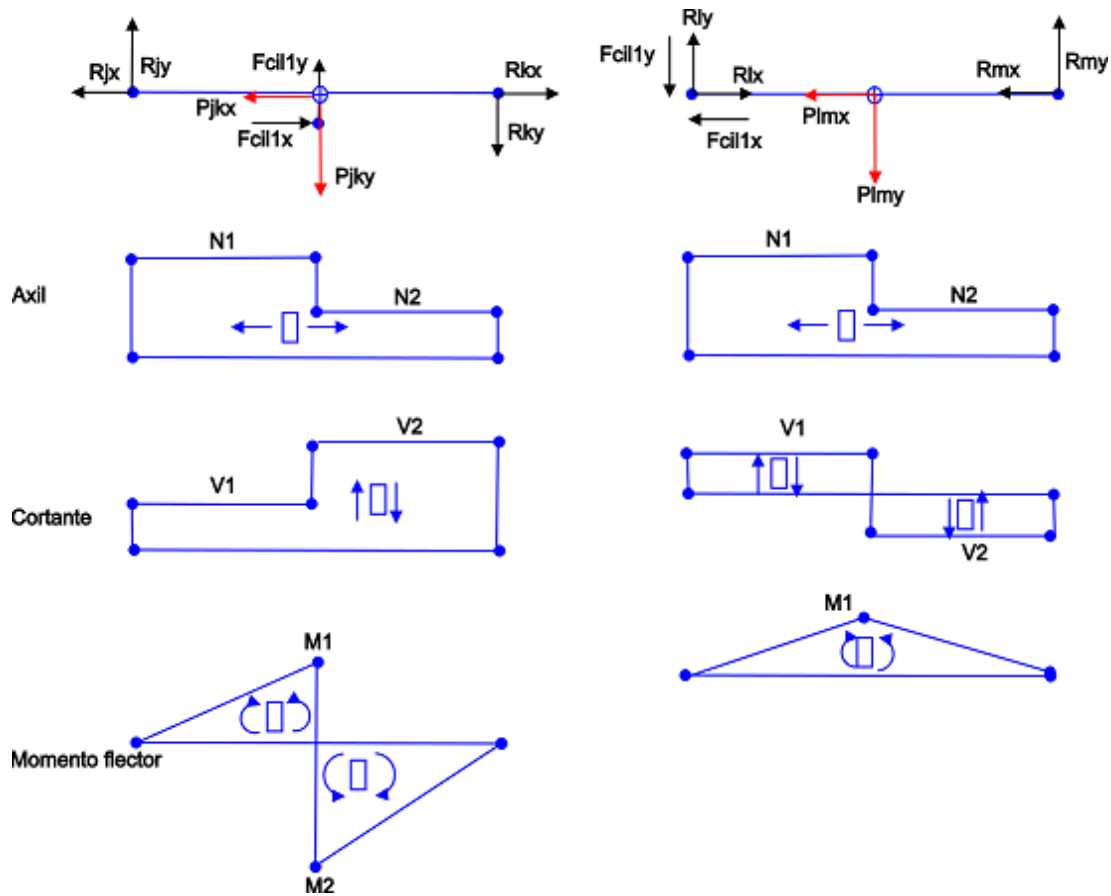


Figura 4.1 (6): Diagramas de esfuerzos

JK

LM

Axil:

$$N1 = R_{J,x}$$

$$N2 = R_{J,x} - F_{cil1,x} + P_{JK,x}$$

Axil:

$$N1 = R_{L,x}$$

$$N2 = R_{J,x} - P_{LM,x} - F_{cil1,x}$$

Cortante

$$V1 = R_{J,y}$$

$$V2 = R_{J,y} - F_{cil1,y} - P_{JK,y}$$

Cortante

$$V1 = R_{L,y} - F_{cil1,y}$$

$$V2 = R_{L,y} - F_{cil1,y} - P_{LM,y}$$

Momento flector

$$M1 = R_{J,y} * 1,1$$

$$M2 = R_{K,y} * 1,1$$

Momento flector

$$M1 = R_{L,y} * 1,1$$

Tensiones máximas

$$\sigma_{max,1} = \frac{N1}{A_{JK}}$$

$$\sigma_{max,2} = \frac{N1}{A_{JK}} + \frac{M1}{w_{JK}}$$

$$\sigma_{max,3} = \frac{N2}{A_{JK}} + \frac{M2}{w_{JK}}$$

$$\sigma_{max,4} = \frac{N2}{A_{JK}}$$

Tensiones máximas

$$\sigma_{max,1} = \frac{N1}{A_{LM}}$$

$$\sigma_{max,2} = \frac{N1}{A_{LM}} + \frac{M1}{w_{LM}}$$

$$\sigma_{max,2} = \frac{N2}{A_{LM}} + \frac{M1}{w_{LM}}$$

$$\sigma_{max,4} = \frac{N2}{A_{LM}}$$



$\beta = 68^\circ$

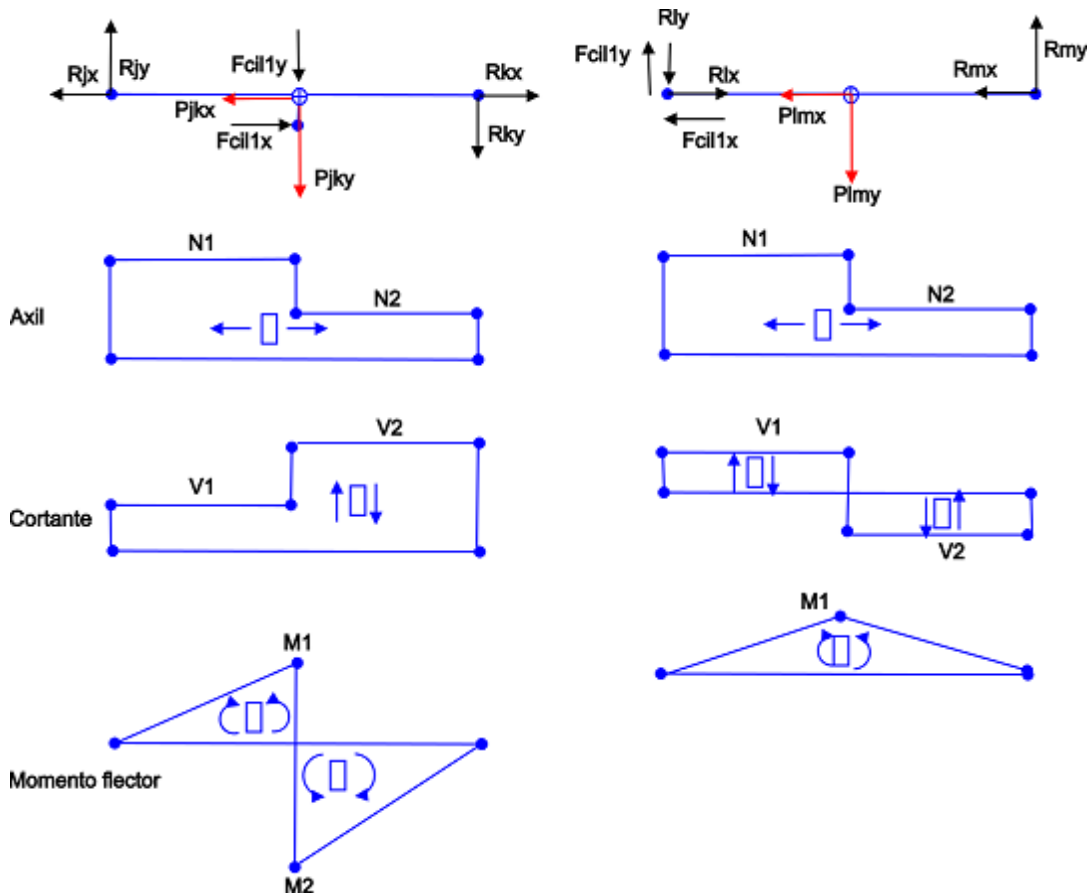


Figura 4.1 (7): Diagramas de esfuerzos

JK

LM

Axil:

$$N1 = R_{J,x}$$

$$N2 = R_{J,x} - F_{cil1,x} + P_{JK,x}$$

Axil:

$$N1 = R_{L,x}$$

$$N2 = R_{J,x} - P_{LM,x} - F_{cil1,x}$$

Cortante

$$V1 = R_{J,y}$$

$$V2 = R_{J,y} - F_{cil1,y} - P_{JK,y}$$

Cortante

$$V1 = R_{L,y} - F_{cil1,y}$$

$$V2 = R_{L,y} - F_{cil1,y} - P_{LM,y}$$

Momento flector

$$M1 = R_{J,y} * 1,1$$

$$M2 = R_{K,y} * 1,1$$

Momento flector

$$M1 = R_{L,y} * 1,1$$

Tensiones máximas

$$\sigma_{max,1} = \frac{N1}{A_{JK}}$$

$$\sigma_{max,2} = \frac{N1}{A_{JK}} + \frac{M1}{w_{JK}}$$

$$\sigma_{max,3} = \frac{N2}{A_{JK}} + \frac{M2}{w_{JK}}$$

$$\sigma_{max,4} = \frac{N2}{A_{JK}}$$

Tensiones máximas

$$\sigma_{max,1} = \frac{N1}{A_{LM}}$$

$$\sigma_{max,2} = \frac{N1}{A_{LM}} + \frac{M1}{w_{LM}}$$

$$\sigma_{max,2} = \frac{N2}{A_{LM}} + \frac{M1}{w_{LM}}$$

$$\sigma_{max,4} = \frac{N2}{A_{LM}}$$





Resultados:

$\beta$	N1	N2	V1	V2	M1	M2
-65	80293.287	42342.190	2293.771	2020.100	2523.148	2222.111
-40	58546.188	24042.237	273.919	3661.664	301.311	4027.830
-20	54442.010	18729.529	394.097	4491.695	433.507	4940.865
0	54338.411	16063.750	360.978	4779.962	397.076	5257.958
20	54620.831	15459.842	55.189	4491.695	60.708	4940.864
40	57754.663	17897.236	988.114	3661.663	1086.926	4027.829
68	74272.572	38449.753	2414.619	1790.604	2656.081	1969.664

Tabla 4.1 (1): Resultados de diagramas de esfuerzos de la barra JK

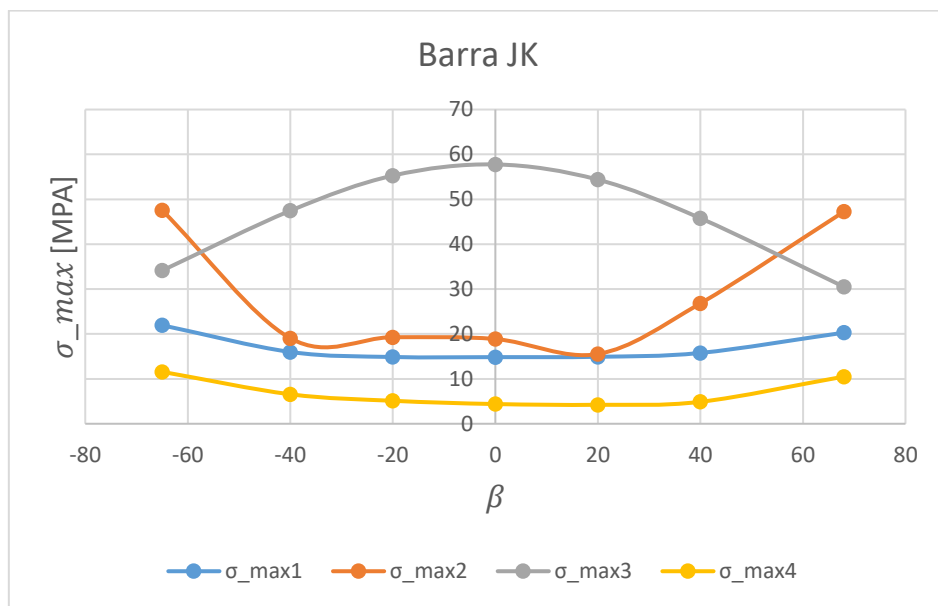


Grafico 4.1 (1): Tensiones máximas de la barra JK



$\beta$	N1	N2	V1	V2	M1
-65	18889.500	19120.574	53.875	-53.876	59.264
-40	10402.925	10566.811	97.656	-97.656	107.422
-20	8503.742	8590.944	119.793	-119.793	131.772
0	8031.875	8031.875	127.481	-127.481	140.229
20	8590.944	8503.742	119.793	-119.793	131.772
40	10566.811	10402.925	97.656	-97.656	107.422
68	21559.027	21322.630	47.756	-47.755	52.530

Tabla 4.1 (2): Resultados de diagramas de esfuerzos de la barra LM

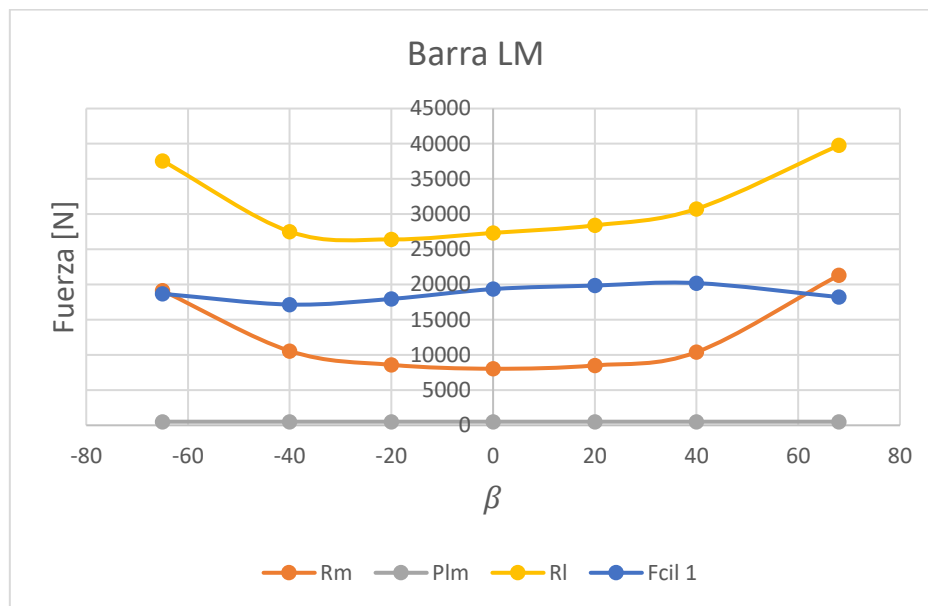


Grafico 4.1 (2): Tensiones máximas de la barra LM



4.2 Diagrama de esfuerzo del brazo telescópico

$\alpha = -15^\circ$

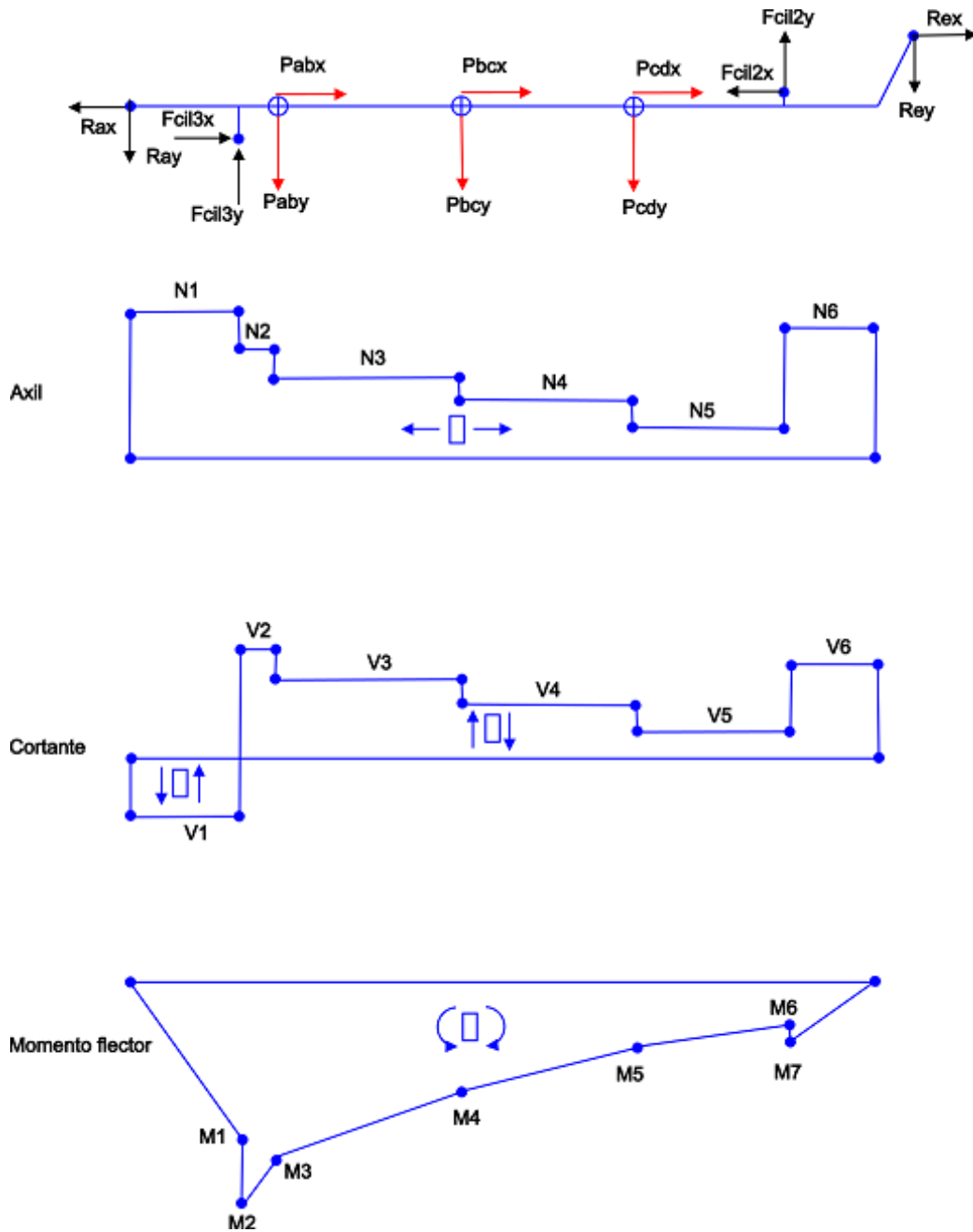


Figura 4.2 (1): Diagramas de esfuerzos del brazo telescópico



Axil:

$$\begin{aligned} N1 &= R_{A,x} \\ N2 &= N1 - F_{cil3,x} \\ N3 &= N2 - P_{AB,x} \\ N4 &= N3 - P_{BC,x} \\ N5 &= N4 - P_{CD,x} \\ N6 &= R_{E,x} \end{aligned}$$

Cortante

$$\begin{aligned} V1 &= R_{A,y} \\ V2 &= V1 - F_{cil3,y} \\ V3 &= V2 - P_{AB,y} \\ V4 &= V3 - P_{BC,y} \\ V5 &= V4 - P_{CD,y} \\ V6 &= R_{E,y} \end{aligned}$$

Momento flector

$$\begin{aligned} M1 &= R_{A,y} * 2,36 \\ M2 &= M1 + F_{cil3,x} * 0,344 \\ M3 &= R_{A,y} * 3,01 + F_{cil3,x} * 0,344 - F_{cil3,y} * 0,65 \\ M4 &= R_{A,y} * 8,11 + F_{cil3,x} * 0,344 - F_{cil3,y} * 5,75 + P_{AB,y} * 5,1 \\ M5 &= R_{A,y} * 12,635 + F_{cil3,x} * 0,344 - F_{cil3,y} * 10,275 + P_{AB,y} * 9,625 + P_{BC,y} * 4,525 \\ M6 &= R_{A,y} * 14,62 + F_{cil3,x} * 0,344 - F_{cil3,y} * 12,26 + P_{AB,y} * 11,61 + P_{BC,y} * 6,51 \\ &\quad + P_{CD,y} * 1,985 \\ M7 &= M6 + F_{cil2,x} * 0,033 \end{aligned}$$

