

## ANEXO 1

## ANÁLISIS CINÉTICO DE LA MARCHA HUMANA DURANTE LA FASE DE BALANCEO

## a) Análisis cinético del Pie

Se resuelve la ecuación 3.4:

En el eje X:

$$F_{tx} + F_{px} = m_{pie} a_{Gpie_x}$$

En el eje Y:

$$F_{ty} + F_{py} - w_{pie} = m_{pie} a_{Gpie_y}$$

Resolviendo la ecuación 3.5:

En el punto O<sub>2</sub>:

$$M_t - w_{pie} \cdot \sin(\theta_{pie} - 90) \cdot r_{Gpie} + \sqrt{(F_{px})^2 + (F_{py})^2} \cdot r_{Fpiso} = I_{Gpie} \alpha_{pie}$$

Dónde:

$$r_{Gpie} = 0.44c$$

$$r_{Fpiso} = 0.5c$$

En la cual “c” representa la longitud del pie del ser humano, lo cual para nuestro caso es igual a 25cm.

Reemplazando, se obtiene:

$$M_t - w_{pie} \cdot \sin(\theta_{pie} - 90) \cdot 0.44c + \sqrt{(F_{px})^2 + (F_{py})^2} \cdot 0.5c = I_{Gpie} \alpha_{pie}$$

### b) Análisis cinético de la pierna (Canilla-Pantorrilla)

Se resuelve la ecuación 3.4:

En el eje X:

$$F_{rx} - F_{tx} = m_{cp} a_{GcpX}$$

En el eje Y:

$$F_{ry} - F_{ty} - w_{cp} = m_{cp} a_{Gcpy}$$

Resolviendo la ecuación 3.5:

En el punto O<sub>3</sub>:

$$M_r - M_t + w_{cp} \cdot \sin(90 + \theta_{cp}) \cdot r_{Gcp} - F_{tx} \cdot \sin \theta_{cp} \cdot r_{Ft} + F_{ty} \cdot \sin(90 - \theta_{cp}) \cdot r_{Ft} = I_{Gcp} \alpha_{cp}$$

Dónde:

$$r_{Gcp} = 0.42b$$

$$r_{Ft} = b$$

En la cual “b” representa la longitud de la pierna del ser humano, lo cual para nuestro caso es igual a 35cm (caso máximo).

Reemplazando, se obtiene:

$$M_r - M_t + w_{cp} \cdot \sin(90 + \theta_{cp}) \cdot 0.42b - F_{tx} \cdot \sin \theta_{cp} \cdot b + F_{ty} \cdot \sin(90 - \theta_{cp}) \cdot b = I_{Gcp} \alpha_{cp}$$

### c) Análisis cinético del Muslo

Se resuelve la ecuación 3.4:

En el eje X:

$$F_{cx} - F_{rx} = m_m a_{Gmx}$$

En el eje Y:

$$F_{cy} - F_{ry} - w_m = m_m a_{Gmy}$$

Resolviendo la ecuación 3.5:

En el punto O<sub>4</sub>:

$$M_c - M_r - w_m \cdot \sin(\theta_m - 90) \cdot r_{Gm} - F_{ry} \cdot \sin(\theta_m - 90) \cdot r_{Fr} - F_{rx} \cdot \cos(\theta_m - 90) \cdot r_{Fr} = I_{Gm} \alpha_m$$

Dónde:

$$r_{Gm} = 0.39a$$

$$r_{Fr} = a$$

En la cual “a” representa la longitud del muslo del ser humano, lo cual para nuestro caso es igual a 35cm (caso máximo).

Reemplazando, se obtiene:

$$M_c - M_r - w_m \cdot \sin(\theta_m - 90) \cdot 0.39a - F_{ry} \cdot \sin(\theta_m - 90) \cdot a \\ - F_{rx} \cdot \cos(\theta_m - 90) \cdot a = I_{Gm} \alpha_m$$





## ANEXO 2

## ANÁLISIS CINÉTICO DEL CUERPO HUMANO EN LA FASE DE BALANCEO DURANTE LA REHABILITACIÓN.

## a) Análisis cinético del Pie

Se resuelve la ecuación 3.4:

En el eje X:

$$F_{htx} + F_3 \cdot \cos(\theta_{pie} - 90) = m_{pie} a_{Gpie x}$$

En el eje Y:

$$F_{hty} + F_3 \cdot \sin(\theta_{pie} - 90) - w_{pie} = m_{pie} a_{Gpie y}$$

Resolviendo la ecuación 3.5:

En el punto O<sub>2</sub>:

$$F_3 \cdot r_{F3} - w_{pie} \cdot \sin(\theta_{pie} - 90) \cdot r_{Gpie} = I_{Gpie} \alpha_{pie}$$

Dónde:

$$r_{Gpie} = 0.44c$$

$$r_{F3} = 0.5c$$

En la cual “c” representa la longitud del pie del ser humano, lo cual para nuestro caso es igual a 25cm.

Reemplazando, se obtiene:

$$F_3 \cdot 0.5c - w_{pie} \cdot \sin(\theta_{pie} - 90) \cdot 0.44c = I_{Gpie} \alpha_{pie}$$

### b) Análisis cinético de la pierna (Canilla-Pantorrilla)

Se resuelve la ecuación 3.4:

En el eje X:

$$F_{hrx} + F_2 \cdot \sin(\theta_{cp}) - F_{htx} = m_{cp} a_{Gcp x}$$

En el eje Y:

$$F_{hry} - F_{hty} - F_2 \cdot \cos(\theta_{cp}) - w_{cp} = m_{cp} a_{Gcp y}$$

Resolviendo la ecuación 3.5:

En el punto O<sub>3</sub>:

$$F_2 \cdot r_{F_2} + w_{cp} \cdot \sin(90 - \theta_{cp}) \cdot r_{Gcp} - F_{htx} \cdot \sin \theta_{cp} \cdot r_{Fht} + F_{hty} \cdot \sin(90 - \theta_{cp}) \cdot r_{Fht} = I_{Gcp} \alpha_{cp}$$

Dónde:

$$r_{Gcp} = 0.42b$$

$$r_{Fht} = b$$

$$r_{F_2} = 0.08$$

En la cual “b” representa la longitud de la pierna del ser humano, lo cual para nuestro caso es igual a 35cm (caso máximo).

Reemplazando, se obtiene:

$$F_2 \cdot 0.08 + w_{cp} \cdot \sin(90 - \theta_{cp}) \cdot 0.42b - F_{htx} \cdot \sin \theta_{cp} \cdot b + F_{hty} \cdot \sin(90 - \theta_{cp}) \cdot b = I_{Gcp} \alpha_{cp}$$

### c) Análisis cinético del Muslo

Se resuelve la ecuación 3.4:

En el eje X:

$$F_{hcx} + F_1 \cdot \cos(\theta_m - 90) - F_{hrx} = m_m a_{Gmx}$$

En el eje Y:

$$F_{hcy} + F_1 \cdot \sin(\theta_m - 90) - F_{hry} - w_m = m_m a_{Gmy}$$

Resolviendo la ecuación 3.5:

En el punto O<sub>4</sub>:

$$F_1 \cdot r_{F1} - w_m \cdot \sin(\theta_m - 90) \cdot r_{Gm} - F_{hry} \cdot \sin(\theta_m - 90) \cdot r_{Fhr} - F_{hrx} \cdot \cos(\theta_m - 90) \cdot r_{Fhr} = I_{Gm} \alpha_m$$

Dónde:

$$r_{Gm} = 0.39a$$

$$r_{Fht} = a$$

$$r_{F1} = 0.08$$

En la cual “a” representa la longitud del muslo del ser humano, lo cual para nuestro caso es igual a 35cm (caso máximo).

Reemplazando, se obtiene:

$$F_1 \cdot 0.08 - w_m \cdot \sin(\theta_m - 90) \cdot 0.39a - F_{hry} \cdot \sin(\theta_m - 90) \cdot a - F_{hrx} \cdot \cos(\theta_m - 90) \cdot a = I_{Gm} \alpha_m$$

## ANEXO 3

## ANÁLISIS CINÉTICO DEL DISPOSITIVO EN LA FASE DE BALANCEO

## a) Análisis cinético del Subsistema Pie

Se resuelve la ecuación 3.4:

En el eje X:

$$F_{etx} + F_{plat} \cdot \cos(\theta_{pie} - 90) - F_3 \cdot \cos(\theta_{pie} - 90) = m_{exopie} a_{Gpie x}$$

En el eje Y:

$$F_{ety} + F_{plat} \cdot \sin(\theta_{pie} - 90) - F_3 \cdot \sin(\theta_{pie} - 90) - w_{exopie} = m_{exopie} a_{Gpie y}$$

Resolviendo la ecuación 3.5:

En el punto O<sub>2</sub>:

$$F_{plat} \cdot r_{Fplat} - F_3 \cdot r_{F3} - w_{exopie} \cdot \sin(\theta_{pie} - 90) \cdot r_{Gexopie} = I_{Gexopie} \alpha_{pie}$$

Dónde:

$$r_{Gexopie} = 0.5c$$

$$r_{F3} = 0.5c$$

$$r_{Fplat} = 0.5c$$

En la cual “c” representa la longitud del subsistema Pie del dispositivo, para nuestro caso es igual a 25cm.

Reemplazando, se obtiene:

$$F_{plat} \cdot 0.5c - F_3 \cdot 0.5c - w_{exopie} \cdot \sin(\theta_{pie} - 90) \cdot 0.5c = I_{Gexopie} \alpha_{pie}$$

### b) Análisis cinético del Subsistema Canilla-Pantorrilla

Se resuelve la ecuación 3.4:

En el eje X:

$$F_{erx} - F_2 \cdot \sin(\theta_{cp}) - F_{etx} = m_{exocp} a_{Gcpx}$$

En el eje Y:

$$F_{ery} - F_{ety} + F_2 \cdot \cos(\theta_{cp}) - w_{exocp} = m_{exocp} a_{Gcpy}$$

Resolviendo la ecuación 3.5:

En el punto O<sub>3</sub>:

$$M_{er} - F_2 \cdot r_{F2} + w_{exocp} \cdot \sin(90 - \theta_{cp}) \cdot r_{Gexocp} - F_{etx} \cdot \sin \theta_{cp} \cdot r_{Fet} \\ + F_{ety} \cdot \sin(90 - \theta_{cp}) \cdot r_{Fet} = I_{Gexocp} \alpha_{cp}$$

Dónde:

$$r_{Gexocp} = 0.5b$$

$$r_{Fet} = b$$

$$r_{F2} = 0.08$$

En la cual “b” representa la longitud de la pierna del ser humano, para nuestro caso es igual a 35cm (caso máximo).

Reemplazando, se obtiene:

$$M_{er} - F_2 \cdot 0.08 + w_{exocp} \cdot \sin(90 - \theta_{cp}) \cdot 0.5b - F_{etx} \cdot \sin \theta_{cp} \cdot b \\ + F_{ety} \cdot \sin(90 - \theta_{cp}) \cdot b = I_{Gcp} \alpha_{cp}$$

### c) Análisis cinético del Subsistema Muslo

Se resuelve la ecuación 3.4:

En el eje X:

$$F_{ecx} - F_1 \cdot \cos(\theta_m - 90) - F_{erx} = m_{exom} a_{Gmx}$$

En el eje Y:

$$F_{ecy} - F_1 \cdot \sin(\theta_m - 90) - F_{ery} - w_{exom} = m_{exom} a_{Gmy}$$

Resolviendo la ecuación 3.5:

En el punto O<sub>4</sub>:

$$M_{ec} - M_{er} - F_1 \cdot r_{F1} - w_{exom} \cdot \sin(\theta_m - 90) \cdot r_{Gexom} - F_{ery} \cdot \sin(\theta_m - 90) \cdot r_{Fer} - F_{erx} \cdot \cos(\theta_m - 90) \cdot r_{Fer} = I_{Gexom} \alpha_m$$

Dónde:

$$r_{Gexom} = 0.5a$$

$$r_{Fer} = a$$

$$r_{F1} = 0.08$$

En la cual “a” representa la longitud del muslo del ser humano, lo cual para nuestro caso es igual a 35cm (caso máximo).