Tensiones máximas

$$\begin{aligned} \sigma_{max,1} &= \frac{N1}{A_{AB}} \\ \sigma_{max,2} &= \frac{N1}{A_{AB}} + \frac{M1}{\frac{w_{AB}}{N2}} \\ \sigma_{max,3} &= \frac{N2}{A_{AB}} + \frac{w_{AB}}{M3} \\ \sigma_{max,4} &= \frac{N3}{A_{AB}} + \frac{w_{AB}}{M3} \\ \sigma_{max,5} &= \frac{N3}{A_{AB}} + \frac{w_{AB}}{M4} \\ \sigma_{max,6} &= \frac{N3}{A_{BC}} + \frac{w_{BC}}{M4} \\ \sigma_{max,7} &= \frac{N4}{A_{BC}} + \frac{w_{AB}}{M5} \\ \sigma_{max,8} &= \frac{N4}{A_{CD}} + \frac{w_{CD}}{M5} \\ \sigma_{max,9} &= \frac{N5}{A_{CD}} + \frac{w_{CD}}{M6} \\ \sigma_{max,10} &= \frac{N5}{A_{CD}} + \frac{w_{CD}}{M7} \\ \sigma_{max,11} &= \frac{N6}{A_{CD}} + \frac{w_{CD}}{M7} \\ \sigma_{max,12} &= \frac{N6}{A_{CD}} \end{aligned}$$



$\alpha$	$\beta$	N1	N2	N3	N4	N5	N6
-15	-65	261840	6652	4329	2731	1471	61833
	-40	266059	6652	4329	2731	1471	82656
	-20	268238	6652	4329	2731	1471	93411
	0	269240	6652	4329	2731	1471	98357
	20	268255	6652	4329	2731	1471	93495
	40	266126	6652	4329	2731	1471	82989
	68	261250	6652	4329	2731	1471	58921

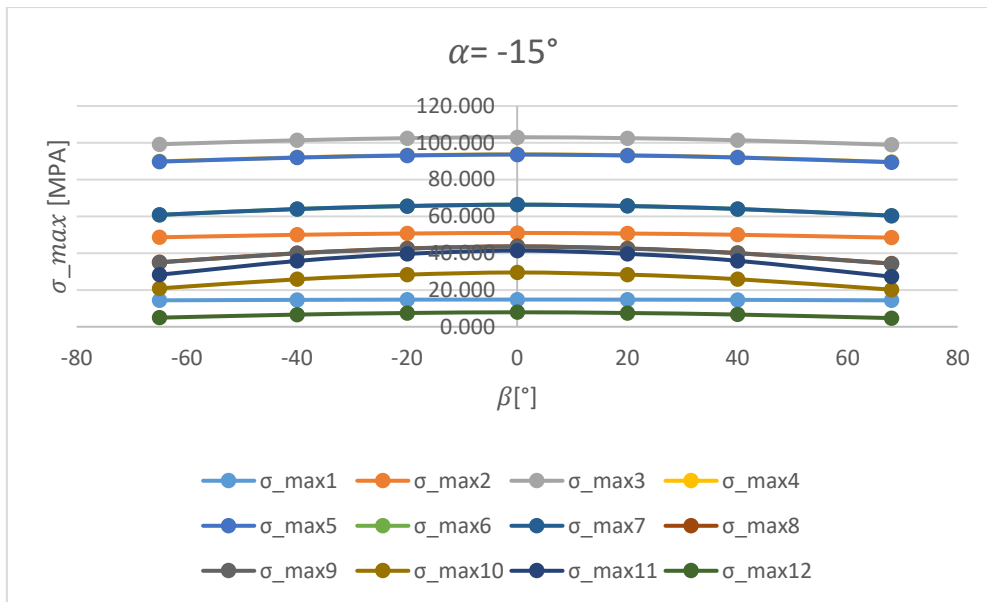
**Tabla 4.2 (1):** Resultados de esfuerzos axiales

$\alpha$	$\beta$	V1	V2	V3	V4	V5	V6
-15	-65	-35497	24827	16155	10193	5489	13221
	-40	-36494	24827	16155	10193	5489	15889
	-20	-37009	24827	16155	10193	5489	17267
	0	-37246	24827	16155	10193	5489	17900
	20	-37013	24827	16155	10193	5489	17277
	40	-36510	24827	16155	10193	5489	15932
	68	-35357	24827	16155	10193	5489	12848

**Tabla 4.2 (2):** Resultados de esfuerzos cortantes

$\alpha$	$\beta$	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7
-15	-65	83772	171557	155419	73029	26907	16012	18004
	-40	86126	175362	159224	76834	30712	19817	22496
	-20	87342	177327	161189	78800	32677	21782	24816
	0	87901	178231	162093	79703	33581	22686	25883
	20	87351	177342	161205	78815	32693	21797	24834
	40	86164	175423	159285	76895	30773	19877	22568
	68	83443	171025	154887	72497	26375	15480	17375

**Tabla 4.2 (3):** Resultados de momentos flectores



**Grafico 4.2 (1):** Tensiones máximas del brazo telescópico



$\alpha = 0^\circ$

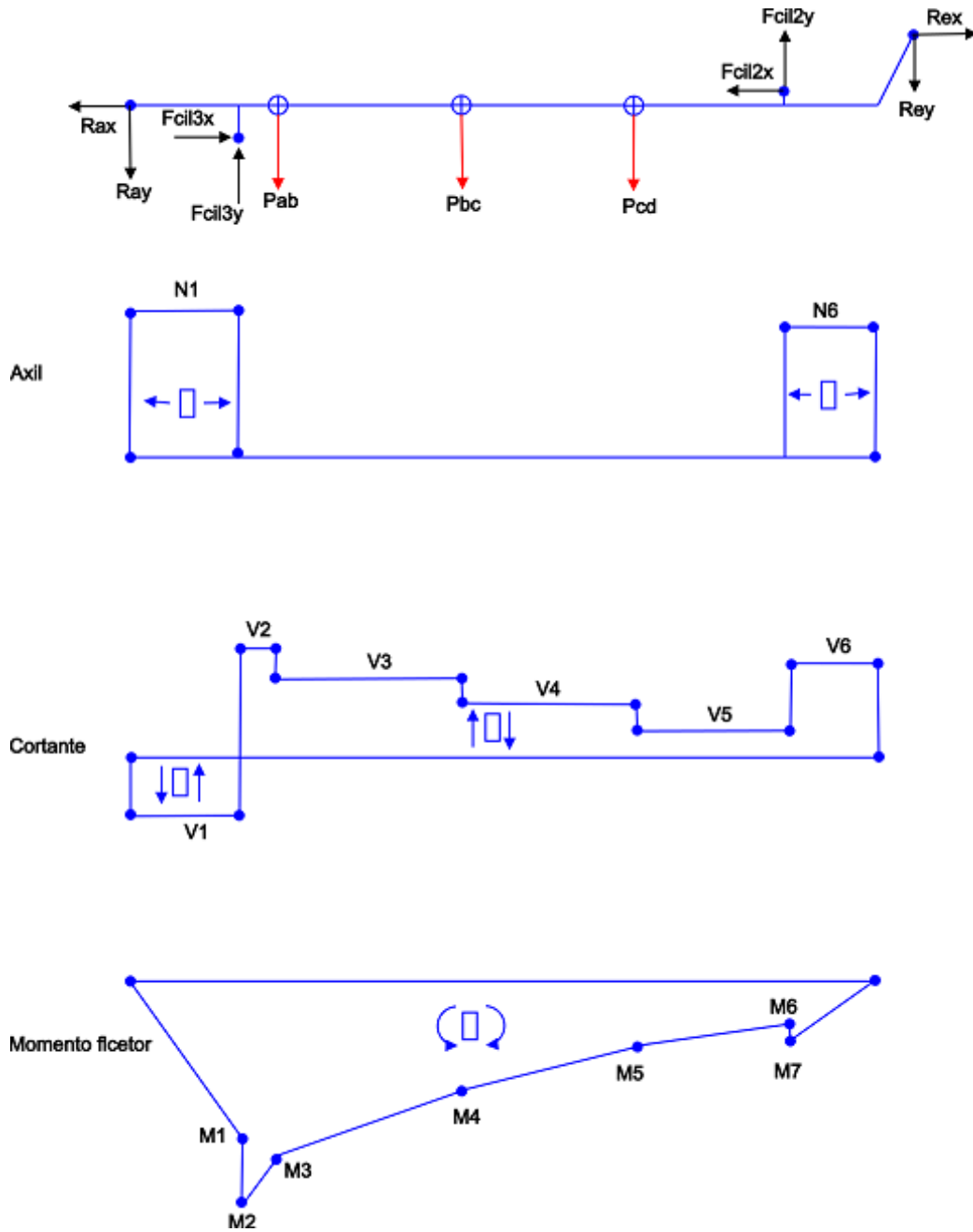


Figura 4.2 (2): Diagramas de esfuerzos del brazo telescópico



Axil:

$$\begin{aligned}N1 &= R_{A,x} \\N2 &= 0 \\N3 &= 0 \\N4 &= 0 \\N5 &= 0 \\N6 &= R_{E,x}\end{aligned}$$

Cortante

$$\begin{aligned}V1 &= R_{A,y} \\V2 &= V1 - F_{cil3,y} \\V3 &= V2 - P_{AB,y} \\V4 &= V3 - P_{BC,y} \\V5 &= V4 - P_{CD,y} \\V6 &= R_{E,y}\end{aligned}$$

Momento flector

$$\begin{aligned}M1 &= R_{A,y} * 2,36 \\M2 &= M1 + F_{cil3,x} * 0,344 \\M3 &= R_{A,y} * 3,01 + F_{cil3,x} * 0,344 - F_{cil3,y} * 0,65 \\M4 &= R_{A,y} * 8,11 + F_{cil3,x} * 0,344 - F_{cil3,y} * 5,75 + P_{AB,y} * 5,1 \\M5 &= R_{A,y} * 12,635 + F_{cil3,x} * 0,344 - F_{cil3,y} * 10,275 + P_{AB,y} * 9,625 + P_{BC,y} * 4,525 \\M6 &= R_{A,y} * 14,62 + F_{cil3,x} * 0,344 - F_{cil3,y} * 12,26 + P_{AB,y} * 11,61 + P_{BC,y} * 6,51 \\&\quad + P_{CD,y} * 1,985 \\M7 &= M6 + F_{cil2,x} * 0,033\end{aligned}$$

Tensiones máximas

$$\begin{aligned}\sigma_{max,1} &= \frac{N1}{A_{AB}} & \sigma_{max,6} &= \frac{M5}{w_{CD}} \\ \sigma_{max,2} &= \frac{N1}{A_{AB}} + \frac{M1}{w_{AB}} & \sigma_{max,7} &= \frac{M6}{w_{CD}} \\ \sigma_{max,3} &= \frac{M2}{w_{AB}} & \sigma_{max,8} &= \frac{N6}{A_{CD}} + \frac{M7}{w_{CD}} \\ \sigma_{max,4} &= \frac{M3}{w_{AB}} & \sigma_{max,9} &= \frac{N6}{A_{CD}} \\ \sigma_{max,5} &= \frac{M4}{w_{BC}}\end{aligned}$$





$\alpha$	$\beta$	N1	N2	N3	N4	N5	N6
0	-65	214125	0	0	0	0	50276
	-40	217592	0	0	0	0	67619
	-20	219382	0	0	0	0	76577
	0	220205	0	0	0	0	80697
	20	219396	0	0	0	0	76647
	40	217647	0	0	0	0	67896
	68	213641	0	0	0	0	47850

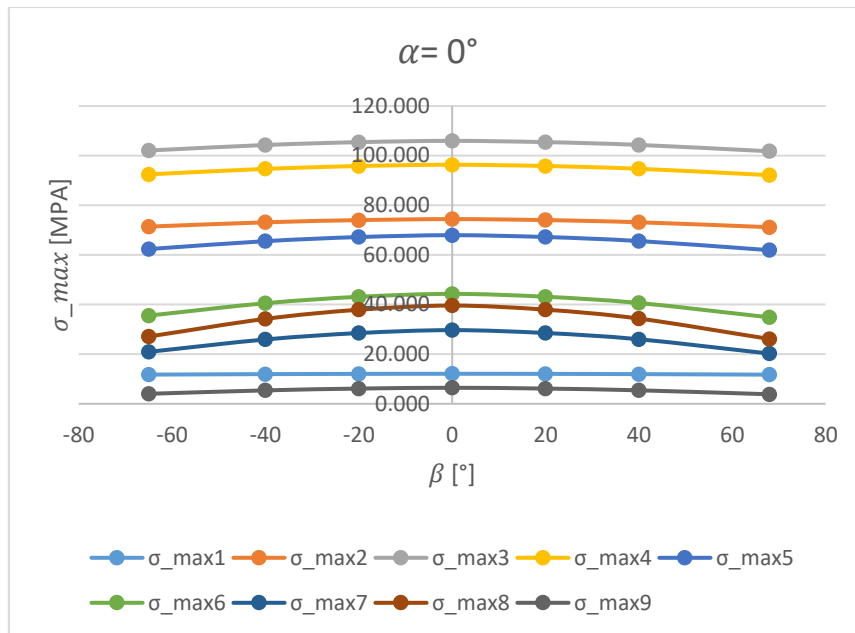
Tabla 4.2 (4): Resultados de esfuerzos axiales

$\alpha$	$\beta$	V1	V2	V3	V4	V5	V6
0	-65	-43871	25703	16725	10552	5682	14367
	-40	-44997	25703	16725	10552	5682	17362
	-20	-45579	25703	16725	10552	5682	18910
	0	-45846	25703	16725	10552	5682	19621
	20	-45583	25703	16725	10552	5682	18922
	40	-45015	25703	16725	10552	5682	17410
	68	-43713	25703	16725	10552	5682	13948

Tabla 4.2 (5): Resultados de esfuerzos cortantes

$\alpha$	$\beta$	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7
0	-65	103535	177194	160487	75191	27442	16162	17821
	-40	106193	181044	164337	79041	31292	20012	22244
	-20	107566	183033	166326	81030	33281	22001	24528
	0	108197	183948	167241	81944	34195	22915	25578
	20	107576	183049	166342	81045	33296	22016	24546
	40	106235	181106	164399	79103	31353	20074	22314
	68	103163	176656	159949	74652	26903	15623	17202

Tabla 4.2 (6): Resultados de momentos flectores



**Grafico 4.2 (2):** Tensiones máximas del brazo telescópico



$\alpha = 25^\circ$

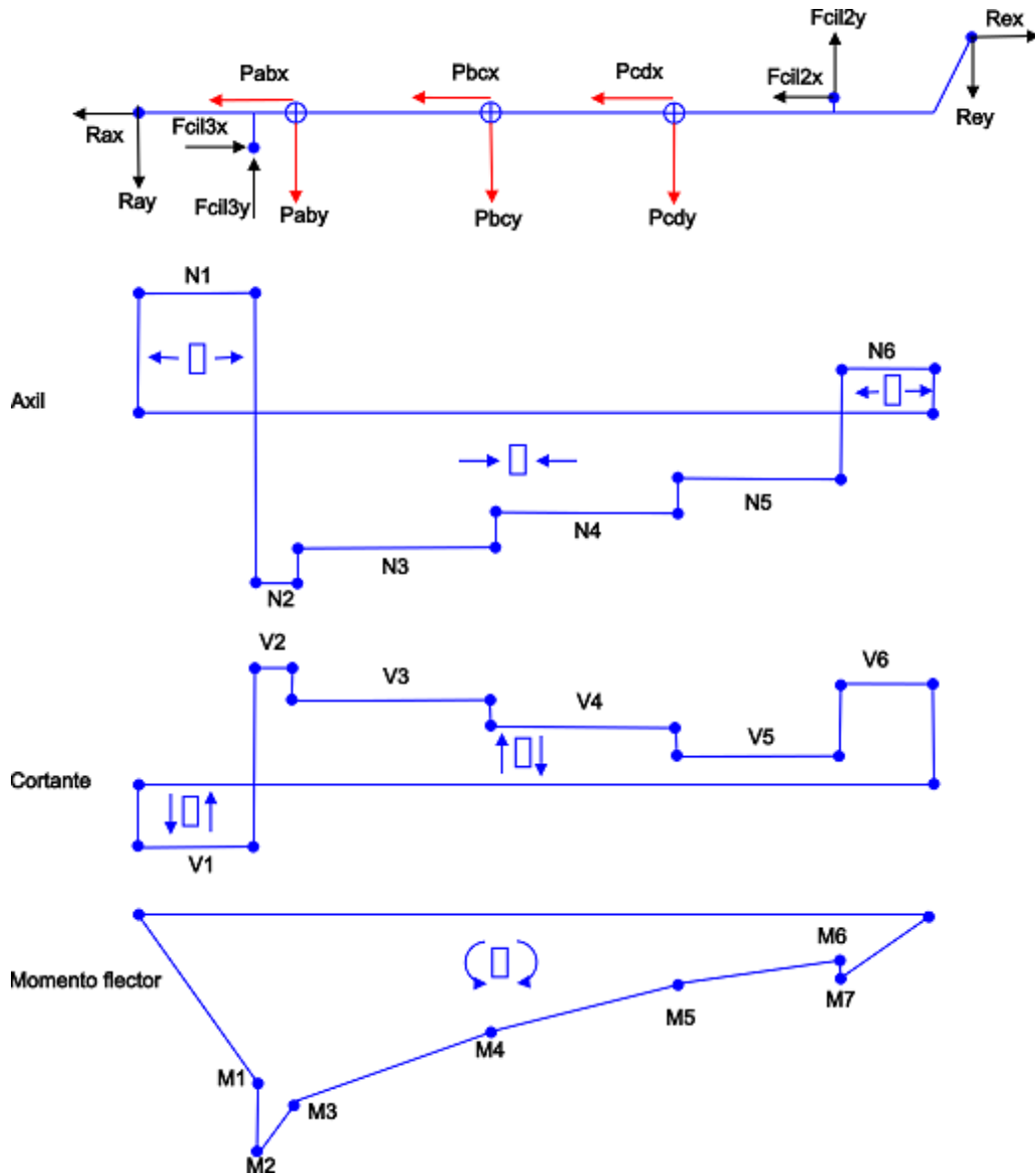


Figura 4.2 (3): Diagramas de esfuerzos del brazo telescópico



Axil:

$$\begin{aligned} N1 &= R_{A,x} \\ N2 &= R_{A,x} - F_{cil3,x} \\ N3 &= R_{A,x} - F_{cil3,x} + P_{AB,x} \\ N4 &= R_{A,x} - F_{cil3,x} + P_{AB,x} + P_{BC,x} \\ N5 &= R_{A,x} - F_{cil3,x} + P_{AB,x} + P_{BC,x} + P_{CD,x} \\ N6 &= R_{E,x} \end{aligned}$$

Cortante

$$\begin{aligned} V1 &= R_{A,y} \\ V2 &= R_{A,y} - F_{cil3,y} \\ V3 &= R_{A,y} - F_{cil3,y} + P_{AB,y} \\ V4 &= R_{A,y} - F_{cil3,y} + P_{AB,y} + P_{BC,y} \\ V5 &= R_{A,y} - F_{cil3,y} + P_{AB,y} + P_{BC,y} + P_{CD,y} \\ V6 &= R_{E,y} \end{aligned}$$

Momento flector

$$\begin{aligned} M1 &= R_{A,y} * 2,36 \\ M2 &= M1 + F_{cil3,x} * 0,344 \\ M3 &= R_{A,y} * 3,01 + F_{cil3,x} * 0,344 - F_{cil3,y} * 0,65 \\ M4 &= R_{A,y} * 8,11 + F_{cil3,x} * 0,344 - F_{cil3,y} * 5,75 + P_{AB,y} * 5,1 \\ M5 &= R_{A,y} * 12,635 + F_{cil3,x} * 0,344 - F_{cil3,y} * 10,275 + P_{AB,y} * 9,625 + P_{BC,y} * 4,525 \\ M6 &= R_{A,y} * 14,62 + F_{cil3,x} * 0,344 - F_{cil3,y} * 12,26 + P_{AB,y} * 11,61 + P_{BC,y} * 6,51 \\ &\quad + P_{CD,y} * 1,985 \\ M7 &= M6 + F_{cil2,x} * 0,033 \end{aligned}$$

Tensiones máximas

$$\begin{aligned} \sigma_{max,1} &= \frac{N1}{A_{AB}} \\ \sigma_{max,2} &= \frac{N1}{A_{AB}} + \frac{M1}{\frac{w_{AB}}{N2}} \\ \sigma_{max,3} &= \frac{N2}{A_{AB}} + \frac{M2}{\frac{w_{AB}}{N3}} \\ \sigma_{max,4} &= \frac{N2}{A_{AB}} + \frac{M3}{\frac{w_{AB}}{N3}} \\ \sigma_{max,5} &= \frac{N3}{A_{AB}} + \frac{M4}{\frac{w_{AB}}{N3}} \\ \sigma_{max,6} &= \frac{N3}{A_{BC}} + \frac{M4}{\frac{w_{BC}}{N4}} \\ \sigma_{max,7} &= \frac{N4}{A_{BC}} + \frac{M4}{\frac{w_{AB}}{N4}} \\ \sigma_{max,8} &= \frac{N4}{A_{CD}} + \frac{M5}{\frac{w_{CD}}{N5}} \\ \sigma_{max,9} &= \frac{N5}{A_{CD}} + \frac{M5}{\frac{w_{CD}}{N5}} \\ \sigma_{max,10} &= \frac{N5}{A_{CD}} + \frac{M6}{\frac{w_{CD}}{N6}} \\ \sigma_{max,11} &= \frac{N6}{A_{CD}} + \frac{M7}{\frac{w_{CD}}{N6}} \\ \sigma_{max,12} &= \frac{N6}{A_{CD}} \end{aligned}$$



$\alpha$	$\beta$	N1	N2	N3	N4	N5	N6
25	-65	171839	-10863	-7068	-4460	-2402	40288
	-40	175095	-10863	-7068	-4460	-2402	55014
	-20	176777	-10863	-7068	-4460	-2402	62620
	0	177550	-10863	-7068	-4460	-2402	66118
	20	176790	-10863	-7068	-4460	-2402	62680
	40	175147	-10863	-7068	-4460	-2402	55249
	68	171384	-10863	-7068	-4460	-2402	38228

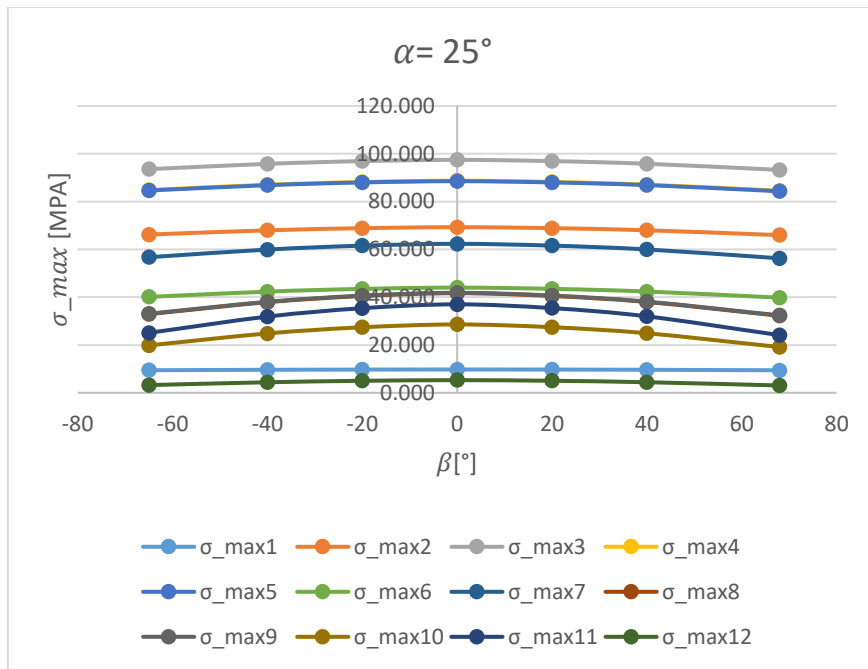
**Tabla 4.2 (7):** Resultados de esfuerzos axiales

$\alpha$	$\beta$	V1	V2	V3	V4	V5	V6
25	-65	-41762	23295	15158	9564	5150	14458
	-40	-42922	23295	15158	9564	5150	17669
	-20	-43521	23295	15158	9564	5150	19327
	0	-43796	23295	15158	9564	5150	20090
	20	-43525	23295	15158	9564	5150	19340
	40	-42940	23295	15158	9564	5150	17720
	68	-41600	23295	15158	9564	5150	14009

**Tabla 4.2 (8):** Resultados de esfuerzos cortantes

$\alpha$	$\beta$	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7
25	-65	98559	161408	146267	68962	25687	15464	16872
	-40	101295	165265	150123	72819	29543	19320	21215
	-20	102709	167257	152115	74810	31535	21312	23458
	0	103359	168173	153031	75726	32451	22228	24489
	20	102720	167272	152131	74826	31551	21328	23475
	40	101339	165326	150185	72880	29605	19382	21284
	68	98176	160869	145727	68423	25147	14924	16265

**Tabla 4.2 (9):** Resultados de momentos flectores



**Grafico 4.2 (3):** Tensiones máximas del brazo telescópico



$\alpha = 50^\circ$

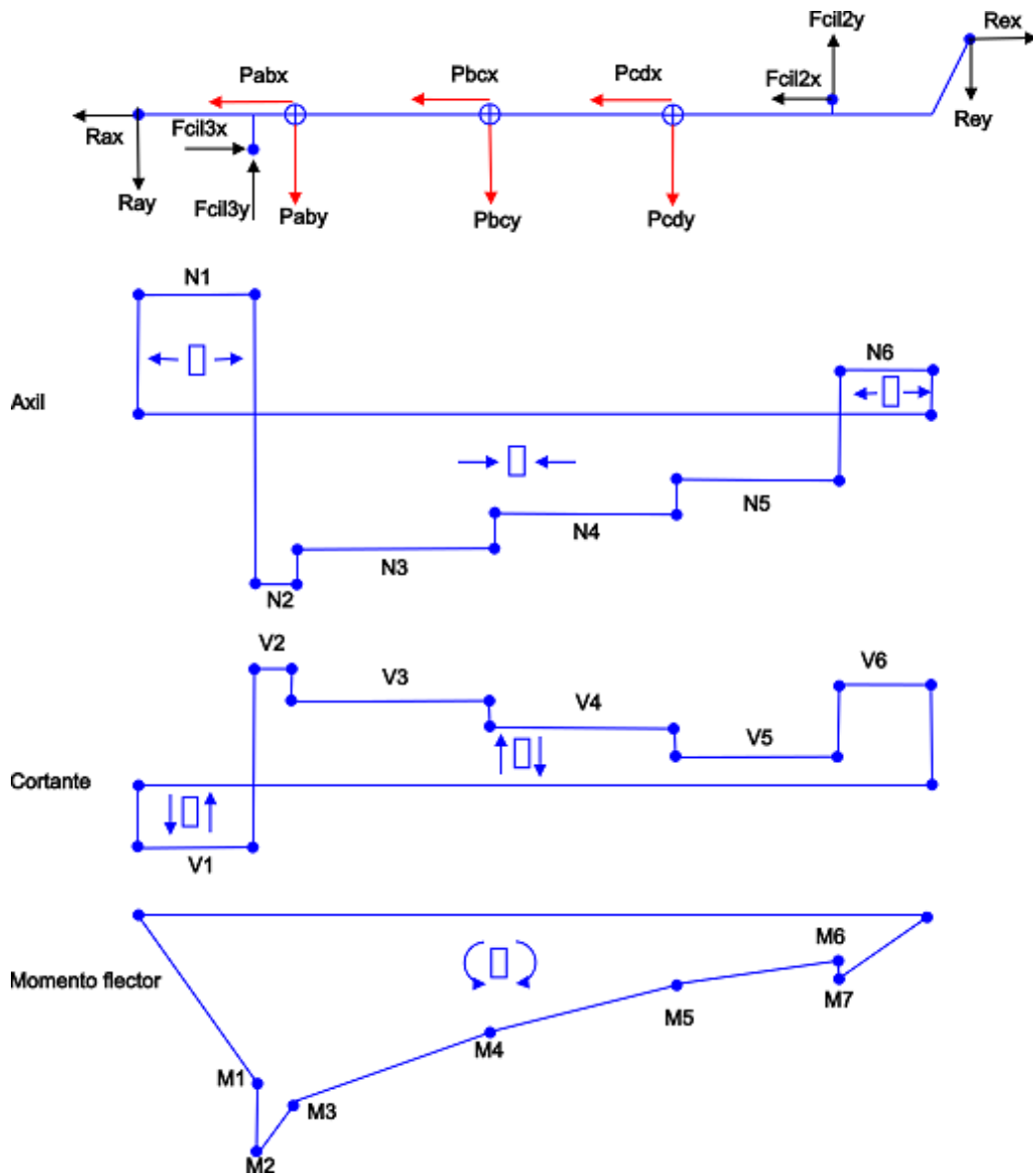


Figura 4.2 (4): Diagramas de esfuerzos del brazo telescópico



Axil:

$$\begin{aligned} N1 &= R_{A,x} \\ N2 &= R_{A,x} - F_{cil3,x} \\ N3 &= R_{A,x} - F_{cil3,x} + P_{AB,x} \\ N4 &= R_{A,x} - F_{cil3,x} + P_{AB,x} + P_{BC,x} \\ N5 &= R_{A,x} - F_{cil3,x} + P_{AB,x} + P_{BC,x} + P_{CD,x} \\ N6 &= R_{E,x} \end{aligned}$$

Cortante

$$\begin{aligned} V1 &= R_{A,y} \\ V2 &= R_{A,y} - F_{cil3,y} \\ V3 &= R_{A,y} - F_{cil3,y} + P_{AB,y} \\ V4 &= R_{A,y} - F_{cil3,y} + P_{AB,y} + P_{BC,y} \\ V5 &= R_{A,y} - F_{cil3,y} + P_{AB,y} + P_{BC,y} + P_{CD,y} \\ V6 &= R_{E,y} \end{aligned}$$

Momento flector

$$\begin{aligned} M1 &= R_{A,y} * 2,36 \\ M2 &= M1 + F_{cil3,x} * 0,344 \\ M3 &= R_{A,y} * 3,01 + F_{cil3,x} * 0,344 - F_{cil3,y} * 0,65 \\ M4 &= R_{A,y} * 8,11 + F_{cil3,x} * 0,344 - F_{cil3,y} * 5,75 + P_{AB,y} * 5,1 \\ M5 &= R_{A,y} * 12,635 + F_{cil3,x} * 0,344 - F_{cil3,y} * 10,275 + P_{AB,y} * 9,625 + P_{BC,y} * 4,525 \\ M6 &= R_{A,y} * 14,62 + F_{cil3,x} * 0,344 - F_{cil3,y} * 12,26 + P_{AB,y} * 11,61 + P_{BC,y} * 6,51 \\ &\quad + P_{CD,y} * 1,985 \\ M7 &= M6 + F_{cil2,x} * 0,033 \end{aligned}$$

Tensiones máximas

$$\begin{aligned} \sigma_{max,1} &= \frac{N1}{A_{AB}} \\ \sigma_{max,2} &= \frac{N1}{A_{AB}} + \frac{M1}{\frac{w_{AB}}{N2}} \\ \sigma_{max,3} &= \frac{N2}{A_{AB}} + \frac{w_{AB}}{M3} \\ \sigma_{max,4} &= \frac{N3}{A_{AB}} + \frac{w_{AB}}{M3} \\ \sigma_{max,5} &= \frac{N3}{A_{AB}} + \frac{w_{AB}}{M4} \\ \sigma_{max,6} &= \frac{N3}{A_{BC}} + \frac{w_{AB}}{w_{BC}} \\ \sigma_{max,7} &= \frac{N4}{A_{BC}} + \frac{w_{AB}}{M5} \\ \sigma_{max,8} &= \frac{N4}{A_{CD}} + \frac{w_{CD}}{M5} \\ \sigma_{max,9} &= \frac{N5}{A_{CD}} + \frac{w_{CD}}{M6} \\ \sigma_{max,10} &= \frac{N5}{A_{CD}} + \frac{w_{CD}}{M7} \\ \sigma_{max,11} &= \frac{N6}{A_{CD}} + \frac{w_{CD}}{w_{CD}} \\ \sigma_{max,12} &= \frac{N6}{A_{CD}} \end{aligned}$$





$\alpha$	$\beta$	N1	N2	N3	N4	N5	N6
50	-65	132287	-19690	-12812	-8084	-4353	39280
	-40	136045	-19690	-12812	-8084	-4353	54332
	-20	137986	-19690	-12812	-8084	-4353	62106
	0	138878	-19690	-12812	-8084	-4353	65681
	20	138001	-19690	-12812	-8084	-4353	62167
	40	136105	-19690	-12812	-8084	-4353	54572
	68	131762	-19690	-12812	-8084	-4353	37175

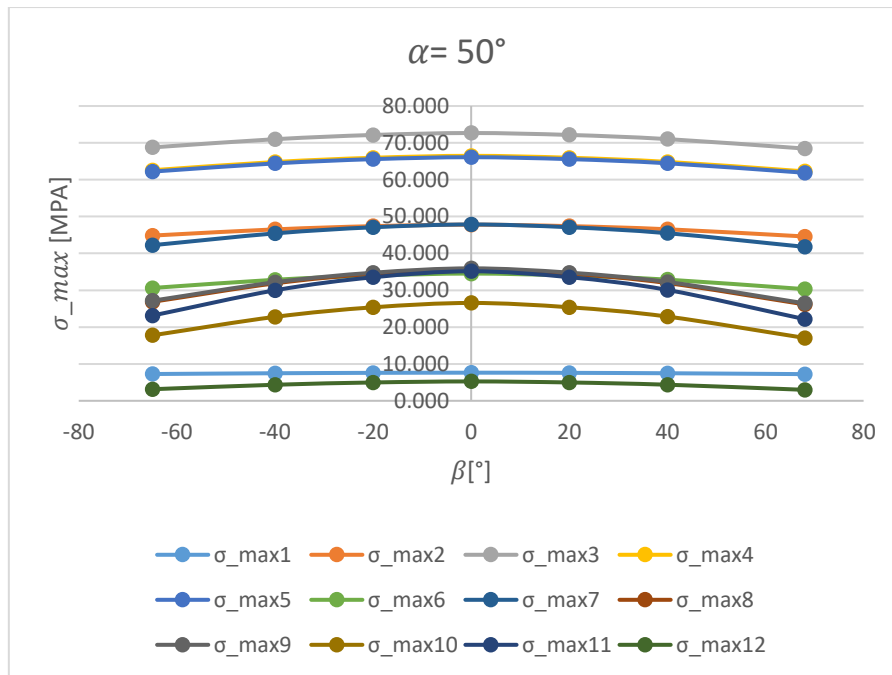
**Tabla 4.2 (10):** Resultados de esfuerzos axiales

$\alpha$	$\beta$	V1	V2	V3	V4	V5	V6
50	-65	-27632	16521	10750	6783	3653	12927
	-40	-28724	16521	10750	6783	3653	16126
	-20	-29287	16521	10750	6783	3653	17779
	0	-29547	16521	10750	6783	3653	18539
	20	-29292	16521	10750	6783	3653	17792
	40	-28741	16521	10750	6783	3653	16178
	68	-27479	16521	10750	6783	3653	12480

**Tabla 4.2 (11):** Resultados de esfuerzos cortantes

$\alpha$	$\beta$	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7
50	-65	65211	117491	106752	51925	21232	13982	15422
	-40	67788	121360	110621	55794	25101	17851	19787
	-20	69118	123359	112620	57792	27100	19849	22042
	0	69730	124278	113539	58711	28019	20768	23079
	20	69129	123374	112635	57808	27115	19865	22060
	40	67829	121422	110683	55856	25163	17913	19857
	68	64851	116950	106211	51384	20691	13441	14811

**Tabla 4.2 (12):** Resultados de momentos flectores



**Grafico 4.2 (4):** Tensiones máximas del brazo telescópico



$\alpha = 75^\circ$

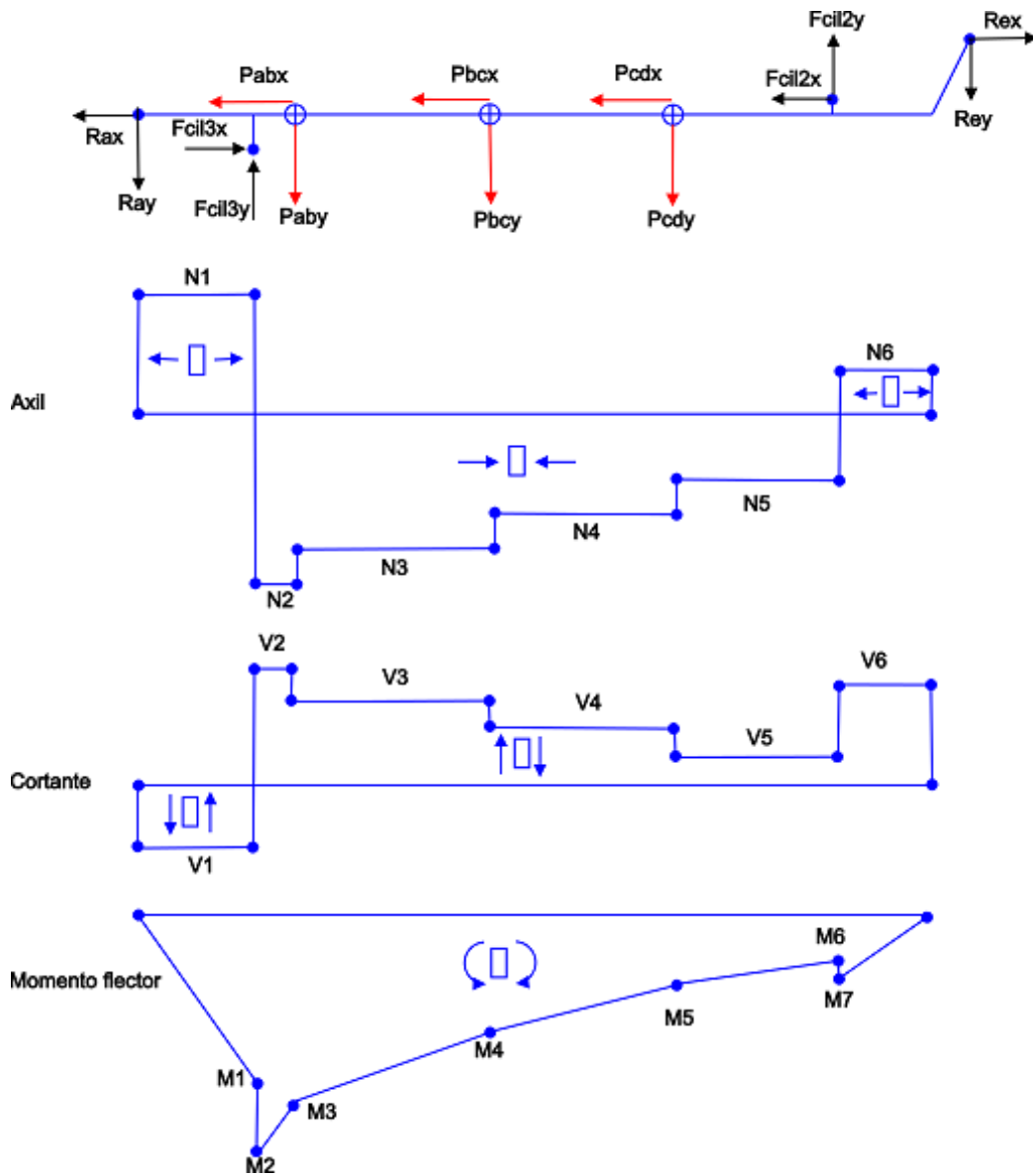


Figura 4.2 (5): Diagramas de esfuerzos del brazo telescópico



Axil:

$$\begin{aligned} N1 &= R_{A,x} \\ N2 &= R_{A,x} - F_{cil3,x} \\ N3 &= R_{A,x} - F_{cil3,x} + P_{AB,x} \\ N4 &= R_{A,x} - F_{cil3,x} + P_{AB,x} + P_{BC,x} \\ N5 &= R_{A,x} - F_{cil3,x} + P_{AB,x} + P_{BC,x} + P_{CD,x} \\ N6 &= R_{E,x} \end{aligned}$$