Reemplazando, se obtiene:

$$M_{ec} - M_{er} - F_1 \cdot 0.08 - w_{exom} \cdot \sin(\theta_m - 90) \cdot 0.5a - F_{ery} \cdot \sin(\theta_m - 90) \cdot a - F_{erx} \cdot \cos(\theta_m - 90) \cdot a = I_{Gexom} \alpha_m$$

ANEXO 4

DATOS DE ENTRADA

ÁNGULOS DE LAS ARTICULACIONES (°) [Winter, 2006]

Fase	Frames	Tiempo	Cadera $\Theta_h$	Rodilla $\Theta_k$	Tobillo $\Theta_a$	Muslo $\Theta_{th}$	Pierna $\Theta_{lg}$	Pie $\Theta_{ft}$
<b>TOR</b>	0	0.000	-2.40	46.70	-15.20	87.60	40.90	115.70
	1	0.014	-0.20	52.10	-16.40	89.80	37.70	111.30
	2	0.029	2.30	56.90	-16.50	92.30	35.40	108.90
	3	0.043	5.20	61.00	-15.60	95.20	34.20	108.60
	4	0.058	8.20	64.10	-13.90	98.20	34.10	110.20
	5	0.072	11.30	66.20	-11.70	101.30	35.10	113.40
	6	0.087	14.20	67.30	-9.30	104.20	36.90	117.60
	7	0.101	16.80	67.30	-6.90	106.80	39.50	122.60
	8	0.116	19.00	66.40	-4.80	109.00	42.60	127.80
	9	0.130	20.80	64.60	-3.00	110.80	46.20	133.20
	10	0.145	22.20	62.00	-1.70	112.20	50.20	138.50
	11	0.159	23.30	58.70	-0.70	113.30	54.60	143.90
	12	0.174	23.80	54.80	-0.10	113.80	59.00	148.90
	13	0.188	24.10	50.30	0.30	114.10	63.80	154.10
	14	0.203	24.00	45.40	0.60	114.00	68.60	159.20
	15	0.217	23.70	40.10	0.70	113.70	73.60	164.30
	16	0.232	23.10	34.50	0.90	113.10	78.60	169.50
	17	0.246	22.40	28.70	1.00	112.40	83.70	174.70
	18	0.261	21.50	22.80	1.10	111.50	88.70	179.80
	19	0.275	20.50	16.90	1.30	110.50	93.60	184.90
	20	0.290	19.40	11.50	1.60	109.40	97.90	189.50
	21	0.304	18.30	6.70	1.90	108.30	101.60	193.50
	22	0.319	17.20	2.70	2.20	107.20	104.50	196.70
	23	0.333	16.20	-0.10	2.50	106.20	106.30	198.80
	24	0.348	15.20	-1.80	2.50	105.20	107.00	199.50
	25	0.362	14.30	-2.30	2.10	104.30	106.60	198.70
	26	0.377	13.60	-1.80	1.20	103.60	105.40	196.60
<b>HCR</b>	27	0.391	12.80	-0.60	-0.40	102.80	103.40	193.00
	28	0.406	12.20	1.10	-2.50	102.20	101.10	188.60
	29	0.420	11.70	3.00	-4.70	101.70	98.70	184.00
	30	0.435	11.40	5.10	-6.50	101.40	96.30	179.80
	31	0.449	11.20	7.40	-7.60	101.20	93.80	176.20
	32	0.464	11.30	9.80	-7.80	101.30	91.50	173.70
	33	0.478	11.50	12.10	-7.20	101.50	89.40	172.20
	34	0.493	11.60	14.00	-6.00	101.60	87.60	171.60
	35	0.507	11.40	15.40	-4.60	101.40	86.00	171.40
	36	0.522	10.80	16.20	-3.10	100.80	84.60	171.50
	37	0.536	9.80	16.30	-1.80	99.80	83.50	171.70
	38	0.551	8.60	15.90	-0.60	98.60	82.70	172.10

	39	0.565	7.20	15.20	0.40	97.20	82.00	172.40
	40	0.580	5.80	14.20	1.20	95.80	81.60	172.80
	41	0.594	4.50	13.20	2.10	94.50	81.30	173.40
	42	0.609	3.50	12.30	2.80	93.50	81.20	174.00
	43	0.623	2.70	11.40	3.40	92.70	81.30	174.70
	44	0.638	2.00	10.70	3.90	92.00	81.30	175.20
	45	0.652	1.50	10.10	4.20	91.50	81.40	175.60
	46	0.667	1.10	9.40	4.60	91.10	81.70	176.30
	47	0.681	0.80	8.80	4.90	90.80	82.00	176.90
	48	0.696	0.40	8.20	5.30	90.40	82.20	177.50
	49	0.710	0.00	7.60	5.90	90.00	82.40	178.30
	50	0.725	-0.50	7.00	6.40	89.50	82.50	178.90
	51	0.739	-1.20	6.40	6.70	88.80	82.40	179.10
	52	0.754	-1.80	5.90	6.90	88.20	82.30	179.20
	53	0.768	-2.50	5.40	6.90	87.50	82.10	179.00
	54	0.783	-3.10	5.20	6.90	86.90	81.70	178.60
	55	0.797	-3.70	5.10	6.80	86.30	81.20	178.00
	56	0.811	-4.20	5.50	6.80	85.80	80.30	177.10
	57	0.826	-4.60	6.20	6.80	85.40	79.20	176.00
	58	0.840	-4.90	7.30	6.50	85.10	77.80	174.30
	59	0.855	-5.20	8.90	5.90	84.80	75.90	171.80
	60	0.869	-5.60	10.90	4.80	84.40	73.50	168.30
	61	0.884	-5.90	13.30	3.20	84.10	70.80	164.00
	62	0.898	-6.10	16.20	1.20	83.90	67.70	158.90
	63	0.913	-6.20	19.60	-1.40	83.80	64.20	152.80
	64	0.927	-6.20	23.50	-4.40	83.80	60.30	145.90
	65	0.942	-6.00	27.80	-8.00	84.00	56.20	138.20
	66	0.956	-5.70	32.40	-11.80	84.30	51.90	130.10
	67	0.971	-5.00	37.40	-15.40	85.00	47.60	122.20
	68	0.985	-4.00	42.50	-18.30	86.00	43.50	115.20
<b>TOR</b>	69	1.000	-2.50	47.60	-20.10	87.50	39.90	109.80
	70	1.015	-0.50	52.40	-20.50	89.50	37.10	106.60
	71	1.029	1.80	56.70	-19.80	91.80	35.10	105.30
	72	1.044	4.50	60.40	-18.20	94.50	34.10	105.90
	73	1.058	7.30	63.40	-16.20	97.30	33.90	107.70
	74	1.073	10.20	65.40	-14.00	100.20	34.80	110.80
	75	1.087	12.90	66.50	-11.80	102.90	36.40	114.60
	76	1.102	15.30	66.60	-9.90	105.30	38.70	118.80
	77	1.116	17.30	65.70	-8.10	107.30	41.60	123.50
	78	1.131	18.90	63.90	-6.50	108.90	45.00	128.50
	79	1.145	20.10	61.30	-5.20	110.10	48.80	133.60
	80	1.160	20.90	58.00	-4.10	110.90	52.90	138.80
	81	1.174	21.60	54.20	-3.20	111.60	57.40	144.20
	82	1.189	22.10	49.90	-2.50	112.10	62.20	149.70
	83	1.203	22.40	45.20	-2.00	112.40	67.20	155.20
	84	1.218	22.60	40.00	-1.60	112.60	72.60	161.00
	85	1.232	22.50	34.50	-1.30	112.50	78.00	166.70
	86	1.247	22.20	28.60	-1.10	112.20	83.60	172.50



	87	1.261	21.60	22.60	-0.80	111.60	89.00	178.20
	88	1.276	20.70	16.50	-0.40	110.70	94.20	183.80
	89	1.290	19.60	10.90	0.10	109.60	98.70	188.80
	90	1.305	18.30	5.80	0.70	108.30	102.50	193.20
	91	1.319	17.10	1.80	1.30	107.10	105.30	196.60
	92	1.334	15.90	-1.10	1.70	105.90	107.00	198.70
	93	1.348	14.90	-2.60	1.70	104.90	107.50	199.20
	94	1.363	14.00	-3.00	1.20	104.00	107.00	198.20
	95	1.377	13.10	-2.30	0.00	103.10	105.40	195.40
<b>HCR</b>	96	1.392	12.30	-0.80	-1.80	102.30	103.10	191.30
	97	1.406	11.60	1.10	-4.10	101.60	100.50	186.40
	98	1.421	11.10	3.40	-6.40	101.10	97.70	181.30
	99	1.435	10.70	5.90	-8.00	100.70	94.80	176.80
	100	1.450	10.50	8.50	-8.90	100.50	92.00	173.10
	101	1.464	10.40	11.00	-8.80	100.40	89.40	170.60
	102	1.479	10.20	13.30	-8.00	100.20	86.90	168.90
	103	1.493	9.90	15.10	-6.70	99.90	84.80	168.10
	104	1.508	9.40	16.30	-5.20	99.40	83.10	167.90
	105	1.522	8.50	16.90	-3.70	98.50	81.60	167.90

**FUERZAS DE REACCIÓN DEL PISO (N) [Winter, 2006]**

Fase	Frames	Tiempo	Fuerza de Reacción - Piso	
			F <sub>px</sub>	F <sub>py</sub>
<b>TOR</b>	0	0.000	0.00	0.00
	1	0.014	0.00	0.00
	2	0.029	0.00	0.00
	3	0.043	0.00	0.00
	4	0.058	0.00	0.00
	5	0.072	0.00	0.00
	6	0.087	0.00	0.00
	7	0.101	0.00	0.00
	8	0.116	0.00	0.00
	9	0.130	0.00	0.00
	10	0.145	0.00	0.00
	11	0.159	0.00	0.00
	12	0.174	0.00	0.00
	13	0.188	0.00	0.00
	14	0.203	0.00	0.00
	15	0.217	0.00	0.00
	16	0.232	0.00	0.00
	17	0.246	0.00	0.00
	18	0.261	0.00	0.00
	19	0.275	0.00	0.00

	20	0.290	0.00	0.00
	21	0.304	0.00	0.00
	22	0.319	0.00	0.00
	23	0.333	0.00	0.00
	24	0.348	0.00	0.00
	25	0.362	0.00	0.00
	26	0.377	0.00	0.00
<b>HCR</b>	27	0.391	37.30	87.10
	28	0.406	-4.20	192.60
	29	0.420	-43.70	304.10
	30	0.435	-74.00	404.20
	31	0.449	-91.90	476.60
	32	0.464	-102.70	521.70
	33	0.478	-110.50	552.90
	34	0.493	-114.20	579.80
	35	0.507	-110.50	599.60
	36	0.522	-98.10	604.50
	37	0.536	-79.80	589.90
	38	0.551	-62.00	558.10
	39	0.565	-48.70	516.70
	40	0.580	-39.80	473.40
	41	0.594	-33.00	433.40
	42	0.609	-27.00	400.30
	43	0.623	-21.80	377.10
	44	0.638	-18.10	365.00
	45	0.652	-16.60	362.30
	46	0.667	-16.80	366.50
	47	0.681	-16.80	375.00
	48	0.696	-14.50	386.10
	49	0.710	-9.60	400.30
	50	0.725	-3.80	418.80
	51	0.739	2.20	441.00
	52	0.754	8.70	465.80
	53	0.768	16.50	493.70
	54	0.783	26.80	523.90
	55	0.797	40.10	552.60
	56	0.811	54.80	576.80
	57	0.826	68.10	595.80
	58	0.840	79.60	608.60
	59	0.855	90.80	612.10
	60	0.869	101.50	602.30
	61	0.884	110.40	576.10
	62	0.898	115.60	530.30

	63	0.913	114.50	463.00
	64	0.927	105.20	377.30
	65	0.942	88.20	282.10
	66	0.956	65.70	190.10
	67	0.971	41.40	110.80
	68	0.985	18.40	44.40
<b>TOR</b>	69	1.000	0.00	0.00
	70	1.015	0.00	0.00
	71	1.029	0.00	0.00
	72	1.044	0.00	0.00
	73	1.058	0.00	0.00
	74	1.073	0.00	0.00
	75	1.087	0.00	0.00
	76	1.102	0.00	0.00
	77	1.116	0.00	0.00
	78	1.131	0.00	0.00
	79	1.145	0.00	0.00
	80	1.160	0.00	0.00
	81	1.174	0.00	0.00
	82	1.189	0.00	0.00
	83	1.203	0.00	0.00
	84	1.218	0.00	0.00
	85	1.232	0.00	0.00
	86	1.247	0.00	0.00
	87	1.261	0.00	0.00
	88	1.276	0.00	0.00
	89	1.290	0.00	0.00
	90	1.305	0.00	0.00
	91	1.319	0.00	0.00
	92	1.334	0.00	0.00
	93	1.348	0.00	0.00
	94	1.363	0.00	0.00
	95	1.377	0.00	0.00
<b>HCR</b>	96	1.392	0.00	0.00
	97	1.406	0.00	0.00
	98	1.421	0.00	0.00
	99	1.435	0.00	0.00
	100	1.450	0.00	0.00
	101	1.464	0.00	0.00
	102	1.479	0.00	0.00
	103	1.493	0.00	0.00
	104	1.508	0.00	0.00
	105	1.522	0.00	0.00

FUERZAS EN LAS ARTICULACIONES DEL TOBILLO, RODILLA Y CADERA (N) [Winter, 2006]

Fase	Frames	Tiempo	Fuerza - Tobillo		Fuerza - Rodilla		Fuerza - Cadera	
			F <sub>tx</sub>	F <sub>ty</sub>	F <sub>rx</sub>	F <sub>ry</sub>	F <sub>cx</sub>	F <sub>cy</sub>
TOR	0	0.000	20.90	3.90	52.00	31.60	59.70	112.10
	1	0.014	19.80	0.00	41.10	27.10	30.30	117.10
	2	0.029	17.60	-3.10	30.80	22.20	9.10	116.70
	3	0.043	14.90	-5.00	22.00	17.80	-3.80	111.50
	4	0.058	12.30	-5.50	15.10	14.60	-9.40	102.80
	5	0.072	10.30	-4.70	10.10	12.70	-10.60	91.70
	6	0.087	8.60	-3.00	6.50	12.20	-10.00	80.40
	7	0.101	7.30	-0.70	4.10	13.40	-9.80	71.30
	8	0.116	6.30	2.00	2.50	15.90	-10.40	65.00
	9	0.130	5.50	4.80	1.40	19.10	-11.70	60.00
	10	0.145	4.70	7.50	0.40	22.80	-13.30	56.10
	11	0.159	3.70	10.20	-0.90	27.10	-15.20	54.50
	12	0.174	2.50	12.60	-2.80	31.80	-18.10	55.50
	13	0.188	0.90	14.70	-5.70	36.20	-21.70	57.60
	14	0.203	-0.90	16.10	-9.50	39.60	-25.30	59.90
	15	0.217	-3.00	16.80	-14.20	42.00	-28.40	62.30
	16	0.232	-5.40	17.00	-19.70	43.40	-31.30	65.10
	17	0.246	-8.30	16.30	-25.50	43.70	-33.40	69.00
	18	0.261	-11.50	14.80	-30.70	42.70	-33.90	74.40
	19	0.275	-14.90	12.20	-35.50	40.70	-33.10	82.10
	20	0.290	-18.10	9.00	-39.90	38.20	-32.10	91.90
	21	0.304	-20.80	5.20	-43.90	34.90	-30.90	100.10
	22	0.319	-22.70	1.60	-46.60	30.60	-29.40	103.10
	23	0.333	-23.20	-1.20	-47.30	26.10	-27.90	101.50
	24	0.348	-22.20	-2.40	-45.30	23.30	-26.80	99.40
	25	0.362	-19.50	-1.70	-40.60	24.10	-26.50	100.70
26	0.377	-15.60	1.00	-34.10	29.10	-27.30	106.90	
HCR	27	0.391	-48.70	-82.40	-64.30	-50.20	-66.10	29.70
	28	0.406	-3.80	-184.10	-16.80	-148.20	-26.30	-66.40
	29	0.420	38.20	-292.90	27.20	-255.20	12.40	-173.30
	30	0.435	69.80	-391.40	59.90	-354.60	41.30	-276.10
	31	0.449	88.40	-463.40	77.70	-429.90	54.70	-359.40
	32	0.464	99.70	-508.90	86.30	-480.20	58.30	-421.00
	33	0.478	108.10	-541.10	91.50	-516.70	60.40	-468.30
	34	0.493	112.50	-569.00	94.30	-547.20	63.80	-504.40
	35	0.507	109.40	-589.90	91.70	-568.40	64.20	-526.00

	36	0.522	97.10	-595.70	80.90	-573.40	55.70	-529.10
	37	0.536	78.50	-581.70	63.70	-558.20	39.00	-512.70
	38	0.551	60.30	-550.20	47.20	-525.10	22.50	-478.10
	39	0.565	47.20	-508.70	36.80	-481.50	13.40	-431.60
	40	0.580	38.80	-465.30	32.20	-436.10	12.30	-383.00
	41	0.594	32.70	-425.20	29.80	-395.60	15.20	-341.70
	42	0.609	27.20	-392.20	27.40	-364.40	18.70	-314.30
	43	0.623	22.40	-369.40	24.60	-344.70	21.00	-301.10
	44	0.638	19.00	-357.60	22.30	-335.40	21.90	-296.70
	45	0.652	17.40	-355.00	21.00	-333.80	22.50	-295.30
	46	0.667	17.60	-359.10	21.00	-337.20	24.40	-295.00
	47	0.681	17.50	-367.30	20.70	-343.70	27.30	-296.30
	48	0.696	15.20	-378.20	18.30	-352.30	27.90	-300.20
	49	0.710	10.30	-392.40	13.00	-364.30	23.40	-308.60
	50	0.725	4.20	-410.80	6.00	-381.20	14.50	-323.00
	51	0.739	-2.10	-432.70	-0.90	-402.20	5.70	-342.80
	52	0.754	-9.00	-457.00	-6.80	-426.30	1.00	-366.20
	53	0.768	-16.80	-484.40	-12.30	-453.70	0.10	-393.60
	54	0.783	-27.10	-514.20	-19.70	-483.60	-2.50	-424.70
	55	0.797	-40.40	-542.90	-30.90	-513.00	-10.60	-456.20
	56	0.811	-55.00	-567.50	-43.50	-538.70	-20.30	-484.20
	57	0.826	-67.60	-586.90	-53.30	-559.30	-24.80	-506.30
	58	0.840	-77.90	-599.70	-59.10	-573.00	-22.70	-521.50
	59	0.855	-87.40	-602.80	-63.10	-576.40	-17.80	-527.10
	60	0.869	-96.40	-592.20	-66.50	-566.10	-13.20	-519.00
	61	0.884	-103.80	-565.00	-68.90	-538.70	-10.10	-492.10
	62	0.898	-107.70	-518.20	-69.70	-491.10	-10.70	-442.70
	63	0.913	-105.70	-450.20	-67.50	-421.90	-16.00	-370.10
	64	0.927	-95.50	-364.40	-60.10	-335.20	-23.20	-279.20
	65	0.942	-77.20	-269.90	-46.10	-240.40	-27.50	-179.50
	66	0.956	-53.00	-179.10	-26.40	-149.30	-25.00	-82.30
	67	0.971	-26.70	-101.80	-4.10	-71.20	-16.00	2.90
	68	0.985	-2.10	-37.90	16.90	-6.80	-3.50	74.90
<b>TOR</b>	69	1.000	17.10	3.50	32.90	34.30	8.90	122.00
	70	1.015	16.80	0.30	30.40	29.20	7.90	120.00
	71	1.029	15.80	-2.50	28.00	23.00	10.70	113.50
	72	1.044	14.30	-4.40	25.40	17.20	14.00	104.60
	73	1.058	12.60	-4.90	22.10	13.40	14.80	96.00
	74	1.073	11.10	-3.90	18.10	12.20	12.80	88.50
	75	1.087	9.70	-2.00	14.00	12.80	9.00	80.70
	76	1.102	8.50	0.20	10.00	14.10	3.90	71.10
	77	1.116	7.40	2.20	6.60	15.60	-2.00	61.10
	78	1.131	6.30	4.30	3.70	17.80	-8.00	54.20

	79	1.145	5.30	6.70	1.60	21.50	-13.80	51.80
	80	1.160	4.30	9.20	-0.20	25.90	-18.90	53.00
	81	1.174	3.40	11.70	-1.70	30.70	-22.80	55.80
	82	1.189	2.40	14.10	-3.50	35.50	-25.50	59.10
	83	1.203	1.10	16.30	-6.00	39.80	-27.30	62.00
	84	1.218	-0.90	17.80	-9.80	43.00	-28.90	63.70
	85	1.232	-3.50	18.50	-15.10	44.70	-30.50	65.20
	86	1.247	-6.80	18.00	-21.70	45.30	-31.70	68.80
	87	1.261	-10.80	16.40	-29.40	45.00	-32.70	75.50
	88	1.276	-15.30	13.60	-37.50	43.50	-34.20	83.80
	89	1.290	-19.60	9.70	-44.80	40.30	-35.70	92.00
	90	1.305	-23.10	5.30	-49.60	36.00	-34.20	99.00
	91	1.319	-25.00	1.20	-50.80	31.40	-28.50	104.40
	92	1.334	-24.90	-1.80	-48.40	27.60	-20.90	108.10
	93	1.348	-22.90	-2.80	-43.50	26.50	-14.90	111.60
	94	1.363	-19.40	-1.60	-36.80	29.00	-12.50	115.80
	95	1.377	-15.00	1.40	-29.50	33.90	-14.10	119.70
<b>HCR</b>	96	1.392	-10.90	4.90	-23.40	39.00	-19.40	122.30
	97	1.406	-8.10	8.20	-19.90	42.80	-27.30	123.50
	98	1.421	-6.50	10.40	-19.40	44.20	-36.70	121.90
	99	1.435	-5.90	11.60	-21.40	42.90	-47.10	115.10
	100	1.450	-5.60	11.80	-24.80	39.70	-58.30	103.20
	101	1.464	-5.20	11.40	-28.40	36.10	-68.80	89.80
	102	1.479	-4.50	10.90	-30.30	33.70	-75.70	80.00
	103	1.493	-3.40	10.40	-28.90	33.10	-76.90	76.40
	104	1.508	-1.80	10.00	-24.40	33.60	-73.90	77.20
	105	1.522	-0.40	9.50	-19.00	34.00	-72.30	78.90

**MOMENTOS EN LAS ARTICULACIONES DEL TOBILLO, RODILLA Y CADERA (N.m) [Winter, 2006]**

Fase	Frames	Tiempo	Momentos Internos		
			Cadera (Mc)	Rodilla (Mr)	Tobillo (Mt)
<b>TOR</b>	0	0.000	22.90	7.00	1.60
	1	0.014	17.80	7.00	1.60
	2	0.029	13.80	6.90	1.50
	3	0.043	10.80	6.50	1.30
	4	0.058	8.50	5.80	1.10
	5	0.072	6.70	4.80	0.90
	6	0.087	5.00	3.60	0.70
	7	0.101	3.40	2.30	0.60
	8	0.116	2.00	1.00	0.50