Cortante

$$\begin{aligned} V1 &= R_{A,y} \\ V2 &= R_{A,y} - F_{cil3,y} \\ V3 &= R_{A,y} - F_{cil3,y} + P_{AB,y} \\ V4 &= R_{A,y} - F_{cil3,y} + P_{AB,y} + P_{BC,y} \\ V5 &= R_{A,y} - F_{cil3,y} + P_{AB,y} + P_{BC,y} + P_{CD,y} \\ V6 &= R_{E,y} \end{aligned}$$

Momento flector

$$\begin{aligned} M1 &= R_{A,y} * 2,36 \\ M2 &= M1 + F_{cil3,x} * 0,344 \\ M3 &= R_{A,y} * 3,01 + F_{cil3,x} * 0,344 - F_{cil3,y} * 0,65 \\ M4 &= R_{A,y} * 8,11 + F_{cil3,x} * 0,344 - F_{cil3,y} * 5,75 + P_{AB,y} * 5,1 \\ M5 &= R_{A,y} * 12,635 + F_{cil3,x} * 0,344 - F_{cil3,y} * 10,275 + P_{AB,y} * 9,625 + P_{BC,y} * 4,525 \\ M6 &= R_{A,y} * 14,62 + F_{cil3,x} * 0,344 - F_{cil3,y} * 12,26 + P_{AB,y} * 11,61 + P_{BC,y} * 6,51 \\ &\quad + P_{CD,y} * 1,985 \\ M7 &= M6 + F_{cil2,x} * 0,033 \end{aligned}$$

Tensiones máximas

$$\begin{aligned} \sigma_{max,1} &= \frac{N1}{A_{AB}} \\ \sigma_{max,2} &= \frac{N1}{A_{AB}} + \frac{M1}{\frac{w_{AB}}{N2}} \\ \sigma_{max,3} &= \frac{N2}{A_{AB}} + \frac{w_{AB}}{M3} \\ \sigma_{max,4} &= \frac{N3}{A_{AB}} + \frac{w_{AB}}{M3} \\ \sigma_{max,5} &= \frac{N3}{A_{AB}} + \frac{w_{AB}}{M4} \\ \sigma_{max,6} &= \frac{N3}{A_{BC}} + \frac{w_{AB}}{w_{BC}} \\ \sigma_{max,7} &= \frac{N4}{A_{BC}} + \frac{w_{AB}}{M5} \\ \sigma_{max,8} &= \frac{N4}{A_{CD}} + \frac{w_{CD}}{M5} \\ \sigma_{max,9} &= \frac{N5}{A_{CD}} + \frac{w_{CD}}{M6} \\ \sigma_{max,10} &= \frac{N5}{A_{CD}} + \frac{w_{CD}}{M7} \\ \sigma_{max,11} &= \frac{N6}{A_{CD}} + \frac{w_{CD}}{w_{CD}} \\ \sigma_{max,12} &= \frac{N6}{A_{CD}} \end{aligned}$$



$\alpha$	$\beta$	N1	N2	N3	N4	N5	N6
75	-65	64810	-24827	-16155	-10193	-5489	54626
	-40	69797	-24827	-16155	-10193	-5489	75364
	-20	72373	-24827	-16155	-10193	-5489	86075
	0	73557	-24827	-16155	-10193	-5489	91001
	20	72393	-24827	-16155	-10193	-5489	86159
	40	69877	-24827	-16155	-10193	-5489	75695
	68	64113	-24827	-16155	-10193	-5489	51726

**Tabla 4.2 (13):** Resultados de esfuerzos axiales

$\alpha$	$\beta$	V1	V2	V3	V4	V5	V6
75	-65	-9637	6652	4329	2731	1471	9385
	-40	-10544	6652	4329	2731	1471	12115
	-20	-11012	6652	4329	2731	1471	13525
	0	-11227	6652	4329	2731	1471	14174
	20	-11015	6652	4329	2731	1471	13536
	40	-10558	6652	4329	2731	1471	12159
	68	-9511	6652	4329	2731	1471	9003

**Tabla 4.2 (14):** Resultados de esfuerzos cortantes

$\alpha$	$\beta$	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7
75	-65	22744	53580	49256	27179	14821	11902	13885
	-40	24883	57434	53110	31034	18675	15756	18424
	-20	25988	59425	55100	33024	20666	17746	20768
	0	26496	60340	56016	33940	21581	18662	21846
	20	25997	59440	55116	33040	20681	17762	20786
	40	24917	57495	53171	31095	18737	15817	18496
	68	22445	53041	48717	26640	14282	11362	13251

**Tabla 4.2 (15):** Resultados de momentos flectores

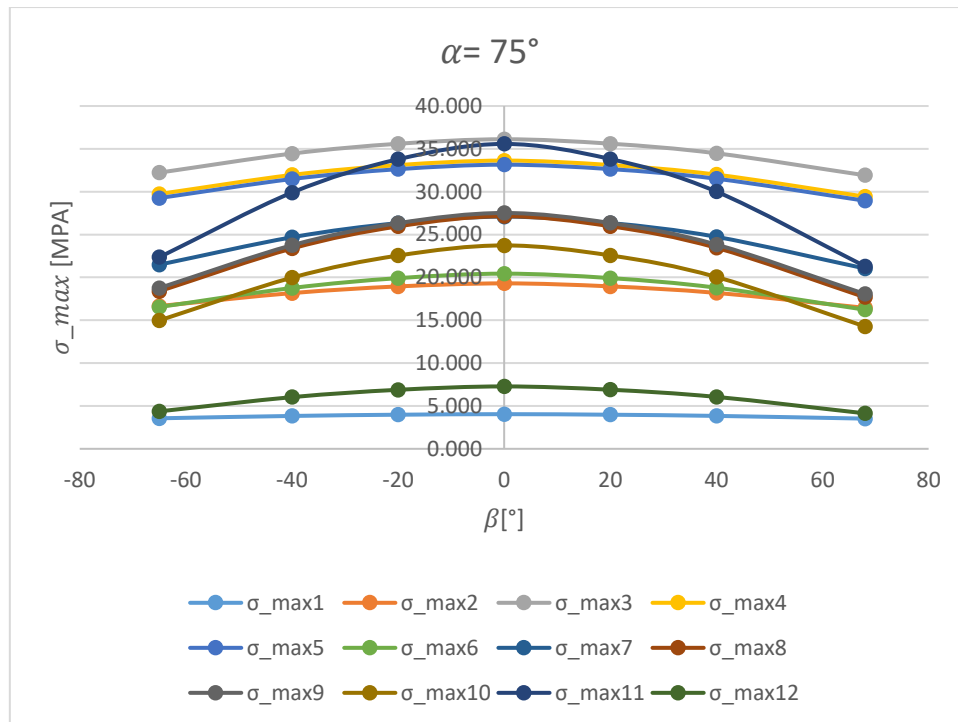


Grafico 4.2 (5): Tensiones máximas del brazo telescópico

## 5. Perfil interior del brazo telescópico

### 5.1 Perfil BCD

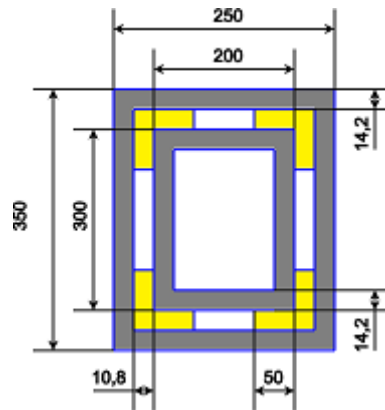


Figura 5.1 (1): Sección de perfil BCD

$$b = 50 \text{ mm}$$

$$l = 600 \text{ mm}$$

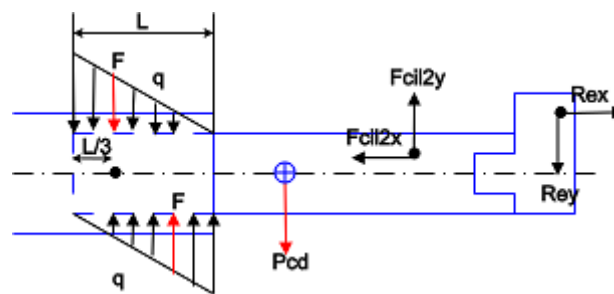


Figura 5.1 (2): DSL del perfil BCD

$$\sigma_1 = \frac{V}{2 * b * L} = \sigma_1 = \frac{10552,313}{2 * 50 * 600} = 0,176 \text{ MPa}$$

$$R_{E,x} = -80696,614 \text{ N}$$

$$R_{E,y} = 19621,208 \text{ N}$$

$$F_{cil2,x} = 80696,614 \text{ N}$$

$$F_{cil2,y} = 13938,726 \text{ N}$$

$$M = R_{E,x} * 103 + R_{E,y} * (4790 + 400) + P_{CD} * 2325 - F_{cil2,x} * 0,033 - F_{cil2,y} * 4310$$

$$= 61389606,137 \text{ Nmm}$$

$$\sigma_2 = \frac{3 * M}{b * L^2} = \frac{3 * 61389606,137}{50 * 600^2} = 10,232 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{max} = \sigma_1 + \sigma_2 = 0,176 + 10,232 = 10,408 \text{ MPa}$$



5.2 Perfil ABC

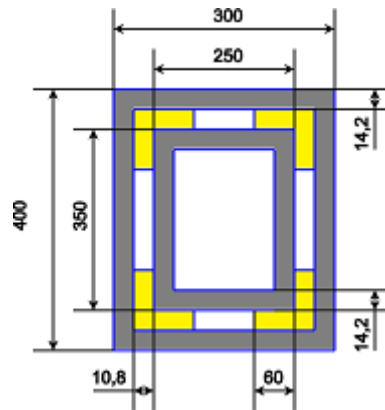


Figura 5.2 (1): Sección de perfil ABC

$$b = 60 \text{ mm}$$

$$l = 700 \text{ mm}$$

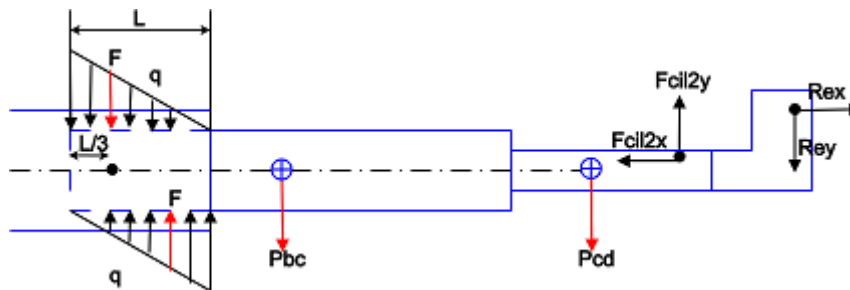


Figura 5.2 (2): DSL del perfil ABC

$$\sigma_1 = \frac{V}{2 * b * L} = \sigma_1 = \frac{16724,765}{2 * 60 * 700} = 0,2 \text{ MPa}$$

$$R_{E,x} = -80696,614 \text{ N}$$

$$R_{E,y} = 19621,208 \text{ N}$$

$$F_{cil2,x} = 80696,614 \text{ N}$$

$$F_{cil2,y} = 13938,726 \text{ N}$$

$$P_{CD} = 4869,831 \text{ N}$$

$$P_{BC} = 6172,452 \text{ N}$$





$$M = R_{E,x} * 103 + R_{E,y} * \left(9990 - \frac{700}{3}\right) + P_{CD} * \left(7125 - \frac{700}{3}\right) + P_{BC} * \left(2600 - \frac{700}{3}\right) - F_{cil2,x} * 0,033 - F_{cil2,y} * \left(9110 - \frac{700}{3}\right) = 121526314,982 \text{ Nmm}$$

$$\sigma_2 = \frac{3 * M}{b * L^2} = \frac{3 * 121526314,982}{60 * 700^2} = 12,4 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{max} = \sigma_1 + \sigma_2 = 0,176 + 10,232 = 12,6 \text{ MPa}$$

6. Cálculo de cilindro hidráulico

6.1 Cilindro 1

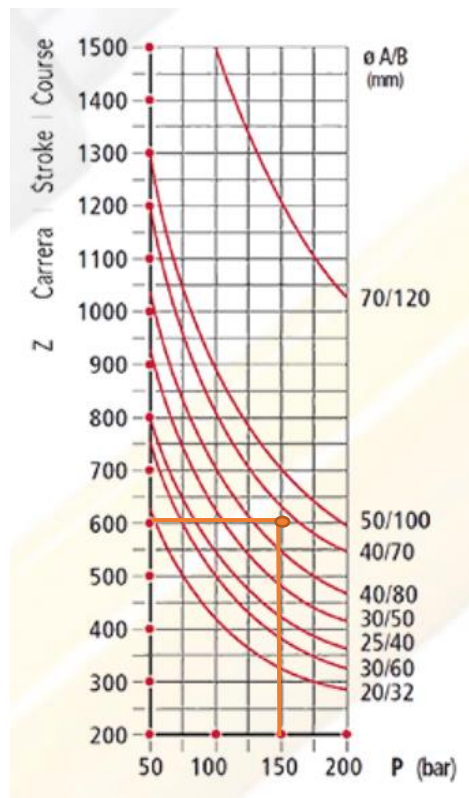
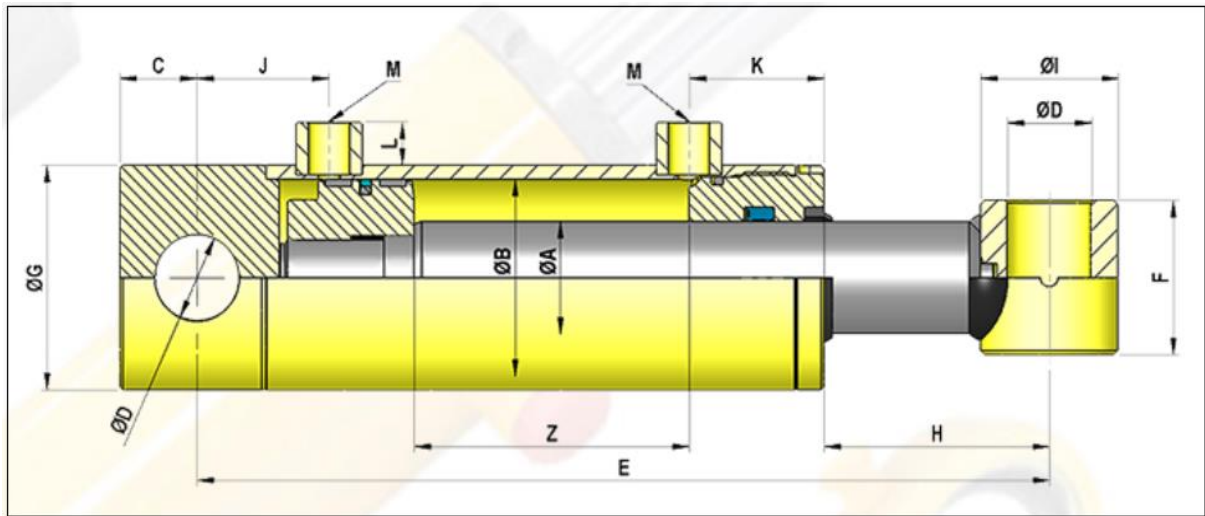


Figura 5.1 (1)

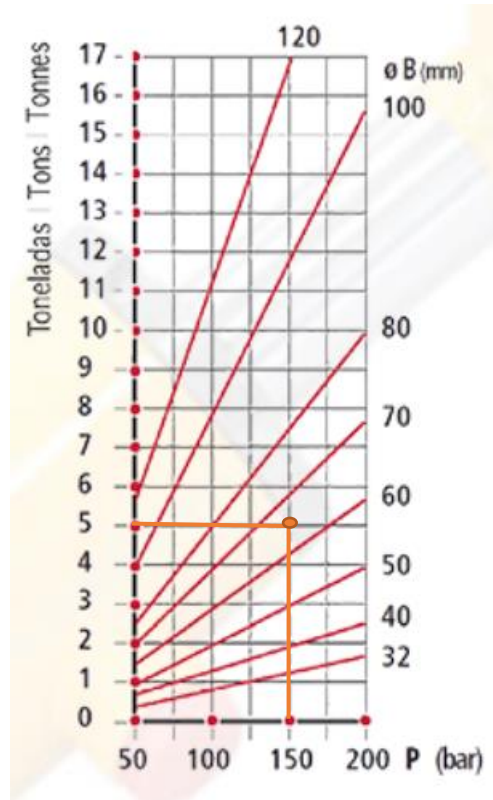
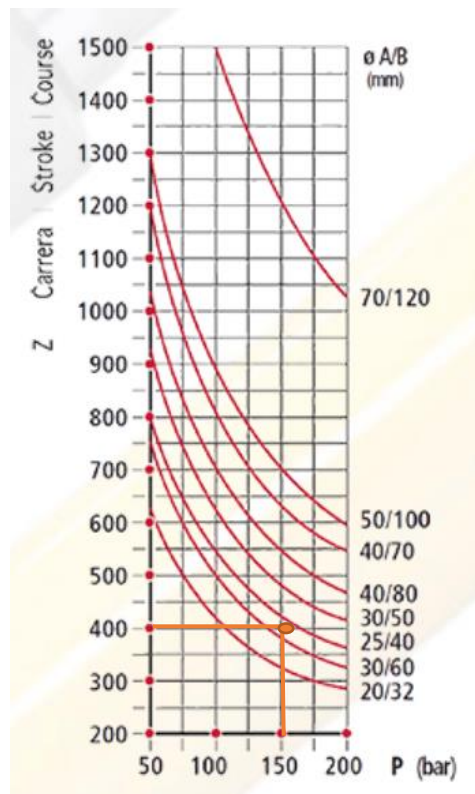
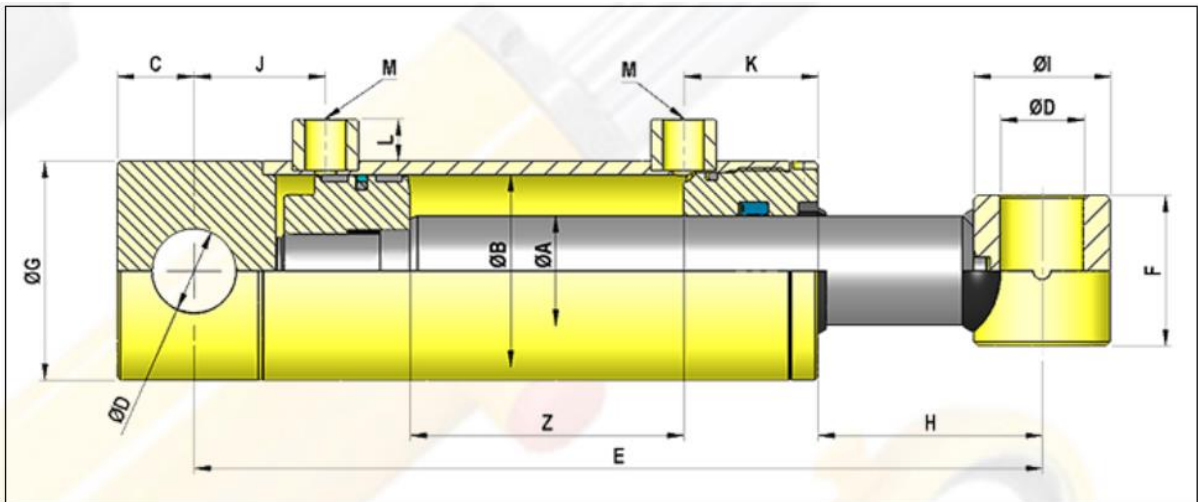
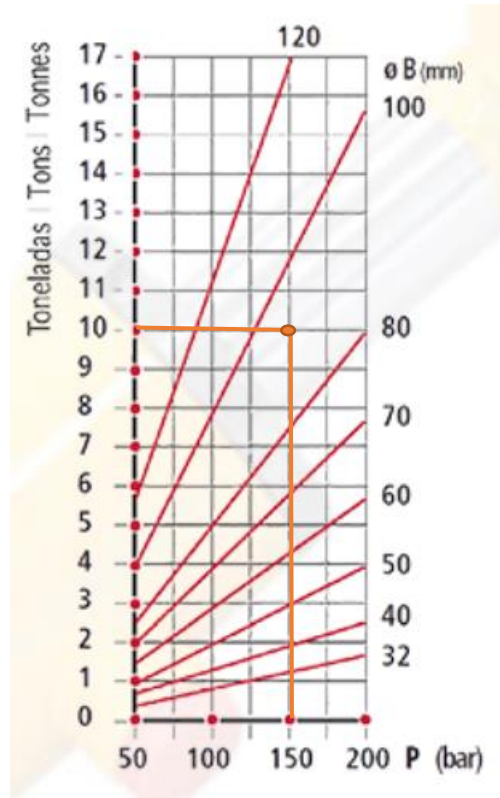