	9	0.130	0.90	-0.10	0.40
	10	0.145	0.00	-1.00	0.40
	11	0.159	-0.80	-1.90	0.50
	12	0.174	-1.50	-2.70	0.50
	13	0.188	-2.50	-3.50	0.60
	14	0.203	-3.60	-4.20	0.60
	15	0.217	-5.00	-4.90	0.60
	16	0.232	-6.70	-5.80	0.60
	17	0.246	-8.70	-6.80	0.60
	18	0.261	-10.50	-8.00	0.50
	19	0.275	-12.20	-9.40	0.30
	20	0.290	-14.00	-11.10	0.10
	21	0.304	-16.00	-12.80	-0.10
	22	0.319	-17.90	-14.30	-0.30
	23	0.333	-19.10	-15.10	-0.50
	24	0.348	-18.70	-14.60	-0.50
	25	0.362	-16.10	-12.70	-0.50
	26	0.377	-11.70	-9.50	-0.30
<b>HCR</b>	27	0.391	-54.40	-33.80	-1.70
	28	0.406	-37.60	-19.90	4.60
	29	0.420	-23.50	-7.60	8.30
	30	0.435	-20.80	-4.50	2.80
	31	0.449	-11.10	7.80	6.90
	32	0.464	-7.80	14.50	4.60
	33	0.478	-0.40	24.80	5.00
	34	0.493	4.70	31.60	2.60
	35	0.507	7.30	35.00	-0.50
	36	0.522	9.90	37.80	0.20
	37	0.536	5.00	32.50	-3.50
	38	0.551	3.00	28.10	-5.10
	39	0.565	4.70	24.80	-6.60
	40	0.580	6.50	20.20	-10.50
	41	0.594	12.00	19.80	-10.60
	42	0.609	12.50	15.80	-14.10
	43	0.623	10.90	10.90	-18.70
	44	0.638	10.10	7.80	-22.50
	45	0.652	11.20	6.60	-25.30
	46	0.667	13.80	6.60	-27.90
	47	0.681	16.70	7.00	-30.30
	48	0.696	17.70	5.90	-33.50
	49	0.710	15.20	2.30	-38.80
	50	0.725	11.20	-2.30	-45.10
	51	0.739	14.60	-0.10	-45.40



	52	0.754	12.20	-5.00	-53.50
	53	0.768	14.70	-6.20	-58.80
	54	0.783	16.60	-7.90	-64.80
	55	0.797	16.50	-10.40	-71.20
	56	0.811	16.10	-12.50	-77.30
	57	0.826	18.30	-12.40	-82.70
	58	0.840	23.60	-10.00	-87.00
	59	0.855	29.50	-6.40	-89.70
	60	0.869	34.40	-2.20	-89.80
	61	0.884	37.30	2.30	-86.70
	62	0.898	37.20	6.50	-79.70
	63	0.913	33.60	10.10	-68.60
	64	0.927	27.50	12.50	-54.30
	65	0.942	20.70	13.30	-38.80
	66	0.956	15.20	12.50	-24.20
	67	0.971	11.90	10.60	-12.30
	68	0.985	9.30	6.80	-3.60
<b>TOR</b>	69	1.000	9.00	3.60	1.40
	70	1.015	10.40	4.60	1.40
	71	1.029	12.30	5.70	1.40
	72	1.044	13.60	6.40	1.30
	73	1.058	13.40	6.30	1.10
	74	1.073	11.80	5.50	0.90
	75	1.087	9.40	4.30	0.70
	76	1.102	6.80	3.00	0.60
	77	1.116	4.20	1.80	0.50
	78	1.131	2.00	0.60	0.50
	79	1.145	0.40	-0.50	0.50
	80	1.160	-0.70	-1.50	0.50
	81	1.174	-1.40	-2.20	0.60
	82	1.189	-1.70	-2.70	0.60
	83	1.203	-2.10	-3.10	0.70
	84	1.218	-3.00	-3.60	0.80
	85	1.232	-4.50	-4.30	0.80
	86	1.247	-6.70	-5.60	0.70
	87	1.261	-9.40	-7.40	0.60
	88	1.276	-12.80	-9.70	0.40
	89	1.290	-16.40	-12.30	0.10
	90	1.305	-19.00	-14.50	-0.20
	91	1.319	-19.70	-15.90	-0.40
	92	1.334	-18.60	-15.90	-0.50
	93	1.348	-15.70	-14.50	-0.60
	94	1.363	-11.50	-11.70	-0.50



	95	1.377	-6.70	-8.20	-0.30
<b>HCR</b>	96	1.392	-2.90	-4.90	0.00
	97	1.406	-1.00	-2.80	0.30
	98	1.421	-1.40	-2.00	0.50
	99	1.435	-3.90	-2.40	0.60
	100	1.450	-7.80	-3.20	0.70
	101	1.464	-12.00	-4.10	0.70
	102	1.479	-14.70	-4.60	0.60
	103	1.493	-14.90	-4.20	0.60
	104	1.508	-12.80	-3.20	0.60
	105	1.522	-10.40	-2.10	0.60



## ANEXO 5

**CARGAS Y MOMENTOS NECESARIOS PARA LA ELECCIÓN DE LOS ACTUADORES ROTATIVOS**

En la obtención de las cargas y momentos necesarios para la elección de los actuadores rotativos, primero se establece la geometría del eslabón de cada subsistema; para lo cual se basara en un tubo circular con las siguientes características:

- $a_{tc}$ : Ancho del tubo circular
- $l_{tc}$ : Longitud del tubo circular
- $e_{tc}$ : Espesor del tubo circular

**Tubo circular:**

Se determina la masa del tubo circular y la inercia del mismo:

$$m_{tc} = \left( \pi l_{tc} \frac{a_{tc}^2}{4} - \pi l_{tc} \frac{(a_{tc} - 2e_{tc})^2}{4} \right) \rho_{Al}$$

$$I_{tc} = m_{tc} (r_{tc}^2)$$

Se eligió al aluminio como material para el tubo circular por lo que los subsistemas del dispositivo presentaran las siguientes características:

- $a_{tc}$ : Ancho del tubo circular = 40 mm
- $l_{tc}$ : Longitud del tubo circular = 350 mm
- $e_{tc}$ : Espesor del tubo circular = 2.5 mm
- $\rho_{Al}$ : Peso específico del aluminio: 2700 kg/m<sup>3</sup>

Por lo que se obtiene,

$$m_{tc} = 0.278 \text{ kg}$$

$$I_{tc} = 1.11 \times 10^{-4} \text{ kg} \cdot \text{m}^2$$

Entonces para desarrollar las ecuaciones mencionadas en anexos anteriores se llevara una metodología de simulación, la cual consta de dos etapas:

La primera etapa consta de un análisis de la dinámica directa para lo cual se posee información experimental de una persona de determinadas características: ángulos de articulaciones, fuerza de reacción del piso, fuerza en las articulaciones del tobillo, rodilla y cadera, momentos internos en las articulaciones del tobillo, rodilla y cadera. Para ello se asume en este caso que los tubos circulares del dispositivo representa cada segmento de los miembros inferiores: Muslo, pierna (Canilla-Pantorrilla) y Pie, con lo cual se obtendrá las aceleraciones lineales y angulares del Muslo, Pierna (Canilla-Pantorrilla) y Pie.

Conocida las aceleraciones lineales y angulares de cada parte del miembro inferior del ser humano, se realiza la segunda etapa que es resolver la dinámica inversa, con la cual obtendremos parámetros que fueron los parámetros iniciales en la dinámica directa (primera etapa). Esta segunda etapa se realizará en dos partes ya que primero se le aplicará al cuerpo humano que se encuentra sujeto al exoesqueleto para obtener las fuerzas de sujeción entre el miembro inferior y el dispositivo, y luego se le aplicará la dinámica inversa a cada parte del exoesqueleto y, con ello, se obtendrá las cargas y momentos necesarios para la elección de los actuadores rotativos.

#### **a) Dinámica directa**

En el análisis de la dinámica directa se asume que el cuerpo humano está libre; es decir, en esta etapa el dispositivo no entra a tallar. Esto con el objetivo de simular la marcha humana y se obtenga todos los parámetros necesarios de la marcha humana como son la aceleración lineal y angular del miembro inferior.

Se tiene información numérica de parámetros esenciales durante la marcha de una persona (Anexo 4) [WINTER, 2006]:

- Ángulos de las articulaciones:  $\theta_h$  (cadera),  $\theta_k$  (rodilla),  $\theta_a$  (tobillo), con los cuales podemos obtener los ángulos del pie  $\theta_{ft}$ , la pierna (Canilla-Pantorrilla)  $\theta_{lg}$  y el muslo  $\theta_{th}$  respecto a la horizontal.

$$\theta_{th} = \theta_h + \theta_{tr}$$

$$\theta_{lg} = \theta_{th} - \theta_k$$

$$\theta_{ft} = \theta_{lg} + \theta_a + 90$$

Se recuerda que  $\theta_{tr}$  se asume como  $90^\circ$  en todo momento de la marcha humana.

- Fuerza de reacción entre el pie y el piso.
- Fuerza en las articulaciones del tobillo, rodilla y cadera.
- Momentos internos generados en las articulaciones del tobillo, rodilla y cadera.

Se realizará la simulación del miembro inferior, durante la fase de balanceo ya que es nuestro tema de estudio, la fase de estancia se deja para posteriores estudios en el tema. Por tema de simplicidad se utilizará las expresiones  $S\theta$  y  $C\theta$  para representar a  $\text{Sin}\theta$  y  $\text{Cos}\theta$  respectivamente.

En la fase de balanceo, se ordena las variables de las ecuaciones 3.6, 3.7 y 3.8, con lo cual se obtiene:

$$\begin{bmatrix} m_{pie} & 0 & 0 \\ 0 & m_{pie} & 0 \\ 0 & 0 & I_{pie} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} a_{pie x} \\ a_{pie y} \\ \alpha_{pie} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} F_{tx} + F_{px} \\ F_{ty} + F_{py} - W_{cp} \\ M_t - w_{pie} S(\theta_{pie} - 90)(0.44c) + \sqrt{(F_{px})^2 + (F_{py})^2} (0.5c) \end{bmatrix}$$

También se ordena las ecuaciones 3.9, 3.10 y 3.11, con lo que se obtiene:

$$\begin{aligned}
 & \begin{bmatrix} m_{cp} & 0 & 0 \\ 0 & m_{cp} & 0 \\ 0 & 0 & I_{cp} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} a_{cp x} \\ a_{cp y} \\ \alpha_{cp} \end{bmatrix} \\
 = & \begin{bmatrix} F_{rx} - F_{tx} \\ F_{ry} - F_{ty} - W_{cp} \\ M_r - M_t + w_{cp}S(90 - \theta_{cp})(0.42b) - F_{tx}S(\theta_{cp})(b) + F_{ty}S(90 - \theta_{cp})(b) \end{bmatrix}
 \end{aligned}$$

Asimismo se ordena las ecuaciones 3.12, 3.13 y 3.14, con lo cual se obtiene:

$$\begin{aligned}
 & \begin{bmatrix} m_m & 0 & 0 \\ 0 & m_m & 0 \\ 0 & 0 & I_m \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} a_{m x} \\ a_{m y} \\ \alpha_m \end{bmatrix} \\
 = & \begin{bmatrix} F_{cx} - F_{rx} \\ F_{cy} - F_{ry} - W_m \\ M_c - M_r - w_mS(\theta_m - 90)(0.39a) - F_{rx}C(\theta_m - 90)(a) - F_{ry}S(\theta_m - 90)(a) \end{bmatrix}
 \end{aligned}$$

Finalmente, se reemplaza los datos conocidos (Anexo 5) y se obtienen las incógnitas de las aceleraciones lineales y angulares de cada parte del miembro inferior en la marcha humana.

## b) Dinámica inversa

En el análisis de la dinámica inversa se conoce las aceleraciones lineales y angulares de cada parte del miembro inferior humano. Con lo cual se hallará, primero, en el cuerpo humano, las fuerzas de sujeción de cada parte del miembro inferior con el dispositivo. Luego con esos datos de entrada se podrá hallar las fuerzas y momentos deseados en el exoesqueleto (dispositivo). Para este caso se considerará las características de cada subsistema del exoesqueleto (tubos circulares).

Debido a que se tiene los valores de aceleraciones lineales y angulares de cada parte del miembro inferior humano, hallado en el apartado a), se resuelven las ecuaciones del cuerpo humano durante la rehabilitación durante la fase de balanceo, 3.15 y 3.16, 3.17, 3.18, 3.19, 3.20, 3.21, 3.22 y 3.23, donde las incógnitas en este caso serán las fuerzas de reacción en cada articulación así como las fuerzas de sujeción del cuerpo humano con el dispositivo en cada subsistema.

Se ordenan las ecuaciones 3.15, 3.16 y 3.17:

$$\begin{bmatrix} 1 & 0 & C(\theta_{pie} - 90) \\ 0 & 1 & S(\theta_{pie} - 90) \\ 0 & 0 & 0.5c \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} F_{htx} \\ F_{hty} \\ F_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} m_{pie}a_{piex} \\ m_{pie}a_{piey} + W_{pie} \\ I_{Gpie} \alpha_{pie} + w_{pie}S(\theta_{pie} - 90)(0.44c) \end{bmatrix}$$

Además, se ordenan las ecuaciones 3.18, 3.19 y 3.20:

$$\begin{bmatrix} 1 & 0 & S(\theta_{cp}) \\ 0 & 1 & -C(\theta_{cp}) \\ 0 & 0 & 0.08 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} F_{hrx} \\ F_{hry} \\ F_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} m_{cp}a_{cpix} + F_{htx} \\ m_{cp}a_{cpiy} + W_{cp} + F_{hty} \\ I_{Gcp} \alpha_{cp} - w_{cp}S(90 - \theta_{cp})(0.42b) + F_{htx}S(\theta_{cp})b - F_{hty}S(90 - \theta_{cp})b \end{bmatrix}$$

Asimismo, se ordena las ecuaciones del 3.21, 3.22 y 3.23:

$$\begin{bmatrix} 1 & 0 & C(\theta_m - 90) \\ 0 & 1 & S(\theta_m - 90) \\ 0 & 0 & 0.08 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} F_{hcx} \\ F_{hcy} \\ F_1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} m_m a_{m_x} + F_{hrx} \\ m_m a_{m_y} + W_m + F_{hry} \\ I_{Gm} \alpha_m + w_m S(\theta_m - 90)(0.39a) + F_{hrx} C(\theta_m - 90)a - F_{hry} S(\theta_m - 90)a \end{bmatrix}$$

Se reemplaza las aceleraciones lineales y angulares del apartado anterior y se obtienen las incógnitas de las fuerzas de reacción en cada articulación y las fuerzas de sujeción entre el cuerpo humano y el dispositivo.

Con los resultados obtenidos se pasa a ordenar las ecuaciones 3.24, 3.25 y 3.26:

$$\begin{bmatrix} 1 & 0 & C(\theta_{pie} - 90) \\ 0 & 1 & S(\theta_{pie} - 90) \\ 0 & 0 & 0.5c \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} F_{etx} \\ F_{ety} \\ F_{plat} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} m_{exopie}a_{piex} + F_3 C(\theta_{pie} - 90) \\ m_{exopie}a_{piey} + W_{pie} + F_3 S(\theta_{pie} - 90) \\ I_{Gexopie} \alpha_{pie} + w_{exopie} S(\theta_{pie} - 90)(0.5c) + F_3(0.5c) \end{bmatrix}$$

Además, se ordenan las ecuaciones 3.27, 3.28 y 3.29:

$$\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} F_{erx} \\ F_{ery} \\ M_{er} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} m_{exocp}a_{cp}x + F_{etx} + F_2S(\theta_{cp}) \\ m_{exocp}a_{cp}y + W_{exocp} + F_{ety} - F_2C(\theta_{cp}) \\ I_{Gexocp} \alpha_{cp} - W_{exocp}S(90 - \theta_{cp})(0.5b) + F_2(0.08) + F_{etx}S(\theta_{cp})b - F_{ety}S(90 - \theta_{cp})b \end{bmatrix}$$

Asimismo, se ordenan las ecuaciones 3.30, 3.31 y 3.32:

$$\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} F_{ecx} \\ F_{ecy} \\ M_{ec} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} m_{exom}a_{mx} + F_{erx} + F_1C(\theta_m - 90) \\ m_{exom}a_{my} + W_{exom} + F_{ery} + F_1S(\theta_m - 90) \\ I_{Gexom} \alpha_m + M_{er} + F_1(0.08) + W_{exom}S(\theta_m - 90)(0.5a) + F_{erx}C(\theta_m - 90)a - F_{ery}S(\theta_m - 90)a \end{bmatrix}$$

Se reemplaza las fuerzas de sujeción entre el cuerpo humano y el dispositivo y se obtienen los momentos en las articulaciones de los subsistemas del dispositivo así como la fuerza que debe de ejercer la plataforma para reproducir la marcha humana.

Para resolver todas las ecuaciones presentadas se optó por una herramienta computacional que pueda procesar gran cantidad de información. La opción más usada es MATLAB, por lo que el desarrollo del algoritmo está basado en la metodología antes mencionada. Se tiene información numérica tomada en la marcha normal de una persona de 58 kg y de 1.45m de alto. Se analizara solo el caso de balanceo por lo que del Anexo 5 se tomaran los datos del Frame 69 al Frame 95 (Fase de balanceo) para tener resultados más exactos.

Con esa información se puede obtener la aceleración lineal y angular de cada parte de los miembros inferiores, esto mediante la dinámica directa.

Luego, mediante la dinámica inversa, se obtiene los momentos en las articulaciones del dispositivo y la fuerza que debe tener la plataforma para simular la marcha humana, con lo cual se podrá hacer la elección de los actuadores rotativos.

Se plantea realizar la rehabilitación al 50% de la cinemática del andar y con las características de peso de los miembros inferiores:

- Con 50 kg:  $m_m = 5.29 \text{ kg}$ ,  $m_{cp} = 2.53 \text{ kg}$ ,  $m_{pie} = 0.59 \text{ kg}$ ,

Del cual resultan estos datos:

Tabla 3.1: Valores máximos

	50% de la cinemática	100% de la cinemática
Fuerza plataforma (Fpla)	14.63 N	20.07 N
Momento rodilla (Mr)	14.8 Nm	23.43 Nm
Momento cadera (Mc)	27.11 Nm	38.59 Nm





**ANEXO 6**

**REDUCTOR PLANETARIO GP 62 Ø62 MM - RE 50 Ø50 MM - ENCODER**

**HEDL 5540**

**Reductor planetario GP 62 A Ø62 mm, 8 - 50 Nm**

Número de artículo 110504



**Datos generales**

Tipo de reductor	GP
Diámetro exterior	62 mm
Versión	A

**Datos del reductor**

Relación de reducción	71 : 1
Relación de reducción absoluta	226223/3179
Máx. diámetro del eje del motor	8 mm
Número de etapas	3
Máx. par en continuo	50 Nm
Par de fuerza admisible brevemente	75 Nm
Sentido de giro, de motor a eje de salida	=
Máx. rendimiento	70 %
Holgura media del reductor sin carga	2 °
Momento de inercia	104 gcm <sup>2</sup>
Longitud del reductor (L1)	104.2 mm
Máx. potencia transmisible en continuo	220 W
Máx. potencia transmisible brevemente	330 W

**Datos técnicos**

Juego radial	máx. 0.08 mm, 7 mm desde la
Juego axial Máx.	brida máx. 1 mm
carga radial	570 N, 24 mm desde la brida
Máx. carga axial (dinámica)	120 N
Máx. fuerza axial de montaje a presión	1000 N
Máx. velocidad de entrada en continuo	3000 rpm
Máx. velocidad de entrada brevemente	3000 rpm -
Rango de temperatura recomendado	30...+140 °C
Número de ciclos de esterilización	0

**Producto**

Peso	1500 g
------	--------

**RE 50 50 mm, Escobillas de grafito, 200 Vatios**  
Número de artículo 370354



**Datos generales**

Estado	provisional
--------	-------------

**Valores a tensión nominal**

Tensión nominal	24 V
Velocidad en vacío	5950 rpm
Corriente en vacío	236 mA
Velocidad nominal	5680 rpm
Par nominal (máx. par en continuo)	405 mNm
Corriente nominal (máx. corriente en continuo)	10.8 A
Par de arranque	8920 mNm
Corriente de arranque	232 A
Máx. rendimiento	94 %

**Datos característicos**

Resistencia entre terminales	0.103 $\Omega$
Inductancia en terminales	0.072 mH
Constante de par	38.5 mNm/A
Constante de velocidad	248 rpm/V
Relación velocidad/par	0.568 rpm/mNm
Constante mecánica de tiempo de arranque	3.75 ms
Momento de inercia del rotor	536 $\mu\text{cm}^2$

**Datos térmicos**

Resistencia térmica carcasa-ambiente	3.81 K/W
Resistencia térmica bobinado-carcasa	1.24 K/W
Constante de tiempo térmica del bobinado	68.5 s
Constante de tiempo térmica del motor	1370 s
Temperatura ambiente	-30...+100 °C
Máx. temperatura de bobinado	+125 °C

**Datos mecánicos**

Tipo de rodamiento/cojinete	Rodamiento de bolas
Velocidad límite	9500 rpm
Juego axial	0 - 0.1 mm
Juego radial	0.03 mm
Máx. carga axial (dinámica)	30 N
Máx. fuerza axial de montaje a presión (estática) (estático, eje apoyado)	150 N
Máx. carga radial	6000 N
	110 N, 15 mm desde la brida

**Más especificaciones**

Número de pares de polos	1
Número de segmentos de colector	15
Número de ciclos de esterilización	0

**Producto**

Peso	1100 g
------	--------

**Encoder HEDL 5540, 500 pppv, 3 canales, con line driver RS 422**  
Número de artículo 110518



**Tipo**

Número de pulsos por vuelta	500
Número de canales	3
Line Driver	DS26LS31
Máx. velocidad	12000 rpm
Diámetro del eje	8 mm