Figura 7.1 (3)

REF	ØA	ØB	Z-Carrera	E	C	D	F	G	H	I	J	K	L	M BSP	Vol(L)	Juntas	Peso(kg)
704/100	40	70	100	310	28	30.5	55	80	82	50	48	49	15	3/8	0.39	J74N	8.4
704/2	40	70	200	410	28	30.5	55	80	82	50	48	49	15	3/8	0.77	J74N	10.0
704/250	40	70	250	460	28	30.5	55	80	82	50	48	49	15	3/8	0.96	J74N	11.2
704/3	40	70	300	510	28	30.5	55	80	82	50	48	49	15	3/8	1.15	J74N	11.9
704/350	40	70	350	560	28	30.5	55	80	82	50	48	49	15	3/8	1.35	J74N	12.9
704/4	40	70	400	610	28	30.5	55	80	82	50	48	49	15	3/8	1.54	J74N	13.7
704/450	40	70	450	660	28	30.5	55	80	82	50	48	49	15	3/8	1.73	J74N	15
704/5	40	70	500	710	28	30.5	55	80	82	50	48	49	15	3/8	1.92	J74N	15.6
704/550	40	70	550	760	28	30.5	55	80	82	50	48	49	15	3/8	2.12	J74N	16.9
704/6	40	70	600	810	28	30.5	55	80	82	50	48	49	15	3/8	2.31	J74N	17.5
704/7	40	70	700	910	28	30.5	55	80	82	50	48	49	15	3/8	2.69	J74N	19.4
704/800	40	70	800	1010	28	30.5	55	80	82	50	48	49	15	3/8	3.08	J74N	21.5
704/900	40	70	900	1110	28	30.5	55	80	82	50	48	49	15	3/8	3.46	J74N	23.6
704/1000	40	70	1000	1210	28	30.5	55	80	82	50	48	49	15	3/8	3.85	J74N	25.3

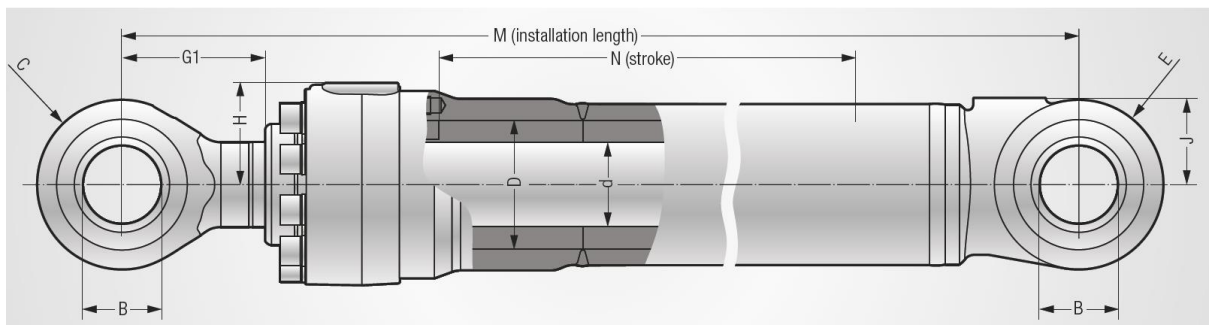
6.2 Cilindro 2

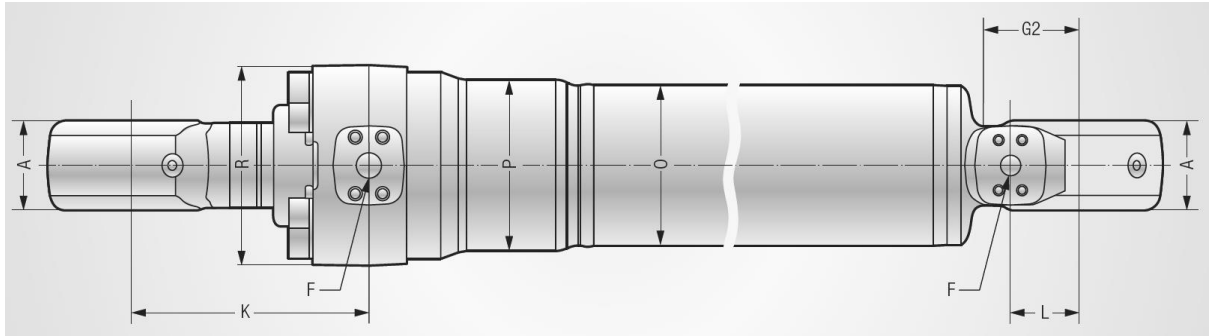




REF	ØA	ØB	Z-Carrera	E	C	D	F	G	H	I	J	K	L	M BSP	Vol(L)	Juntas	Peso(kg)
706/100	50	100	100	325	28	30.5	70	115	75	60	48	60	17	1/2	0.79	J76N	18.4
706/200	50	100	200	425	28	30.5	70	115	75	60	48	60	17	1/2	1.57	J76N	21.8
706/3	50	100	300	525	28	30.5	70	115	75	60	48	60	17	1/2	2.36	J76N	25.6
706/4	50	100	400	625	28	30.5	70	115	75	60	48	60	17	1/2	3.14	J76N	28.5
706/5	50	100	500	725	28	30.5	70	115	75	60	48	60	17	1/2	3.93	J76N	31.4
706/600	50	100	600	825	28	30.5	70	115	75	60	48	60	17	1/2	4.71	J76N	35.9
706/7	50	100	700	925	28	30.5	70	115	75	60	48	60	17	1/2	5.50	J76N	37.2
706/800	50	100	800	1025	28	30.5	70	115	75	60	48	60	17	1/2	6.28	J76N	42.9
706/9	50	100	900	1125	28	30.5	70	115	75	60	48	60	17	1/2	7.07	J76N	43.0
706/1000	50	100	1000	1225	28	30.5	70	115	75	60	48	60	17	1/2	7.86	J76N	50.0

### 6.3 Cilindro 3

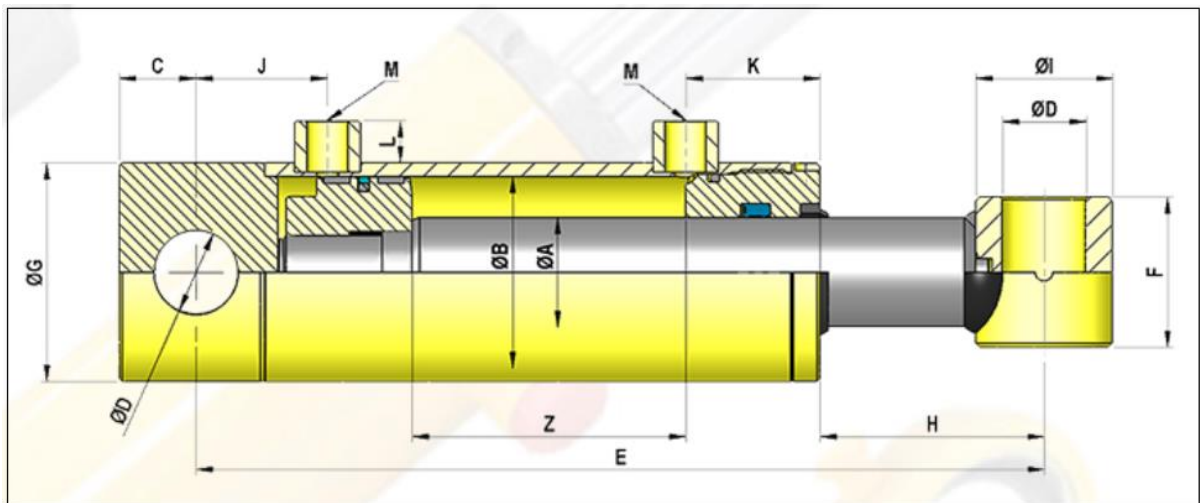




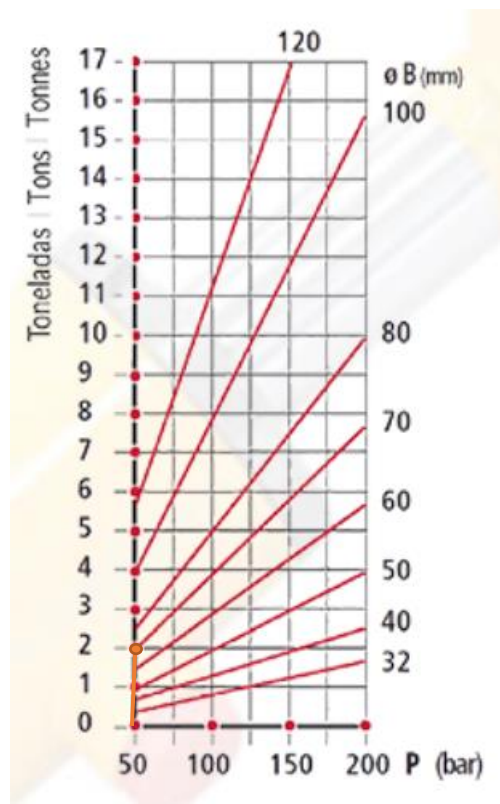
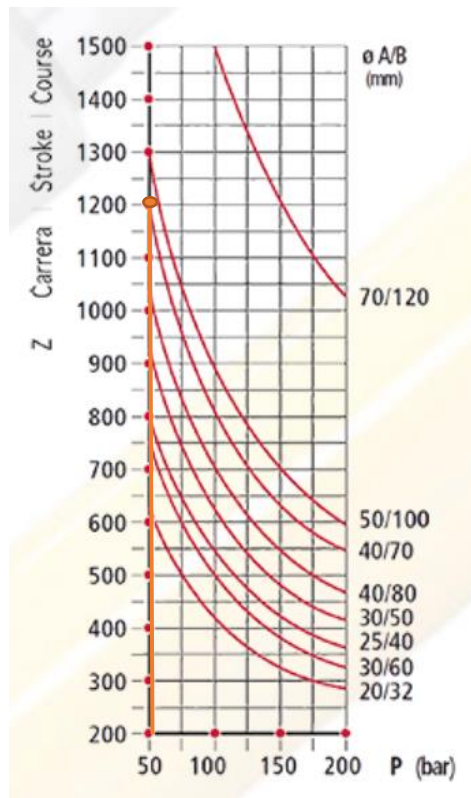
Piston	rod-Ø	Width*	Bolt-Ø*	Radius rod head	Radius bot- tom head	SAE interface**	Clearance	Height SAE interface head	Distance rod head - SAE interface (retracted)		
D	d	A	B	C	E	F	G1	G2	H	J	K
100	65	90	70	72	72	3/4"	130	87	88	73	215
100	70	90	70	72	72	3/4"	115	87	88	73	200
105	70	90	70	72	72	3/4"	115	87	88	73	200
105	75	90	70	72	72	3/4"	114	87	88	73	199
110	70	90	70	72	72	3/4"	115	87	88	73	200
110	75	90	70	72	72	3/4"	114	87	88	73	199
115	75	90	80	85	80	3/4"	136	89	92	81	231
115	80	90	80	85	80	3/4"	136	89	92	81	231
120	80	90	80	85	80	3/4"	136	89	95	81	233
120	85	90	80	85	80	3/4"	129	89	95	81	226
125	80	90	80	85	78	3/4"	136	85	95	85	233
125	85	90	80	85	78	3/4"	129	85	95	85	226
130	85	90	90	97	86	1"	152	108	106	90	249
130	90	90	90	97	86	1"	152	108	106	90	249

Distance bot- tom head - SAE interface	Minimal installation length***	Min. stro- ke	Max. stro- ke****	Tube- Ø	Flange ring-Ø	Bearing head-Ø	Area ratio	Piston area	Annular area	Force at 380 bar	Volume flow at 0.1m/s		
L	M <sub>min.</sub>	N <sub>min.</sub>	N <sub>max.</sub>	O	P	R	A <sub>DA</sub> Annular	A <sub>D</sub> cm <sup>2</sup>	A <sub>Annular</sub> cm <sup>2</sup>	Compression kN	Tension kN	Extend l/min	Retract l/min
60	800	310	2300	126	132	175	1,73	45,36	45,36	172,36	161,16	27,21	27,21
60	800	310	2300	126	132	175	1,96	78,54	40,06	298,45	152,21	47,12	24,03
60	800	310	2300	132	139	175	1,80	86,59	48,11	329,04	182,80	51,95	28,86
60	800	310	2300	132	139	175	2,04	86,59	42,41	329,04	161,16	25,45	25,45
60	800	315	2300	138	145	175	1,68	95,03	56,55	361,13	214,88	57,02	33,93
60	800	315	2300	138	145	175	1,87	95,03	50,85	361,13	193,25	30,51	30,51
68	840	315	2300	144	153	180	1,74	103,87	59,69	394,70	226,82	62,32	35,81
68	840	315	2300	144	153	180	1,94	103,87	53,60	394,70	203,69	32,16	32,16
68	840	315	2300	150	160	190	1,80	113,10	62,83	429,77	238,76	67,86	37,70
68	840	315	2300	150	160	190	2,01	113,10	56,35	429,77	214,14	33,81	33,81
68	840	315	2300	157	166	190	1,69	122,72	72,45	466,33	275,32	73,63	43,47
68	840	315	2300	157	166	190	1,86	122,72	65,97	466,33	250,70	39,58	39,58
76	880	315	2300	162	173	211	1,75	132,73	75,99	504,38	288,75	79,64	45,59
76	880	315	2300	162	173	211	1,92	132,73	69,12	504,38	262,64	41,47	41,47

### 6.4 Cilindro 4



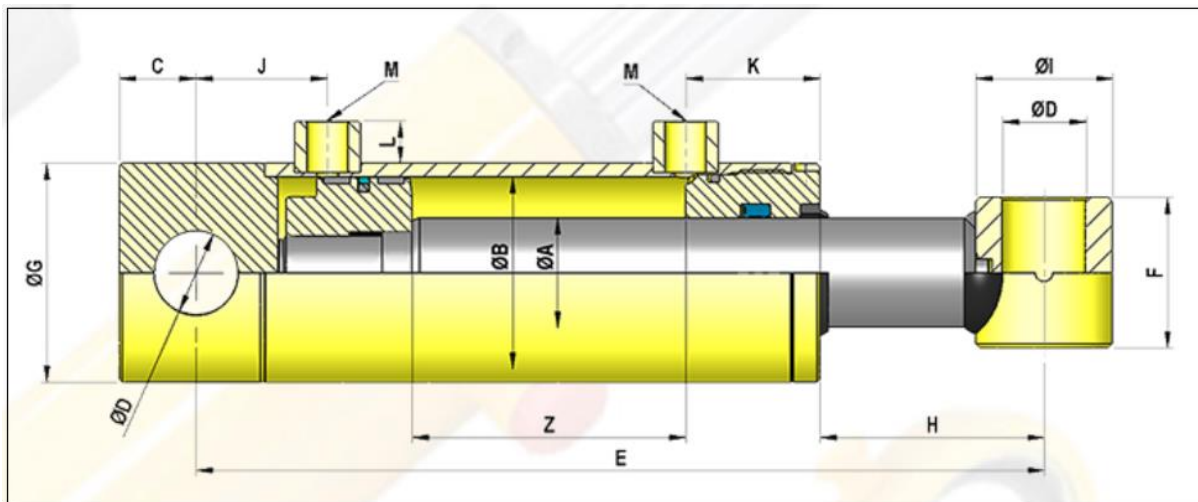




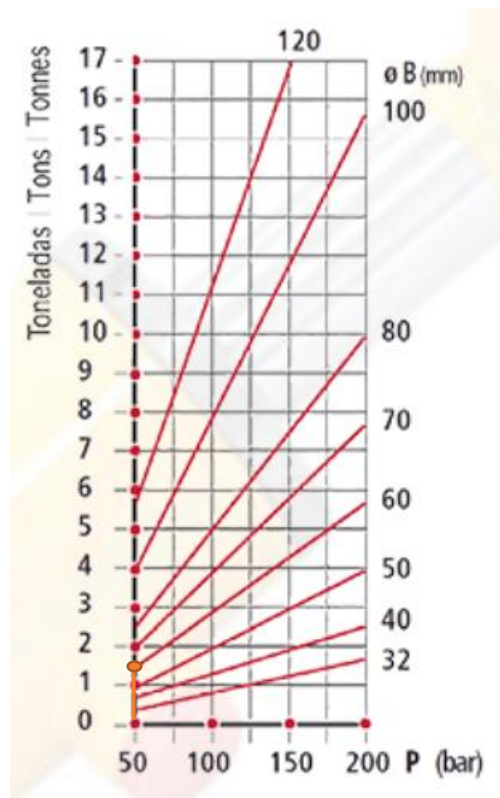
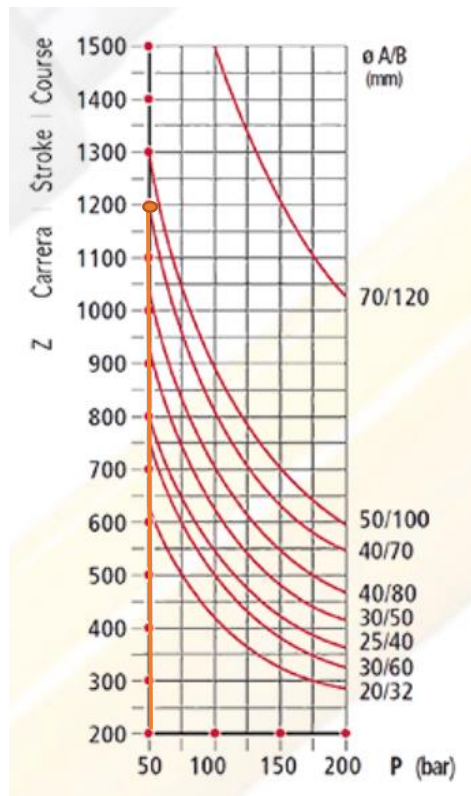