**Datos técnicos**

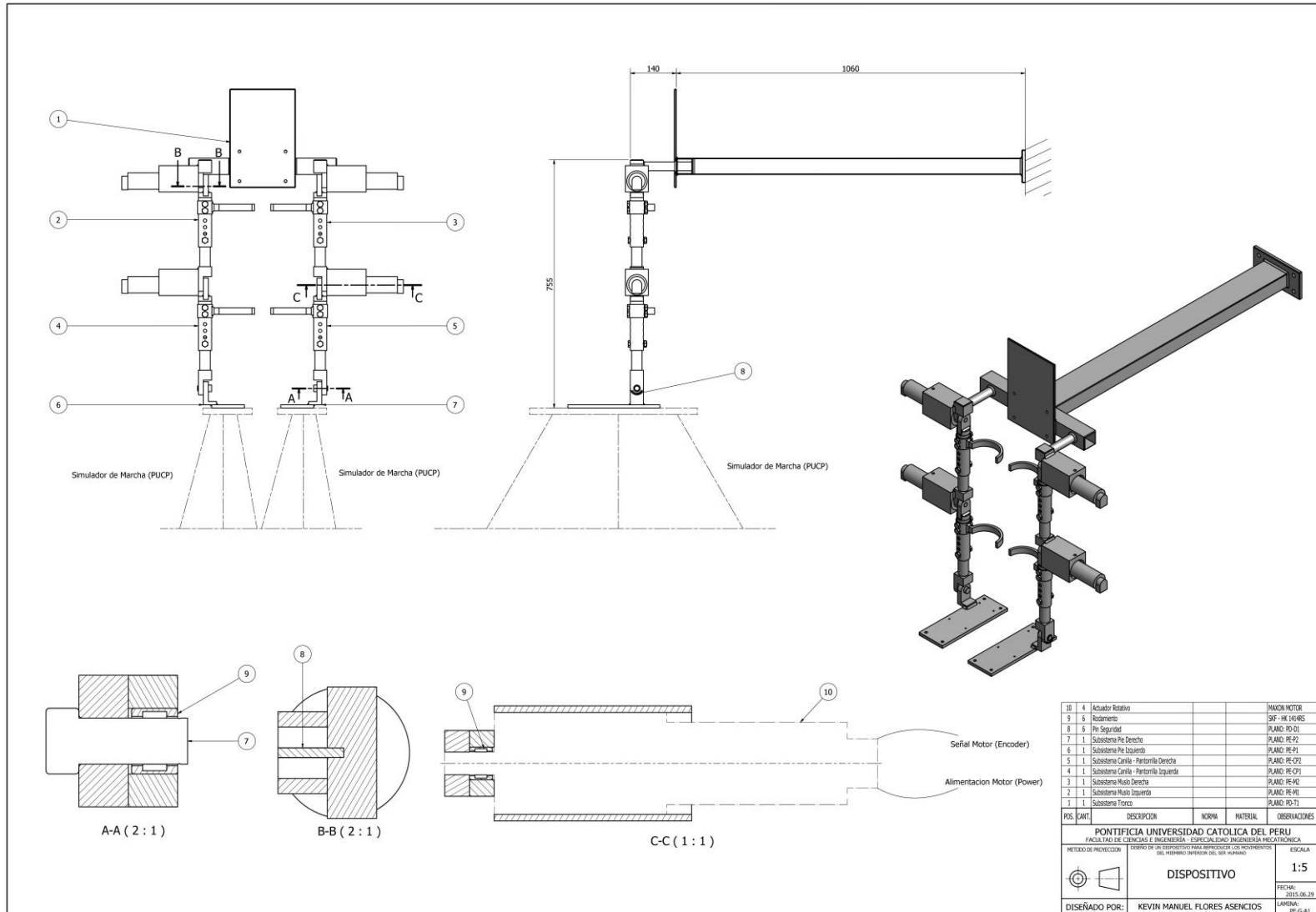
Tensión de alimentación Vcc	5.0V $\pm$ 10.0%
Lógica de driver de salida	EIA RS 422
Máx. aceleración angular	250000 rad / s <sup>2</sup>
Corriente por canal	-20...20 mA
Tiempo del flanco de subida	180 ns
Condición de medición del tiempo del flanco de subida	CL=25pF, RL=2.7kOhm
Tiempo del flanco de bajada	40 ns
Condición de medición del tiempo del flanco de bajada	CL=25pF, RL=2.7kOhm
Desfase	90 °e
Imprecisión por desfase	45 °e
Canal índice sincronizado con AB	Yes
Máx. momento de inercia del disco del encoder	0.6 gcm <sup>2</sup>
Temperatura de funcionamiento	-40...+100 °C
Posición de la salida del cable del encoder respecto al montaje del motor	-1 °

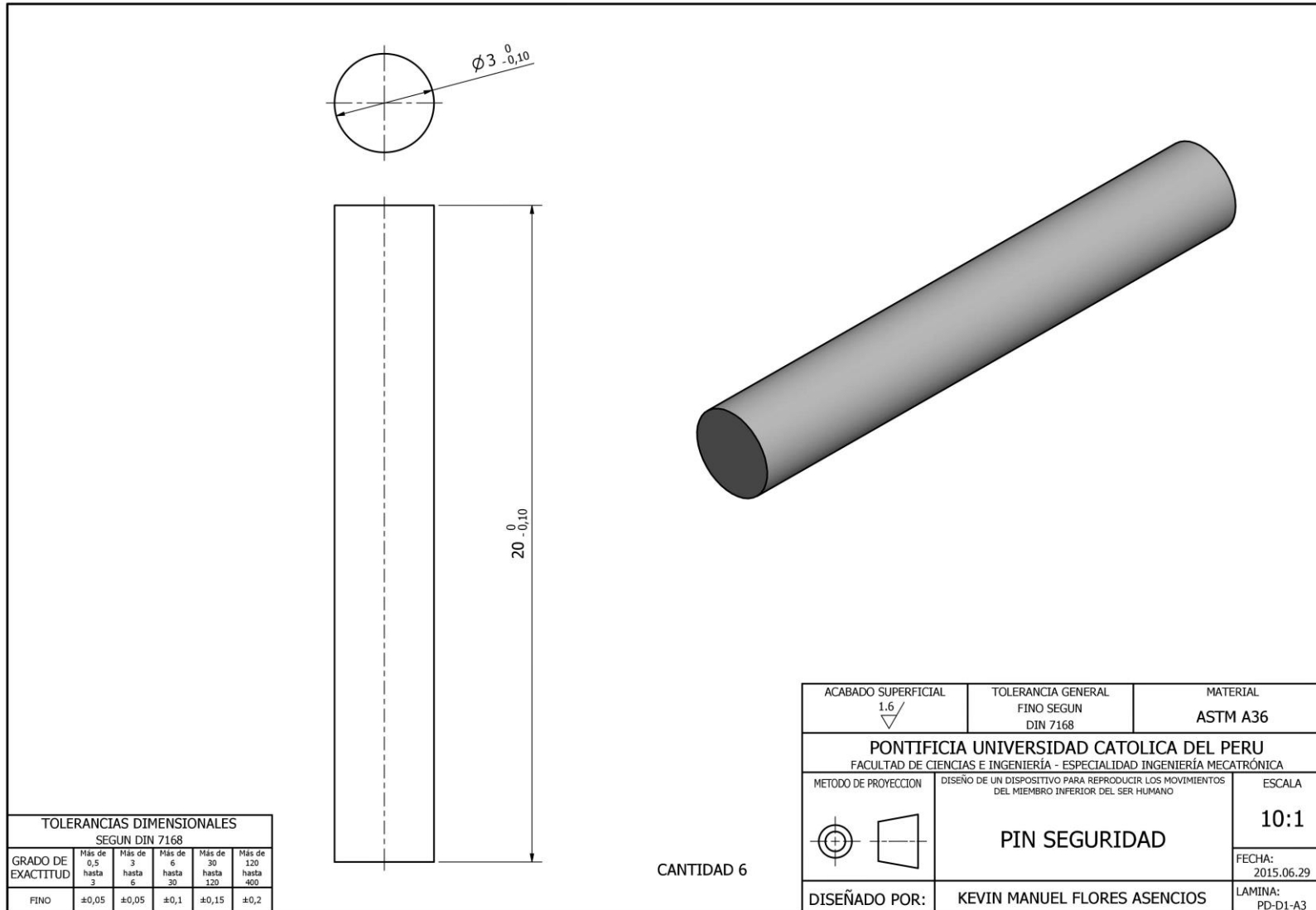
**ANEXO 7**

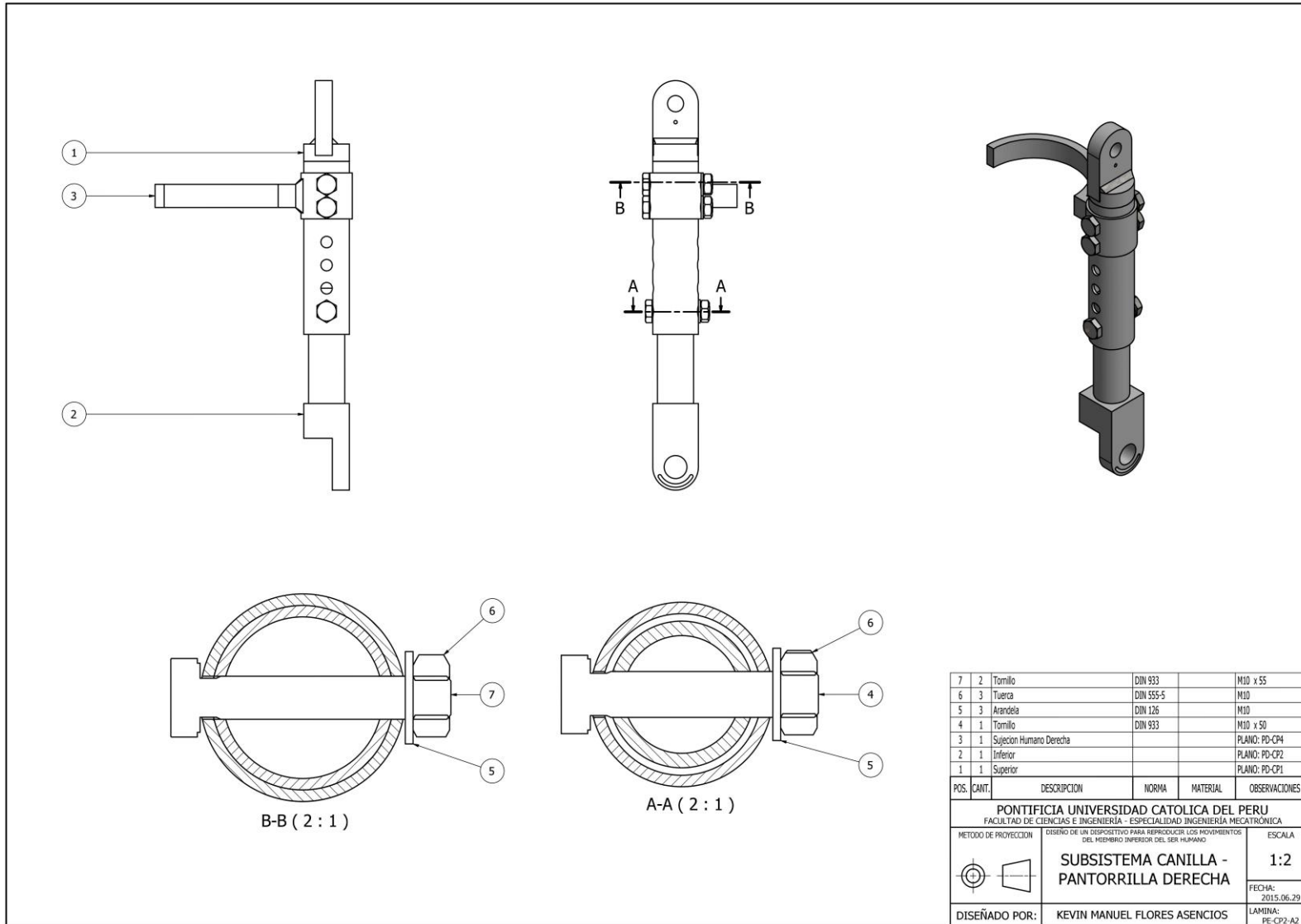
**PLANOS DE DESPIECE Y ENSAMBLE DEL DISPOSITIVO**

**VER PLANOS**

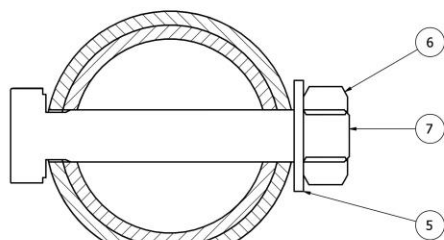
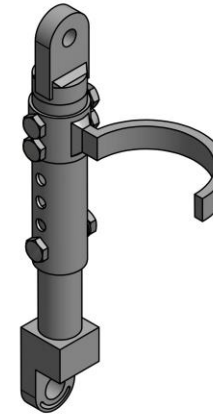
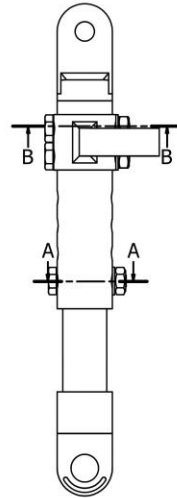
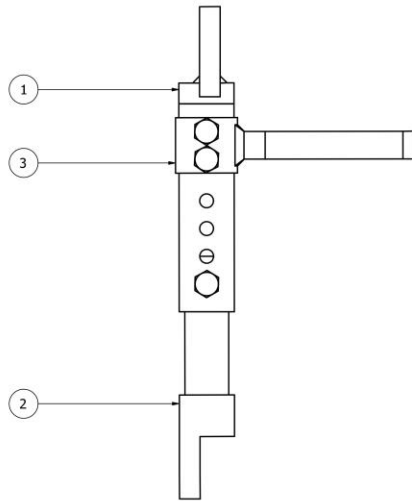




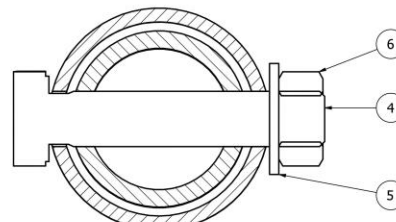








B-B (2 : 1)

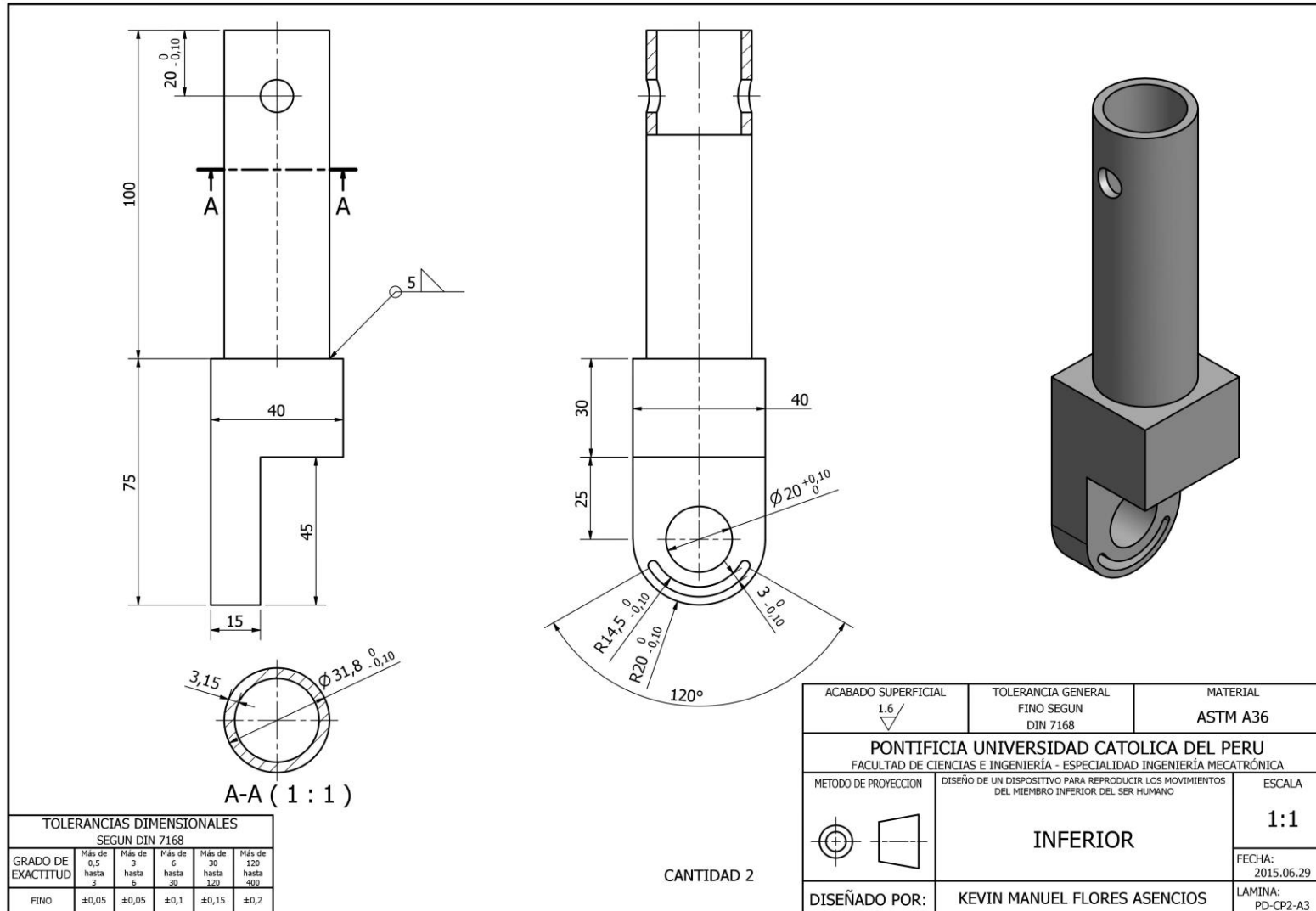


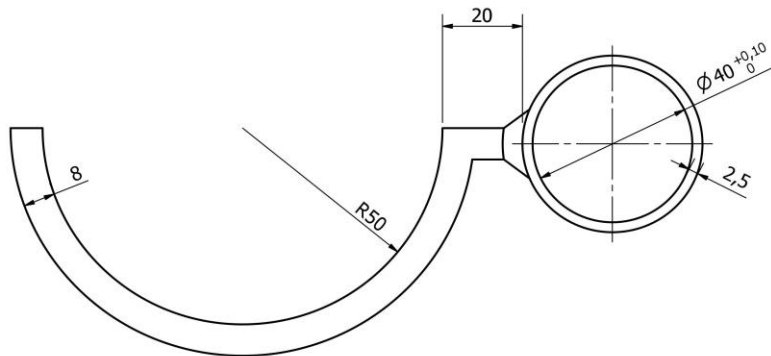
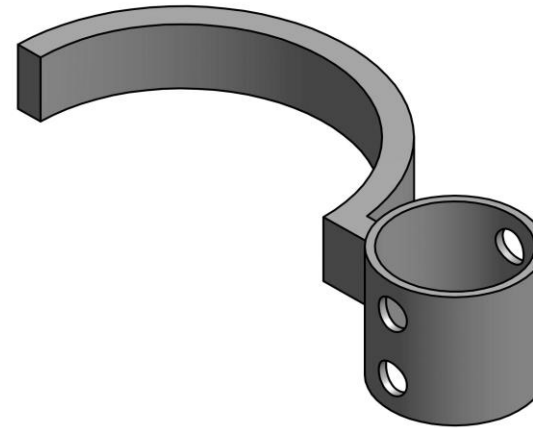
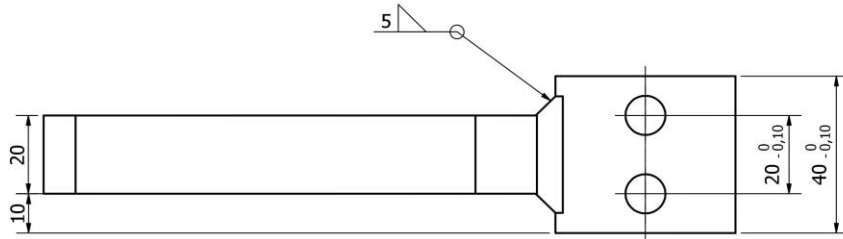
A-A (2 : 1)

7	2	Tornillo	DIN 933	M10 x 55	
6	3	Tuerca	DIN 555-5	M10	
5	3	Arandela	DIN 126	M10	
4	1	Tornillo	DIN 933	M10 x 50	
3	1	Sujecion Humano Izquierda		PLANO: PD-CP3	
2	1	Inferior		PLANO: PD-CP2	
1	1	Superior		PLANO: PD-CP1	
POS.	CANT.	DESCRIPCION	NORMA	MATERIAL	OBSERVACIONES

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DEL PERU FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERIA - ESPECIALIDAD INGENIERIA MECATRONICA		
METODO DE PROYECCION	DISEÑO DE UN DISPOSITIVO PARA REPRODUCIR LOS MOVIMIENTOS DEL MIEMBRO INFERIOR DEL SER HUMANO	ESCALA
	<b>SUBSISTEMA CANILLA - PANTORRILLA IZQUIERDA</b>	<b>1:2</b>
DISEÑADO POR:	KEVIN MANUEL FLORES ASENCIOS	FECHA: 2015.06.29 LAMINA: PE-CP1-A2



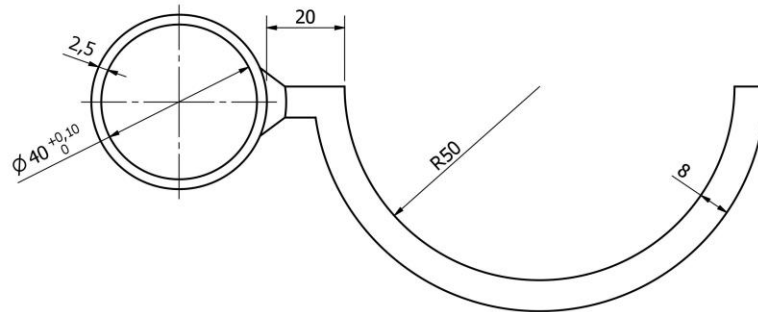
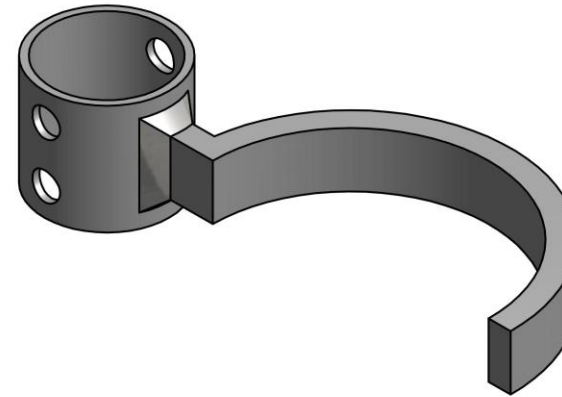
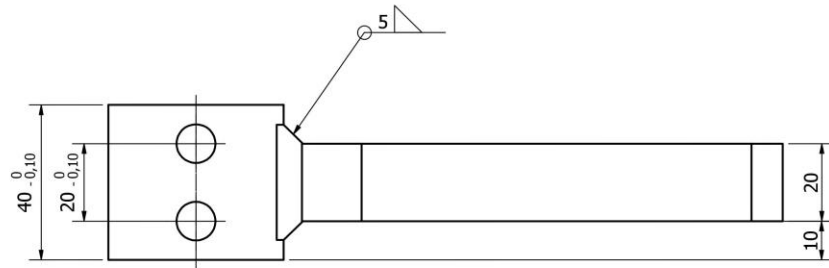




TOLERANCIAS DIMENSIONALES SEGUN DIN 7168					
GRADO DE EXACTITUD	Más de 0,5 hasta 3	Más de 3 hasta 6	Más de 6 hasta 30	Más de 30 hasta 120	Más de 120 hasta 400
FINO	±0,05	±0,05	±0,1	±0,15	±0,2