CODE	ØA	ØB	Z-Stroke	E	C	D	F	G	H	I	J	K	L	M BSP	Vol(L)	Seals	Weight(kg)	
704/100	40	70	100	310	28	30.5	55	80	82	50	48	49	15	3/8	0.39	J74N	8.4	↓
704/2	40	70	200	410	28	30.5	55	80	82	50	48	49	15	3/8	0.77	J74N	10.0	↓
704/250	40	70	250	460	28	30.5	55	80	82	50	48	49	15	3/8	0.96	J74N	11.2	↓
704/3	40	70	300	510	28	30.5	55	80	82	50	48	49	15	3/8	1.15	J74N	11.9	↓
704/350	40	70	350	560	28	30.5	55	80	82	50	48	49	15	3/8	1.35	J74N	12.9	↓
704/4	40	70	400	610	28	30.5	55	80	82	50	48	49	15	3/8	1.54	J74N	13.7	↓
704/450	40	70	450	660	28	30.5	55	80	82	50	48	49	15	3/8	1.73	J74N	15	↓
704/5	40	70	500	710	28	30.5	55	80	82	50	48	49	15	3/8	1.92	J74N	15.6	↓
704/550	40	70	550	760	28	30.5	55	80	82	50	48	49	15	3/8	2.12	J74N	16.9	↓
704/6	40	70	600	810	28	30.5	55	80	82	50	48	49	15	3/8	2.31	J74N	17.5	↓
704/7	40	70	700	910	28	30.5	55	80	82	50	48	49	15	3/8	2.69	J74N	19.4	↓
704/800	40	70	800	1010	28	30.5	55	80	82	50	48	49	15	3/8	3.08	J74N	21.5	↓
704/900	40	70	900	1110	28	30.5	55	80	82	50	48	49	15	3/8	3.46	J74N	23.6	↓
704/1000	40	70	1000	1210	28	30.5	55	80	82	50	48	49	15	3/8	3.85	J74N	25.3	↓
704/1100	40	70	1100	1310	28	30.5	55	80	82	50	48	49	15	3/8	4.23	J74N	27.4	↓
704/1200	40	70	1200	1410	28	30.5	55	80	82	50	48	49	15	3/8	4.62	J74N	29.3	↓
704/1300	40	70	1300	1510	28	30.5	55	80	82	50	48	49	15	3/8	5.00	J74N	31.2	↓
704/1400	40	70	1400	1610	28	30.5	55	80	82	50	48	49	15	3/8	5.39	J74N	33.1	↓
704/1500	40	70	1500	1710	28	30.5	55	80	82	50	48	49	15	3/8	5.77	J74N	35.0	↓

### 6.5 Cilindro 5







CODE	ØA	ØB	Z-Stroke	E	C	D	F	G	H	I	J	K	L	M BSP	Vol(L)	Seals	Weight(kg)
704/100	40	70	100	310	28	30.5	55	80	82	50	48	49	15	3/8	0.39	J74N	8.4
704/2	40	70	200	410	28	30.5	55	80	82	50	48	49	15	3/8	0.77	J74N	10.0
704/250	40	70	250	460	28	30.5	55	80	82	50	48	49	15	3/8	0.96	J74N	11.2
704/3	40	70	300	510	28	30.5	55	80	82	50	48	49	15	3/8	1.15	J74N	11.9
704/350	40	70	350	560	28	30.5	55	80	82	50	48	49	15	3/8	1.35	J74N	12.9
704/4	40	70	400	610	28	30.5	55	80	82	50	48	49	15	3/8	1.54	J74N	13.7
704/450	40	70	450	660	28	30.5	55	80	82	50	48	49	15	3/8	1.73	J74N	15
704/5	40	70	500	710	28	30.5	55	80	82	50	48	49	15	3/8	1.92	J74N	15.6
704/550	40	70	550	760	28	30.5	55	80	82	50	48	49	15	3/8	2.12	J74N	16.9
704/6	40	70	600	810	28	30.5	55	80	82	50	48	49	15	3/8	2.31	J74N	17.5
704/7	40	70	700	910	28	30.5	55	80	82	50	48	49	15	3/8	2.69	J74N	19.4
704/800	40	70	800	1010	28	30.5	55	80	82	50	48	49	15	3/8	3.08	J74N	21.5
704/900	40	70	900	1110	28	30.5	55	80	82	50	48	49	15	3/8	3.46	J74N	23.6
704/1000	40	70	1000	1210	28	30.5	55	80	82	50	48	49	15	3/8	3.85	J74N	25.3
704/1100	40	70	1100	1310	28	30.5	55	80	82	50	48	49	15	3/8	4.23	J74N	27.4
704/1200	40	70	1200	1410	28	30.5	55	80	82	50	48	49	15	3/8	4.62	J74N	29.3
704/1300	40	70	1300	1510	28	30.5	55	80	82	50	48	49	15	3/8	5.00	J74N	31.2
704/1400	40	70	1400	1610	28	30.5	55	80	82	50	48	49	15	3/8	5.39	J74N	33.1
704/1500	40	70	1500	1710	28	30.5	55	80	82	50	48	49	15	3/8	5.77	J74N	35.0

## 7. Cálculo de los pasadores y elementos de soporte

### 7.1 Diámetro de los pasadores

Ecuación de tensión cortante directo:

$$\tau = \frac{F}{n^{\circ} \text{ planos} * A}$$

Donde

- $F$  es la fuerza resultante del pasador.
- El número de planos en todos los casos es 2, es decir que la fuerza se corta en dos caras.
- $A = \frac{\pi d^2}{4}$

Aplicar la teoría de cortante máxima:

$$C_s = \frac{\sigma_f}{2 * \tau_{max}}$$

Donde

- $\sigma_f$  es la tensión de fluencia del material, es este caso es 355 MPa
- $C_s = 3$

La tensión máxima admisible es

$$\tau_{max, admisible} = \frac{\sigma_f}{2 * C_s} = \frac{355}{2 * 3} = 59,167 \text{ MPa}$$

Sustituir el valor de la tensión máxima admisible en la ecuación de tensión cortante directo, obtendremos el diámetro mínimo de los pasadores.

$$d = \sqrt{\frac{4 * F}{\pi * \tau_{max,admisibile} * 2}}$$

Pasador	Fuerza resultante (N)	Diámetro mínimo (mm)	Diámetro diseño (mm)
A	271804,209	54,08	60
E	99972,650	32,80	40
G (Cilindro 3)	269824,764	53,88	60
H y I (Cilindro 2)	97678,058	32,42	40
J	80326,044	29,40	30
K	42390,351	21,36	30
L	39770,896	20,69	30
M	21322,683	15,15	30
O (Cilindro 1)	40398,203	20,85	30

## 7.2 Espesor de elementos de soporte

La ecuación de la tensión por aplastamiento:

$$\sigma_{aplastamiento} = \frac{F}{A}$$

Donde

- $F$  es la fuerza resultante que actúa sobre el elemento. En este caso, tiene que dividir por 2 porque hay dos placas en cada elemento de soporte
- $A = d * e$  ( $d$  es diámetro de pasador,  $e$  es el espesor del elemento de soporte)

Aplicar la teoría de la tensión cortante máxima:

$$Cs = \frac{\sigma_f}{2 * \tau_{max}}$$

Donde

- $\sigma_f$  es la tensión de fluencia del material, en este caso es 355 MPa
- $Cs = 3$

La tensión máxima admisible es

$$\tau_{max,admisibile} = \frac{\sigma_f}{2 * Cs} = \frac{355}{2 * 3} = 59,167 \text{ MPa}$$

La ecuación de la tensión cortante máxima es

$$\tau_{max} = \frac{\sigma_{aplastamiento}}{2}$$

Igualar la tensión máxima admisible y la tensión cortante máxima, con el valor de diámetro del pasador conocido, obtendremos el espesor mínimo de los elementos de soporte.

$$e = \frac{F}{4 * d * \tau_{max}}$$

Pasador	Fuerza resultante (N)	Diámetro (mm)	Espesor mínimo (mm)	Espesor de perfil (mm)	Espesor diseño (mm)
A	271804,209	60	19,14	14,2	10
E	99972,650	40	10,56	-	15
G (Cilindro 3)	269824,764	60	19,00	-	20
H (Cilindro 2)	97678,058	40	10,32	14,2	-
I (Cilindro 2)	97678,058	40	10,32	-	15
J	80326,044	30	11,31	10	5
K	42390,351	30	5,97	10	-
L	39770,896	30	5,60	6	-
M	21322,683	30	3,00	6	-
O (Cilindro 1)	40398,203	30	5,69	-	10

### 7.3 Longitud de orejetas

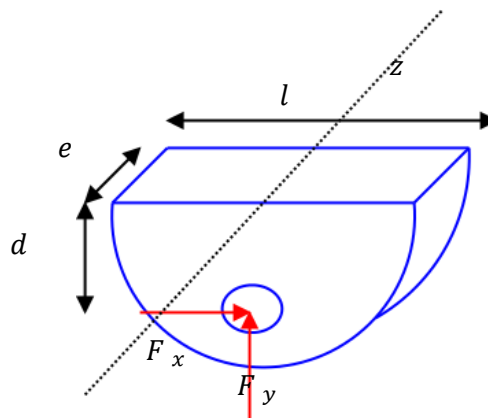


Figura 6.3 (1): Geometría de orejeta

$$C_S = \frac{\sigma_f}{2 * \tau_{max}}$$

Con el coeficiente de seguridad 3 y la tensión de fluencia 355 MPa, la tensión máxima admisible es

$$\tau_{max,admisibile} = \frac{\sigma_f}{2 * C_S} = \frac{355}{2 * 3} = 59,167 \text{ MPa}$$

La tensión máxima admisible será

$$\sigma_{max,admisibile} = 2 * \tau_{max,admisibile} = 118,333 \text{ MPa}$$

Sustituir el valor de la tensión máxima admisible a la ecuación de tensión máxima y despejar  $l$ .

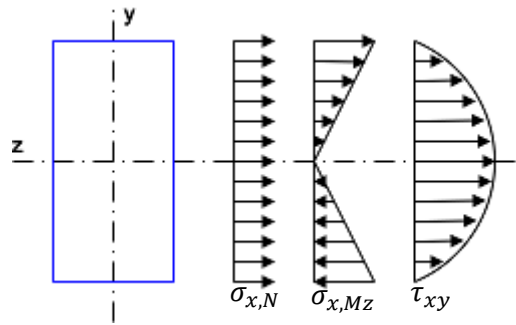


Figura 6.3 (2): Tensión máxima del perfil rectangular

$$\sigma_{max} = \frac{N}{A} + \frac{M}{I_z} y$$

$$A = e * l$$

$$I_z = \frac{1}{2} e * l^3$$

$$y = \frac{l}{2}$$

### 7.3.1 Orejetas O

La fuerza resultante máxima que ejerce el cilindro 1 sobre las orejetas O es 10099.551 N que ha calculado anteriormente. Descomponer la fuerza según el eje x e y.

$$F_x = 20136,834 \text{ N}$$

$$F_y = 1584,803 \text{ N}$$

Datos:

- $e = 10 \text{ mm}$
- $d = 147 \text{ mm}$

Con estos datos, nos queda con un solo incognito que es la longitud de orejetas. Resolver la ecuación mediante EES, el valor de la longitud mínima de orejetas es:

$$l_{min} = 123,18 \text{ mm}$$

### 7.3.2 Orejetas G

La fuerza resultante máxima que ejerce el cilindro 3 sobre las orejetas G es 134912,382 N que ha calculado anteriormente. Descomponer la fuerza según el eje x e y.

$$F_x = 131293,880 \text{ N}$$

$$F_y = -31036,558 \text{ N}$$

Datos:

- $e = 20 \text{ mm}$
- $d = 144 \text{ mm}$

Con estos datos, nos queda con un solo incógnito que es la longitud de orejetas. Resolver la ecuación mediante EES, el valor de la longitud mínima de orejetas es:

$$l_{min} = 225,59 \text{ mm}$$

## 8. Soldaduras

### 8.1 Soldaduras de las orejetas del cilindro 3

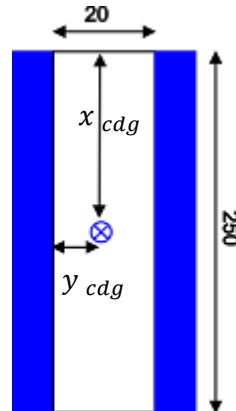


Figura 8.1 (1): Geometría de cordones de soldadura

$$x_{cdg} = 10 \text{ mm}$$

$$y_{cdg} = 125 \text{ mm}$$

$$a = 0,7 * 20 = 14 \text{ mm}$$

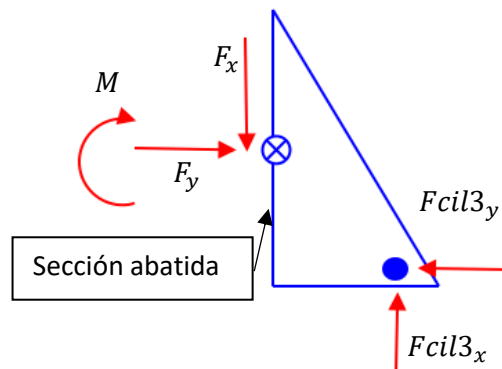


Figura 8.1 (2): DSL de cordón de soldadura

$$d_x = 62,5 \text{ mm}$$

$$d_y = 144 \text{ mm}$$

$$F_x = \frac{F_{cil3_x}}{2} = 131293,880 \text{ N}$$

$$F_y = \frac{F_{cil3_y}}{2} = 31036,558 \text{ N}$$

$$M_z = F_x * d_y - F_y * d_x = 16966533,832 \text{ Nmm}$$

Área total de la sección de la garganta:

$$A_{total} = 2 * 28 * 640 = 7000 \text{ mm}^2$$

$$I_z = 2 * \frac{14 * 250^3}{12} = 36458333,330 \text{ mm}^4$$

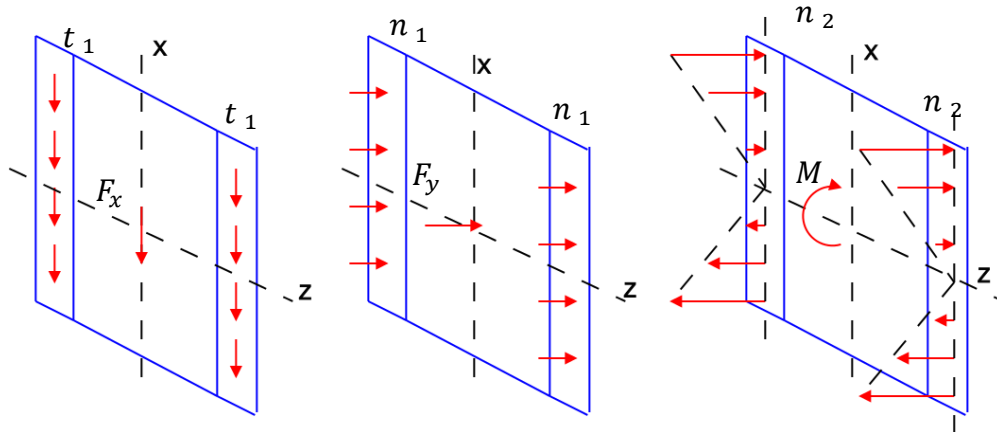


Figura 8.1 (3): Tensiones en sección abatida

$$t_1 = \frac{F_x}{A_{total}} = \frac{131293,880 \text{ N}}{7000 \text{ mm}^2} = 18,756 \text{ MPa}$$

$$n = \frac{F_y}{A_{total}} + \frac{M_z}{I_z} y_{max} = \frac{31036,558}{7000} + \frac{16966533,832}{36458333,330} * \frac{250}{2} = 62,605 \text{ MPa}$$

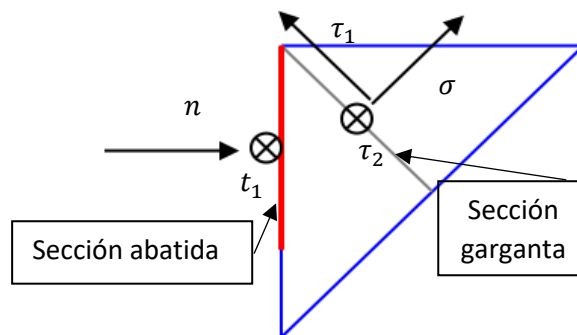


Figura 8.1 (4): Tensiones en sección garganta

$$\sigma = -\frac{n}{\sqrt{2}} = -\frac{62,605}{\sqrt{2}} = -44,268 \text{ MPa}$$

$$\tau_1 = \frac{n}{\sqrt{2}} = \frac{62,605}{\sqrt{2}} = 44,268 \text{ MPa}$$

$$\tau_2 = -\tau_1 = -18,756 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{eqv} = \sqrt{\sigma^2 + 3(\tau_1^2 + \tau_2^2)} = \sqrt{-44,268^2 + 3(44,268^2 + (-18,756)^2)} = 94,309 \text{ MPa}$$

$$< 118,33 \text{ MPa}$$

## 8.2 Soldaduras de las orejetas del cilindro 3

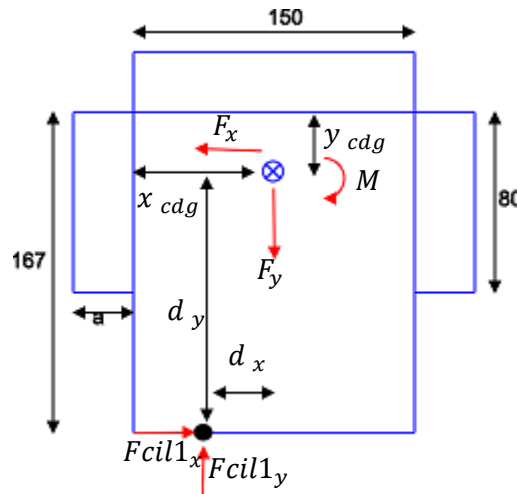


Figura 8.2 (1): Geometría de cordón de soldadura

$$a = 0,7 * 10 = 7 \text{ mm}$$

$$x_{cdg} = \frac{150 * 7 * \frac{150}{2} + 80 * 7 * (150 + 3,5) + 80 * 7 * (-3,5)}{150 * 7 + 80 * 7 * 2} = 75 \text{ mm}$$

$$y_{cdg} = \frac{150 * 7 * \frac{7}{2} + 80 * 7 * (-40) + 80 * 7 * (-40)}{150 * 7 + 80 * 7 * 2} = -18,95 \approx 19 \text{ mm}$$

$$d_x = 37,5 \text{ mm}$$

$$d_y = 128 \text{ mm}$$

$$F_x = \frac{F_{cil1x}}{2} = \frac{40273,669}{2} = 20136,835 \text{ N}$$

$$F_y = \frac{F_{cil1y}}{2} = \frac{3169,607}{2} = 1584,804 \text{ N}$$

$$M = F_x * d_y - F_y * d_x = 20136,835 * 128 - 1584,804 * 37,5 = 2518084,664 \text{ Nmm}$$

Área total de la sección de la garganta:

$$A_{total} = 150 * 7 + 80 * 7 * 2 = 2170 \text{ mm}^2$$



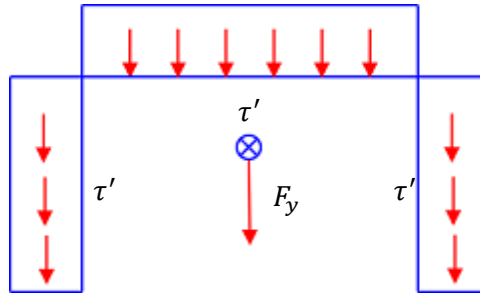


Figura 8.2 (2): Componente transversal de la tensión cortante

$$\tau' = \frac{F_x}{A_{total}} = \frac{20136,835}{2170} = 9,280 \text{ MPa}$$

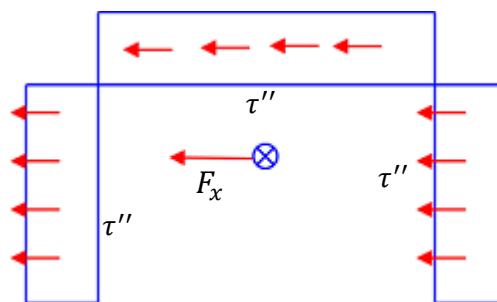


Figura 8.2 (3): Componente longitudinal de la tensión cortante

$$\tau'' = \frac{F_y}{A_{total}} = \frac{1584,804}{2170} = 0,730 \text{ MPa}$$

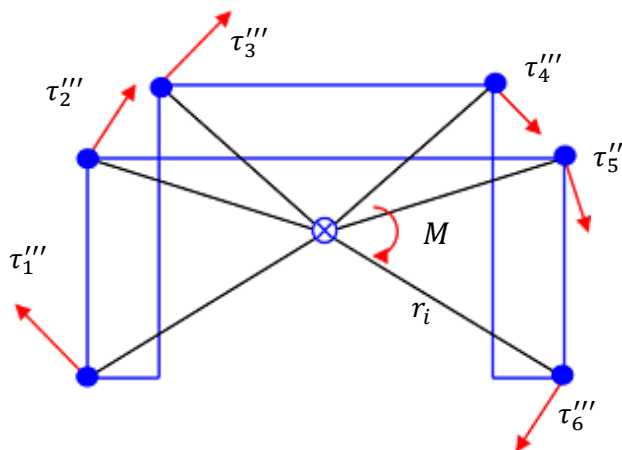


Figura 8.2 (4): La tensión cortante debida a torsión

$$\tau_i''' = \frac{M}{I_o} * r_i$$

$$I_o = I_x + I_y$$



$$I_x = \sum_{i=1}^n I_{xi} = \frac{150 \cdot 7^3}{12} + (150 \cdot 7)(19 + 3,5)^2 + 2 * \left( \frac{7 \cdot 80^3}{12} + (80 \cdot 7)(40 - 19)^2 \right) = 1627103,334 \text{ mm}^4$$

$$I_y = \sum_{i=1}^n I_{yi} = \frac{7 \cdot 150^3}{12} + (150 \cdot 7)(0)^2 + 2 * \left( \frac{80 \cdot 7^3}{12} + (80 \cdot 7)(75 + 3,5)^2 \right) = 8875043,340$$

$$I_o = 10502146,670 \text{ mm}^4$$

Punto	1	2	3	4	5	6
$r_i(\text{mm})$	102,20	84,17	79,38	79,38	84,17	102,20
$\alpha$	36,64	13,04	17,60	17,60	13,04	36,64
$\tau_i'''(\text{MPa})$	24,504	20,182	19,032	19,032	20,182	24,504

Donde

$\alpha$ = Angulo que forma entre el eje horizontal y el punto de la unión de soldadura que analizar

$r_i$ = Distancia desde el c.d.g de los cordones de soldadura al punto "i" en el cual se calcula la tensión cortante.

**Punto 1**

$$t_1 = \tau_1''' \cos(\alpha) - \tau' = 10,382 \text{ MPa}$$

$$t_2 = \tau_1''' \text{sen}(\alpha) + \tau'' = 15,958 \text{ MPa}$$

**Punto 2**

$$t_1 = \tau_2''' \cos(\alpha) - \tau' = 10,381 \text{ MPa}$$

$$t_2 = \tau_2''' \text{sen}(\alpha) - \tau'' = 3,220 \text{ MPa}$$

**Punto 3**

$$t_1 = \tau_3''' \cos(\alpha) - \tau' = 8,861 \text{ MPa}$$

$$t_2 = \tau_3''' \text{sen}(\alpha) - \tau'' = 4,421 \text{ MPa}$$

**Punto 4**

$$t_1 = \tau_4''' \cos(\alpha) + \tau' = 27,421 \text{ MPa}$$

$$t_2 = \tau_4''' \text{sen}(\alpha) - \tau'' = 1,121 \text{ MPa}$$

**Punto 5**

$$t_1 = \tau_5''' \cos(\alpha) + \tau' = 28,941 \text{ MPa}$$

$$t_2 = \tau_5''' \text{sen}(\alpha) - \tau'' = 3,220 \text{ MPa}$$

**Punto 6**

$$t_1 = \tau_2''' \cos(\alpha) + \tau' = 28,942 \text{ MPa}$$

$$t_2 = \tau_2''' \text{sen}(\alpha) + \tau'' = 15,958 \text{ MPa}$$

### Tensiones en la sección garganta

**Punto 1**

$$\sigma = \frac{t_2}{\sqrt{2}} = 11,284 \text{ MPa}$$

$$\tau_1 = t_1 = 10,382 \text{ MPa}$$

$$\tau_2 = \frac{t_2}{\sqrt{2}} = 11,284 \text{ MPa}$$

**Punto 2**

$$\sigma = -\frac{t_2}{\sqrt{2}} = -2,277 MPa$$

$$\tau_1 = t_1 = 10,381 MPa$$

$$\tau_2 = -\frac{t_2}{\sqrt{2}} = -2,277 MPa$$

**Punto 3**

$$\sigma = \frac{t_2}{\sqrt{2}} = 3,126 MPa$$

$$\tau_1 = t_1 = 8,862 MPa$$

$$\tau_2 = \frac{t_2}{\sqrt{2}} = 3,126 MPa$$

**Punto 4**

$$\sigma = -\frac{t_2}{\sqrt{2}} = -3,126 MPa$$

$$\tau_1 = t_1 = -4,421 MPa$$

$$\tau_2 = -\frac{t_2}{\sqrt{2}} = -3,126 MPa$$

**Punto 5**

$$\sigma = \frac{t_2}{\sqrt{2}} = 2,277 MPa$$

$$\tau_1 = -t_1 = -28,941 MPa$$

$$\tau_2 = \frac{t_2}{\sqrt{2}} = 2,277 MPa$$

**Punto 6**

$$\sigma = -\frac{t_2}{\sqrt{2}} = -11,284 MPa$$

$$\tau_1 = -t_1 = -28,942 MPa$$

$$\tau_2 = -\frac{t_2}{\sqrt{2}} = -11,284 MPa$$

$$\sigma_{eqv} = \sqrt{\sigma^2 + 3(\tau_1^2 + \tau_2^2)}$$

Punto	1	2	3	4	5	6
$\sigma_{eqv} (MPa)$	28,857	18,549	16,573	9,885	50,334	54,976

### 8.3 Soldaduras de las chapas de unión E

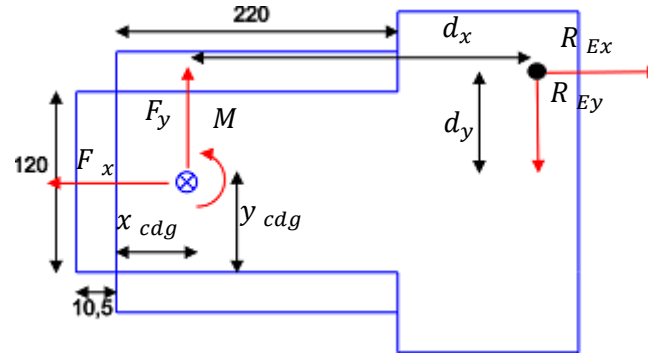


Figura 8.3 (1): Geometría de los cordones de soldadura

$$a = 0,7 * 15 = 10,5 \text{ mm}$$

$$x_{cdg} = \frac{120 * 10,5 * -5,25 + 220 * 10,5 * 110 * 2}{120 * 10,5 + 220 * 10,5 * 2} = 8 \text{ mm}$$

$$y_{cdg} = \frac{120 * 10,5 * 60 + 220 * 10,5 * (-5,25) + 220 * 10,5 * 125,25}{120 * 10,5 + 220 * 10,25 * 2} = 60 \text{ mm}$$

$$d_x = 574,7 \text{ mm}$$

$$d_y = 103 \text{ mm}$$

$$F_x = \frac{R_{Ex}}{2} = \frac{98357,057}{2} = 49178,529 \text{ N}$$

$$F_y = \frac{R_{Ey}}{2} = \frac{17900,282}{2} = 8950,141 \text{ N}$$

$$M = F_x * d_y + F_y * d_x = 49178,529 * 103 + 8950,141 * 574,7 = 10209002,421 \text{ Nmm}$$

Área total de la sección de la garganta:

$$A_{total} = 220 * 10,5 * 2 + 120 * 10,5 = 5880 \text{ mm}^2$$

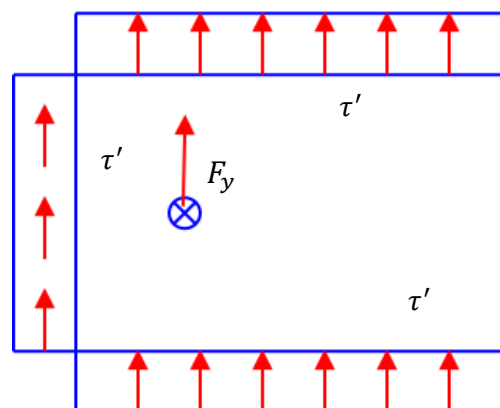


Figura 8.2 (2): Componente transversal de la tensión cortante

$$\tau' = \frac{F_y}{A_{total}} = \frac{8950,141}{5880} = 1,522 \text{ MPa}$$

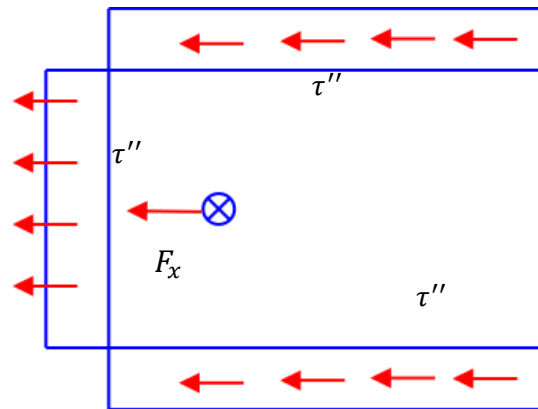


Figura 8.2 (3): Componente longitudinal de la tensión cortante

$$\tau'' = \frac{F_x}{A_{total}} = \frac{49178,529}{5880} = 8,364 \text{ MPa}$$

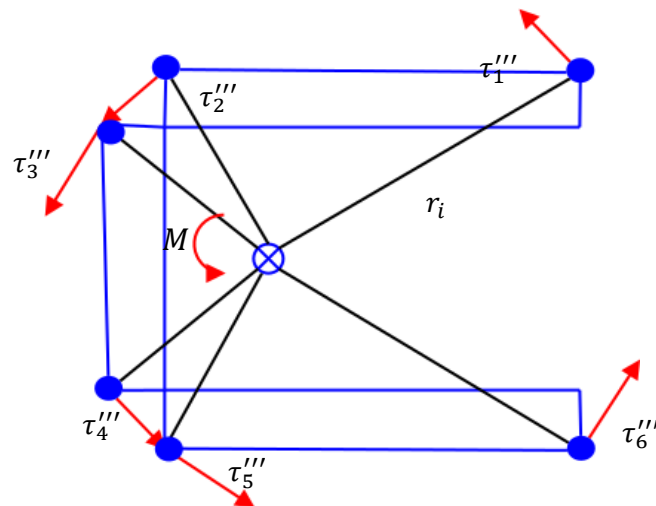


Figura 8.2 (4): La tensión cortante debida a torsión

$$\tau_i''' = \frac{M}{I_o} * r_i$$

$$I_o = I_x + I_y$$

$$I_x = \sum_{i=1}^n I_{xi} = \frac{10.5 \cdot 120^3}{12} + (120 \cdot 10.5)(60 - 60)^2 + 2 * \left( \frac{220 \cdot 10.5^3}{12} + (220 \cdot 10.5)(60 + 5.25)^2 \right) = 21224385 \text{ mm}^4$$

$$I_y = \sum_{i=1}^n I_{yi} = \frac{120 \cdot 10.5^3}{12} + (120 \cdot 10.5)(85.3 + 5.25)^2 + 2 * \left( \frac{10.5 \cdot 220^3}{12} + (220 \cdot 10.5)(110 - 85.3)^2 \right) = 31795313,2 \text{ mm}^4$$



$$I_o = 53019698,2 \text{ mm}^4$$

Punto	1	2	3	4	5	6
$r_i(\text{mm})$	152,03	110,66	113,04	113,04	110,66	152,03
$\alpha$	27,62	39,57	32,06	32,06	39,57	27,62
$\tau_i'''(\text{MPa})$	29,274	21,308	21,766	21,766	21,308	29,274

Donde

$\alpha$ = Angulo que forma entre el eje horizontal y el punto de la unión de soldadura que analizar

$r_i$ = Distancia desde el c.d.g de los cordones de soldadura al punto "i" en el cual se calcula la tensión cortante.

**Punto 1**

$$t_1 = \tau_1''' \cos(\alpha) + \tau' = 27,460 \text{ MPa}$$

$$t_2 = \tau_1''' \text{sen}(\alpha) + \tau'' = 21,936 \text{ MPa}$$

**Punto 2**

$$t_1 = \tau_2''' \cos(\alpha) - \tau' = 14,903 \text{ MPa}$$

$$t_2 = \tau_2''' \text{sen}(\alpha) + \tau'' = 21,938 \text{ MPa}$$

**Punto 3**

$$t_1 = \tau_3''' \cos(\alpha) - \tau' = 16,924 \text{ MPa}$$

$$t_2 = \tau_3''' \text{sen}(\alpha) + \tau'' = 19,917 \text{ MPa}$$

**Punto 4**

$$t_1 = \tau_4''' \cos(\alpha) - \tau' = 16,924 \text{ MPa}$$

$$t_2 = \tau_4''' \text{sen}(\alpha) - \tau'' = 3,189 \text{ MPa}$$

**Punto 5**

$$t_1 = \tau_5''' \cos(\alpha) - \tau' = 14,903 \text{ MPa}$$

$$t_2 = \tau_5''' \text{sen}(\alpha) - \tau'' = 5,21 \text{ MPa}$$

**Punto 6**

$$t_1 = \tau_2''' \cos(\alpha) + \tau' = 27,460 \text{ MPa}$$

$$t_2 = \tau_2''' \text{sen}(\alpha) - \tau'' = 5,208 \text{ MPa}$$

**Tensiones en la sección garganta**

**Punto 1**

$$\sigma = -\frac{t_1}{\sqrt{2}} = 19,417 \text{ MPa}$$

$$\tau_1 = \frac{t_1}{\sqrt{2}} = 19,417 \text{ MPa}$$

$$\tau_2 = t_2 = 19,417 \text{ MPa}$$

**Punto 2**

$$\sigma = -\frac{t_1}{\sqrt{2}} = -10,538 \text{ MPa}$$

$$\tau_1 = -\frac{t_1}{\sqrt{2}} = -10,538 \text{ MPa}$$

$$\tau_2 = -t_2 = -21,938 \text{ MPa}$$

**Punto 3**

$$\sigma = \frac{t_2}{\sqrt{2}} = 14,084 \text{ MPa}$$

$$\tau_1 = t_1 = 16,924 \text{ MPa}$$



$$\tau_2 = \frac{t_2}{\sqrt{2}} = 14,084 \text{ MPa}$$

Punto 4

$$\sigma = -\frac{t_2}{\sqrt{2}} = -2,255 \text{ MPa}$$
$$\tau_1 = -t_1 = -16,924 \text{ MPa}$$
$$\tau_2 = -\frac{t_2}{\sqrt{2}} = -2,255 \text{ MPa}$$

Punto 5

$$\sigma = \frac{t_1}{\sqrt{2}} = 10,538 \text{ MPa}$$
$$\tau_1 = \frac{t_1}{\sqrt{2}} = 10,538 \text{ MPa}$$
$$\tau_2 = t_2 = 5,210 \text{ MPa}$$

Punto 6

$$\sigma = -\frac{t_1}{\sqrt{2}} = -19,417 \text{ MPa}$$
$$\tau_1 = -t_1 = -19,417 \text{ MPa}$$
$$\tau_2 = t_2 = 5,208 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{eqv} = \sqrt{\sigma^2 + 3(\tau_1^2 + \tau_2^2)}$$

Punto	1	2	3	4	5	6
$\sigma_{eqv} \text{ (MPa)}$	54,329	43,451	40,653	29,659	22,927	39,868

## ANEXO II: ANALISIS NUMERICO

### 1. Análisis y simulación

#### 1.1 Propiedades de materiales

Material properties

Materials in the default library can not be edited. You must first copy the material to a custom library to edit it.

Model Type:   Save model type in library

Units:

Category:

Name:

Default failure criterion:

Description:

Source:

Sustainability:

Property	Value	Units
Elastic Modulus	210000.0031	N/mm <sup>2</sup>
Poisson's Ratio	0.28	N/A
Shear Modulus	79000	N/mm <sup>2</sup>
Mass Density	7800	kg/m <sup>3</sup>
Tensile Strength	450	N/mm <sup>2</sup>
Compressive Strength		N/mm <sup>2</sup>
Yield Strength	355	N/mm <sup>2</sup>
Thermal Expansion Coefficient	1.1e-05	/K
Thermal Conductivity	14	W/(m·K)

**Figura 1 (1):** Propiedades del acero S355J0

Material properties

Materials in the default library can not be edited. You must first copy the material to a custom library to edit it.

Model Type:   Save model type in library

Units:

Category:

Name:

Default failure criterion:

Description:

Source:

Sustainability:

Property	Value	Units
Elastic Modulus	2100	N/mm <sup>2</sup>
Poisson's Ratio	0.46	N/A
Shear Modulus		N/mm <sup>2</sup>
Mass Density	2320	kg/m <sup>3</sup>
Tensile Strength		N/mm <sup>2</sup>
Compressive Strength		N/mm <sup>2</sup>
Yield Strength	48.3	N/mm <sup>2</sup>
Thermal Expansion Coefficient		/K
Thermal Conductivity		W/(m·K)

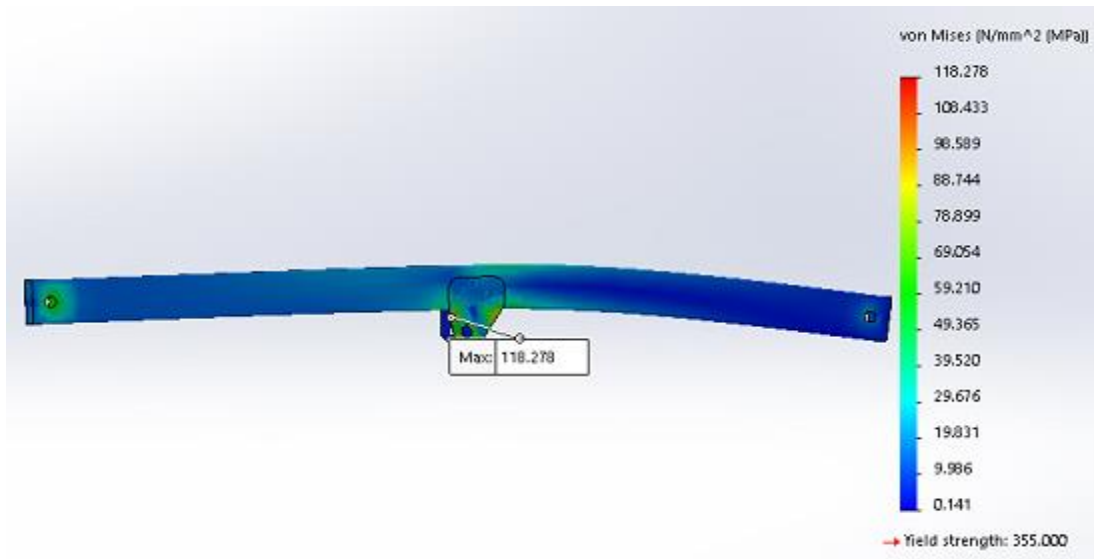
**Figura 1 (2):** Propiedades del teflón



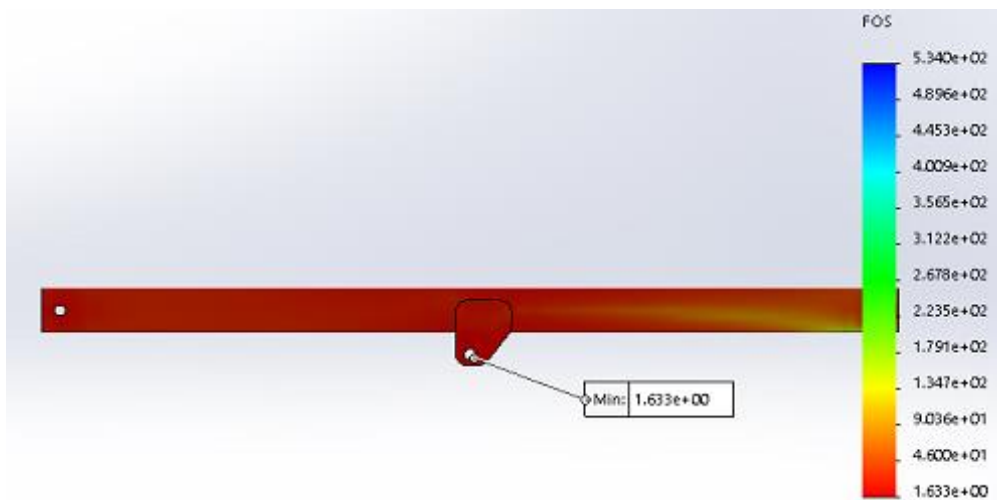
## 1.2 Brazo cuadrilátero

### 1.2.1 Barra JK

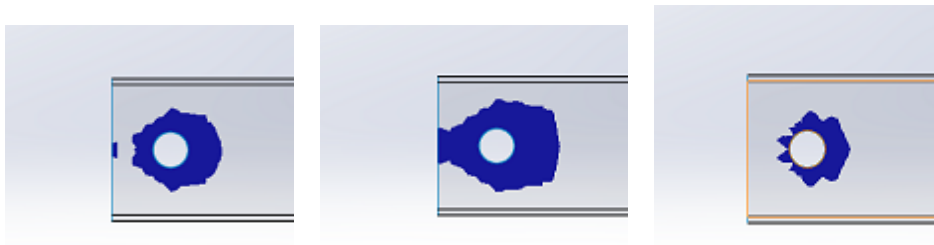
- Posición de trabajo:  $\beta = 0^\circ$  sin chapa de refuerzo



**Figura 1.2.1 (1):** Distribución de tensiones de von Mises



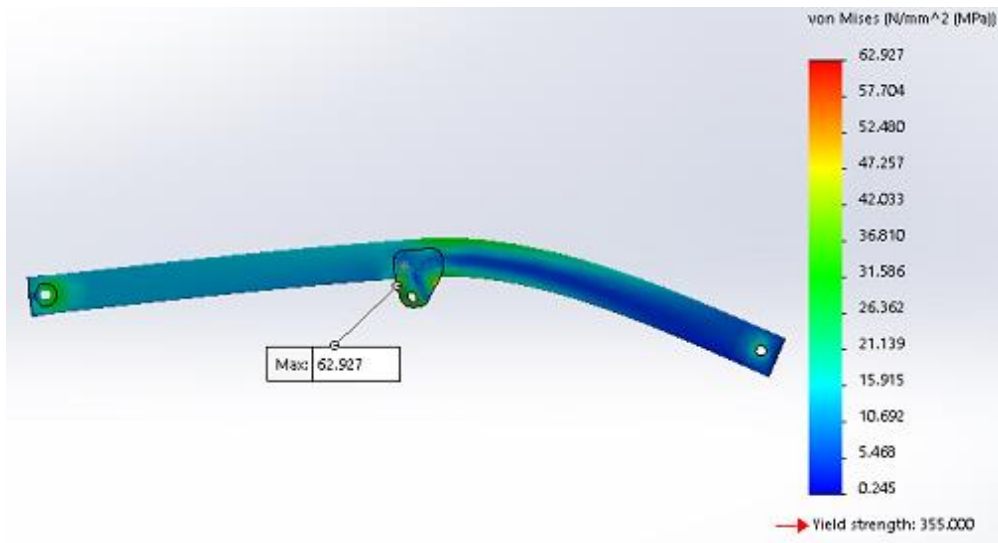
**Figura 1.2.1 (2):** Distribución de coeficiente de seguridad



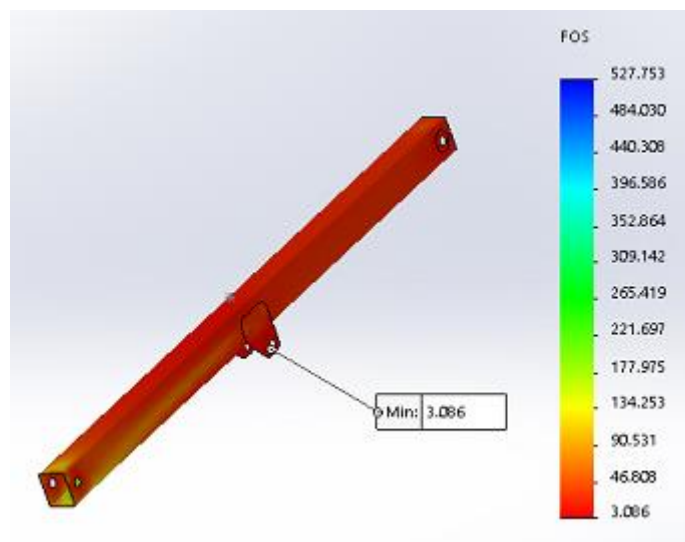
**Figura 1.2.1 (3):** Evolución en las tensiones en los agujeros de pasador

Se utiliza la información de la evolución de las tensiones en la figura 1.2.1 (2) para diseñar la chapa de refuerzo.

- Posición de trabajo:  $\beta = 0^\circ$  con chapa de refuerzo



**Figura 1.2.1 (4):** Distribución de tensiones de von Mises



**Figura 1.2.1 (5):** Distribución de coeficiente de seguridad

1.2.2 Barra LM

- Posición de trabajo:  $\beta = 68^\circ$

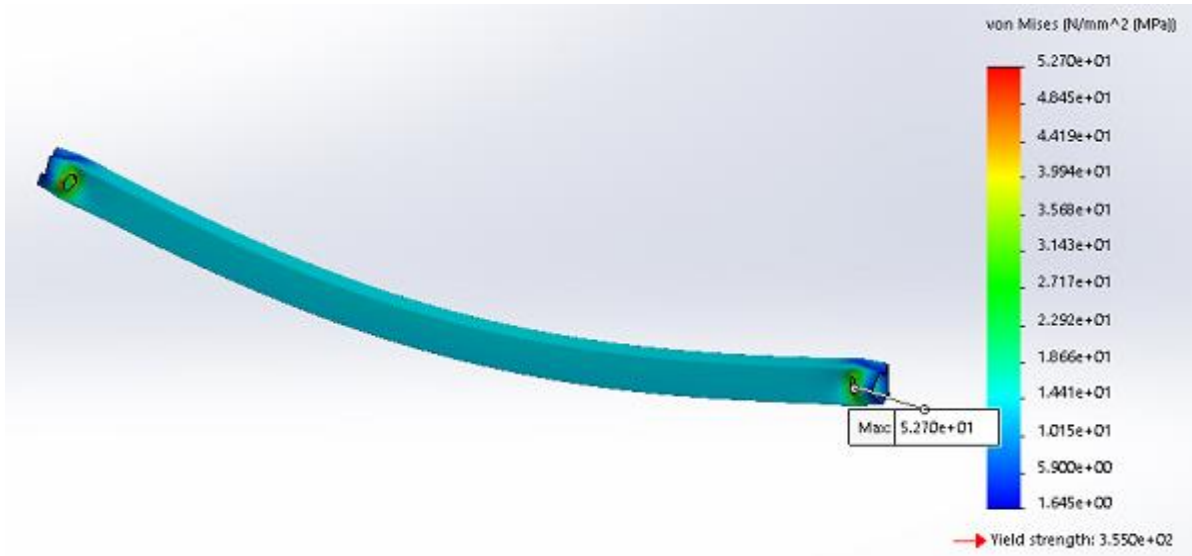


Figura 1.2.2 (1): Distribución de tensiones de von Mises

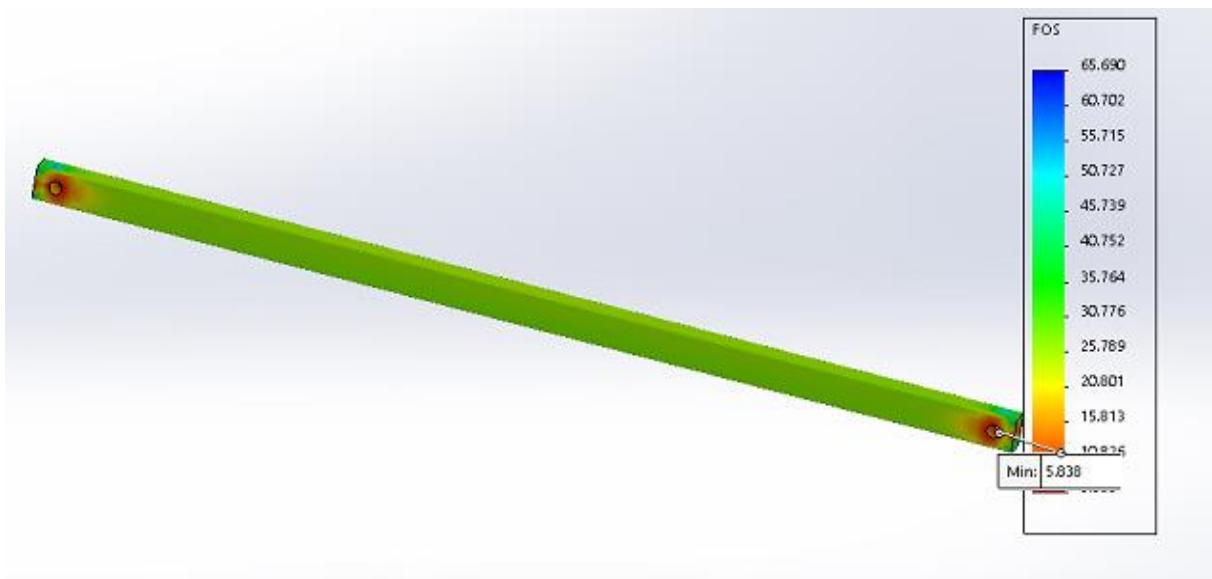


Figura 1.2.2 (2): Distribución de coeficiente de seguridad

### 1.3 Caja de unión EIJK

- Posición de trabajo:  $\alpha = 0^\circ$  y  $\beta = 0^\circ$

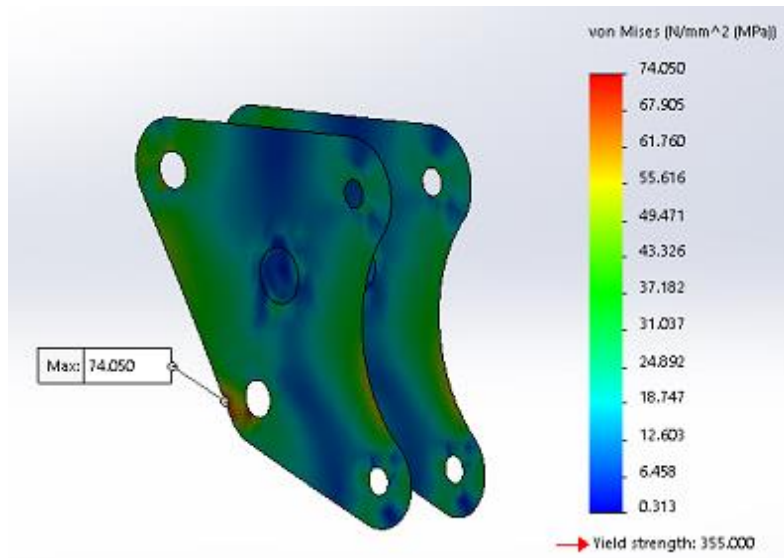


Figura 1.3 (1): Distribución de tensiones de von Mises

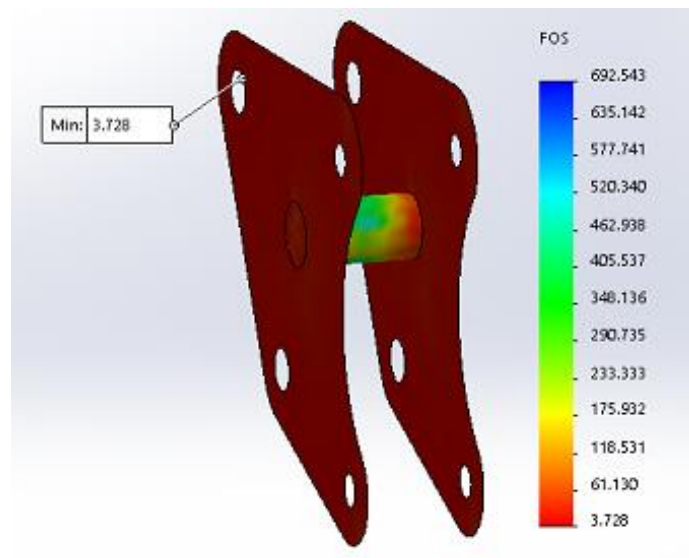
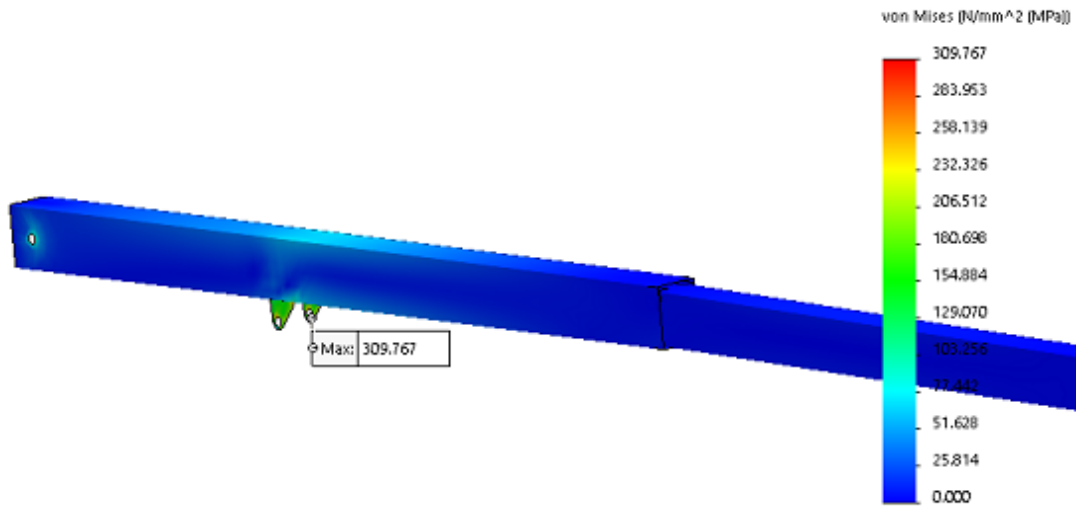


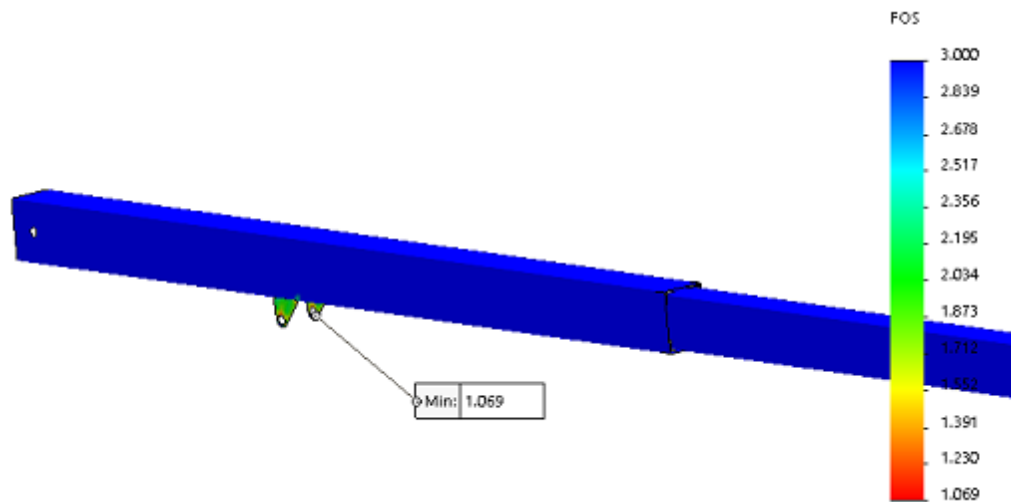
Figura 1.3 (2): Distribución de coeficiente de seguridad

### 1.4 Brazo telescópico

- Posición de trabajo:  $\alpha = 0^\circ$  sin chapa de refuerzo



**Figura 1.4 (1):** Distribución de tensiones de von Mises



**Figura 1.4 (2):** Distribución de coeficiente de seguridad



**Figura 1.4 (3):** Evolución en las tensiones en los agujeros de pasador

Se diseña la chapa de refuerzo a partir de la evolución en las tensiones. Así se puede evitar la concentración de tensiones en un punto.



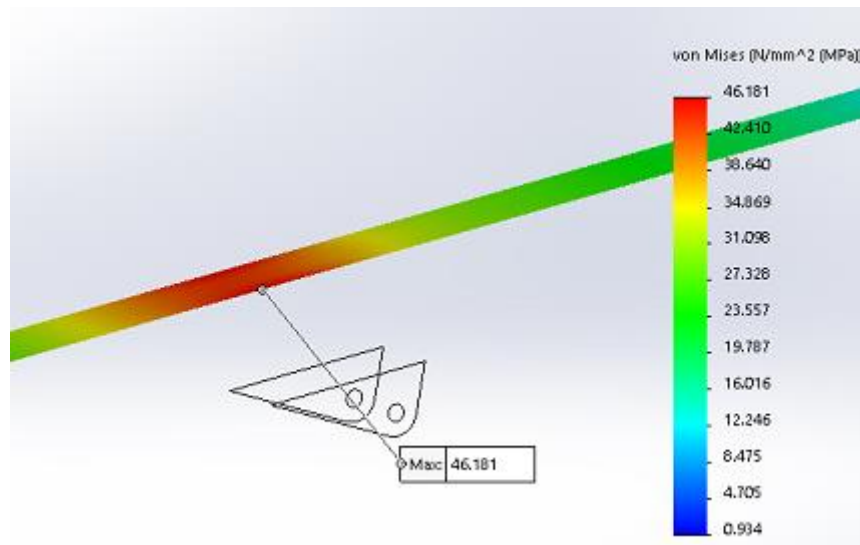


Figura 1.4 (6): Distribución de tensiones de von Mises