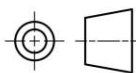
CANTIDAD 2

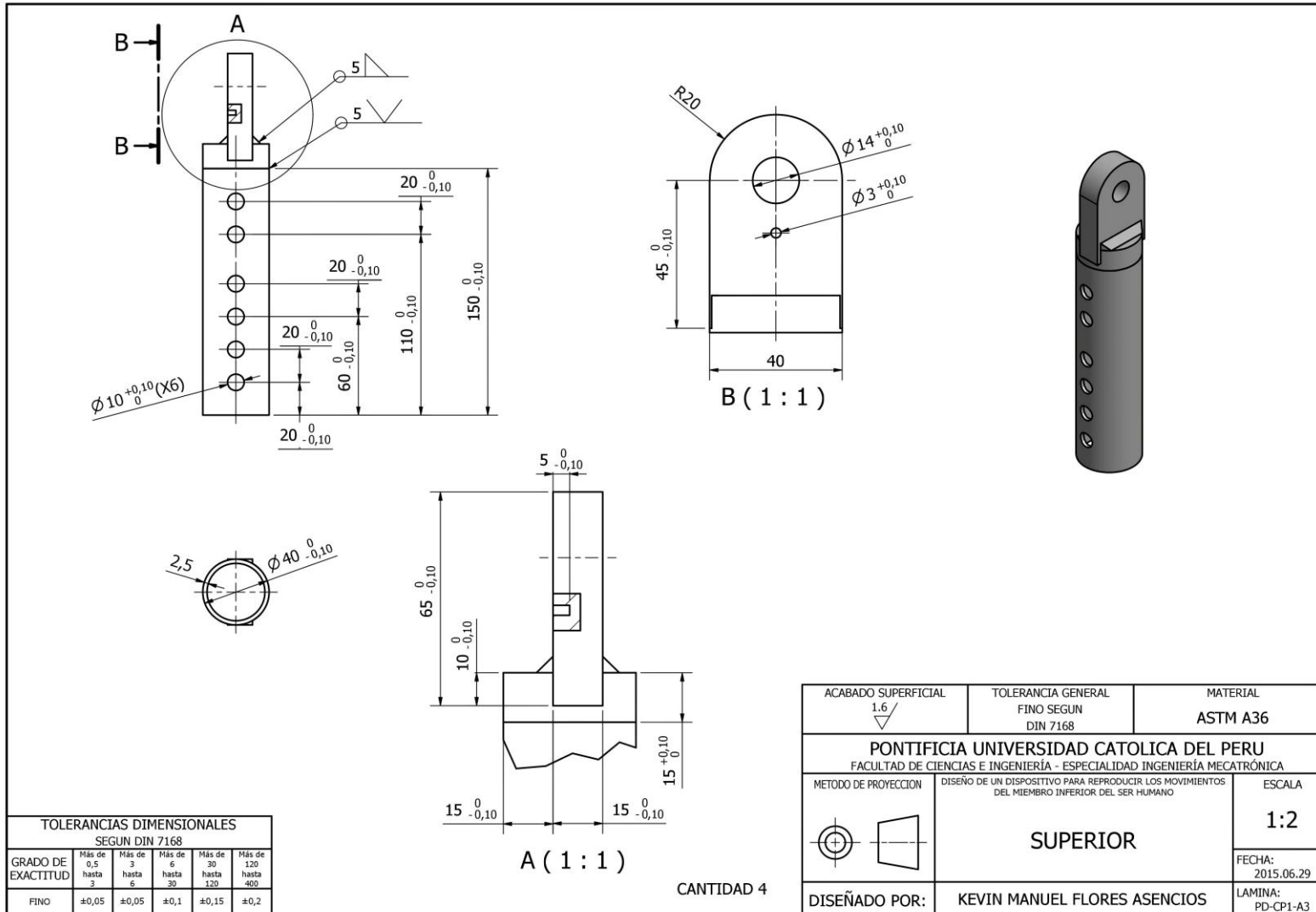
ACABADO SUPERFICIAL 1.6/√	TOLERANCIA GENERAL FINO SEGUN DIN 7168	MATERIAL ASTM A36
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DEL PERU FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA - ESPECIALIDAD INGENIERÍA MECATRÓNICA		
METODO DE PROYECCION 	DISEÑO DE UN DISPOSITIVO PARA REPRODUCIR LOS MOVIMIENTOS DEL MIEMBRO INFERIOR DEL SER HUMANO	ESCALA 1:1
DISEÑADO POR:	KEVIN MANUEL FLORES ASENCIOS	FECHA: 2015.06.29 LAMINA: PD-CP4-A3
<b>SUJECION HUMANO DERECHA</b>		

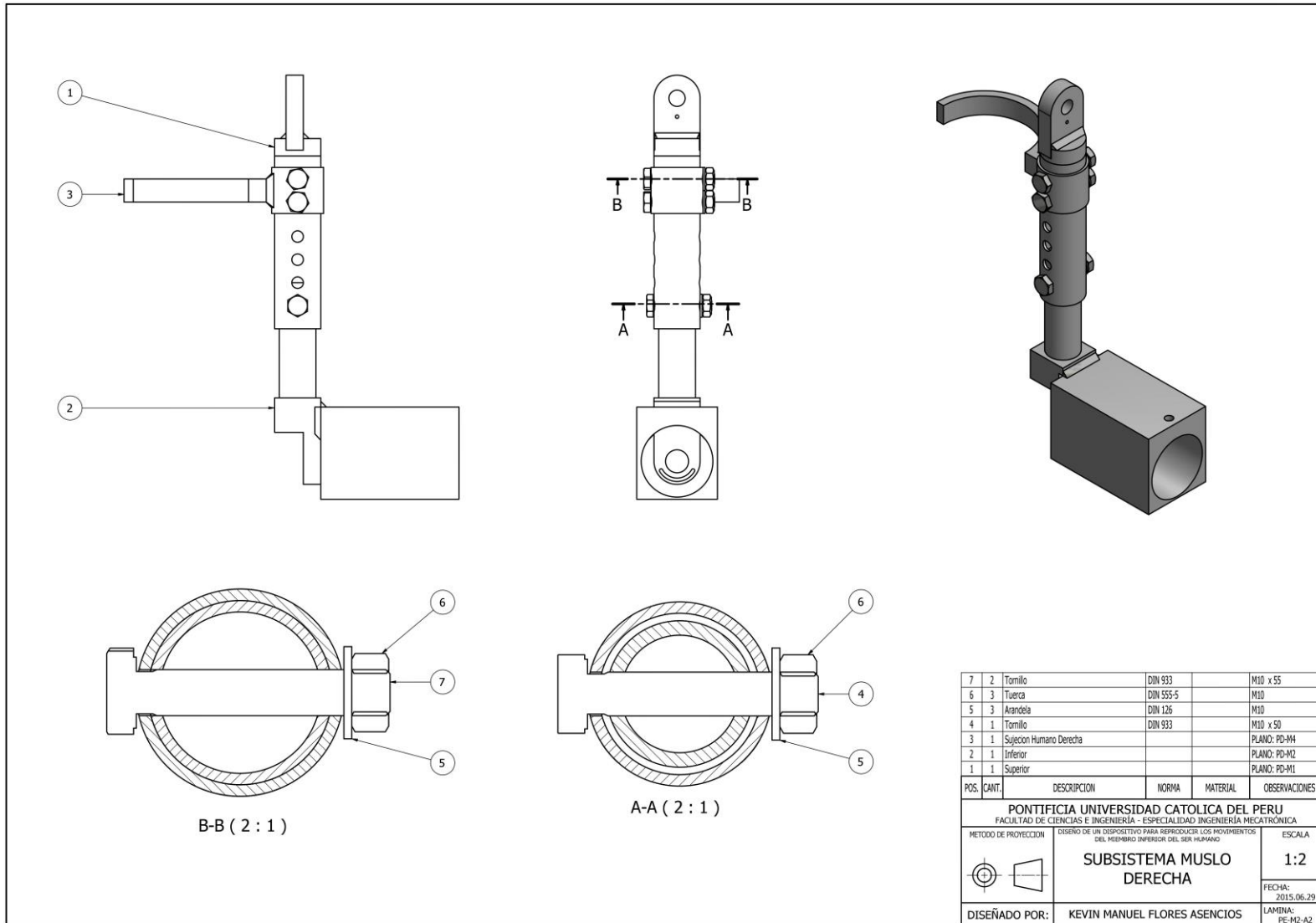


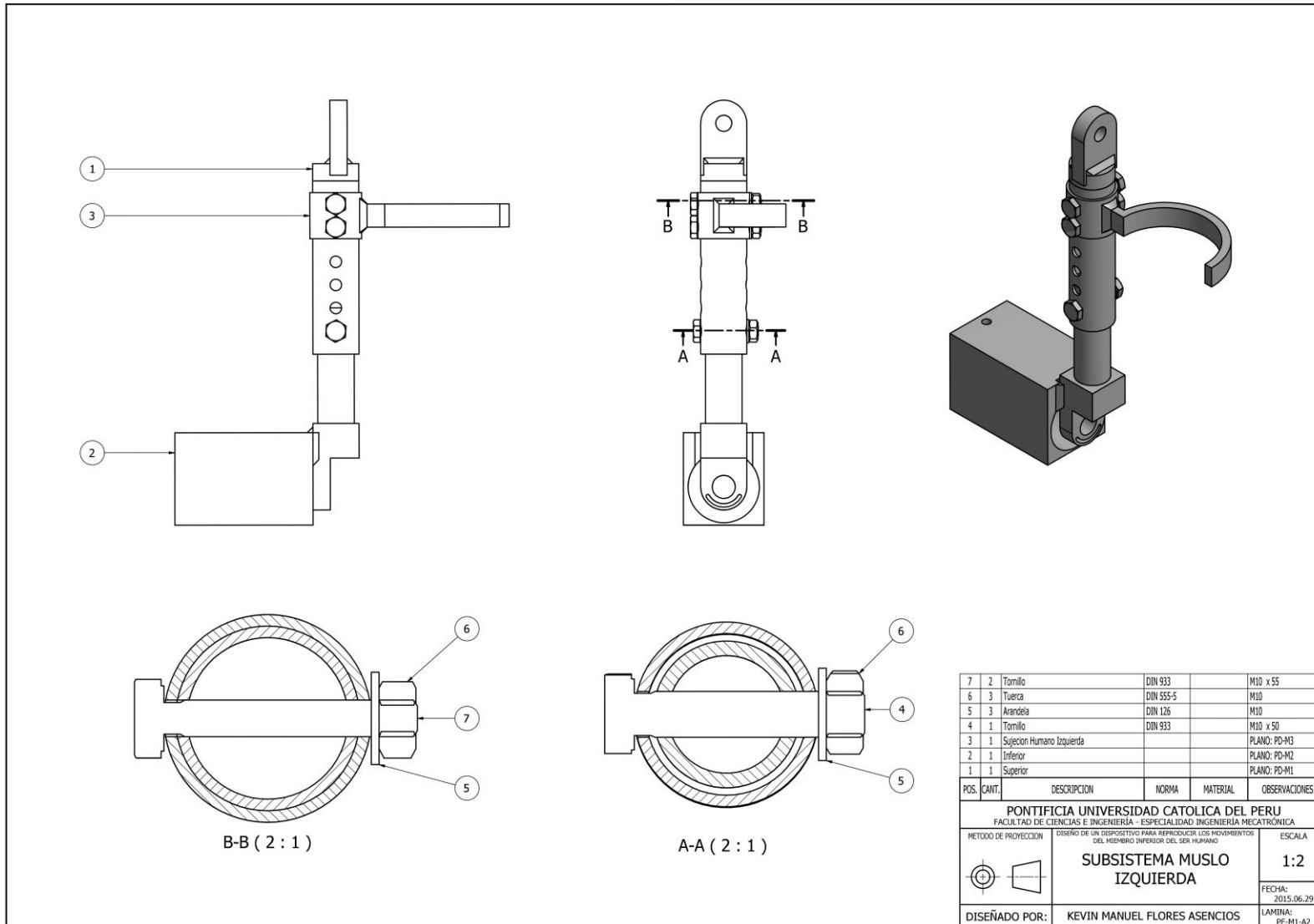
TOLERANCIAS DIMENSIONALES SEGUN DIN 7168					
GRADO DE EXACTITUD	Más de 0,5 hasta 3	Más de 3 hasta 6	Más de 6 hasta 30	Más de 30 hasta 120	Más de 120 hasta 400
FINO	$\pm 0,05$	$\pm 0,05$	$\pm 0,1$	$\pm 0,15$	$\pm 0,2$

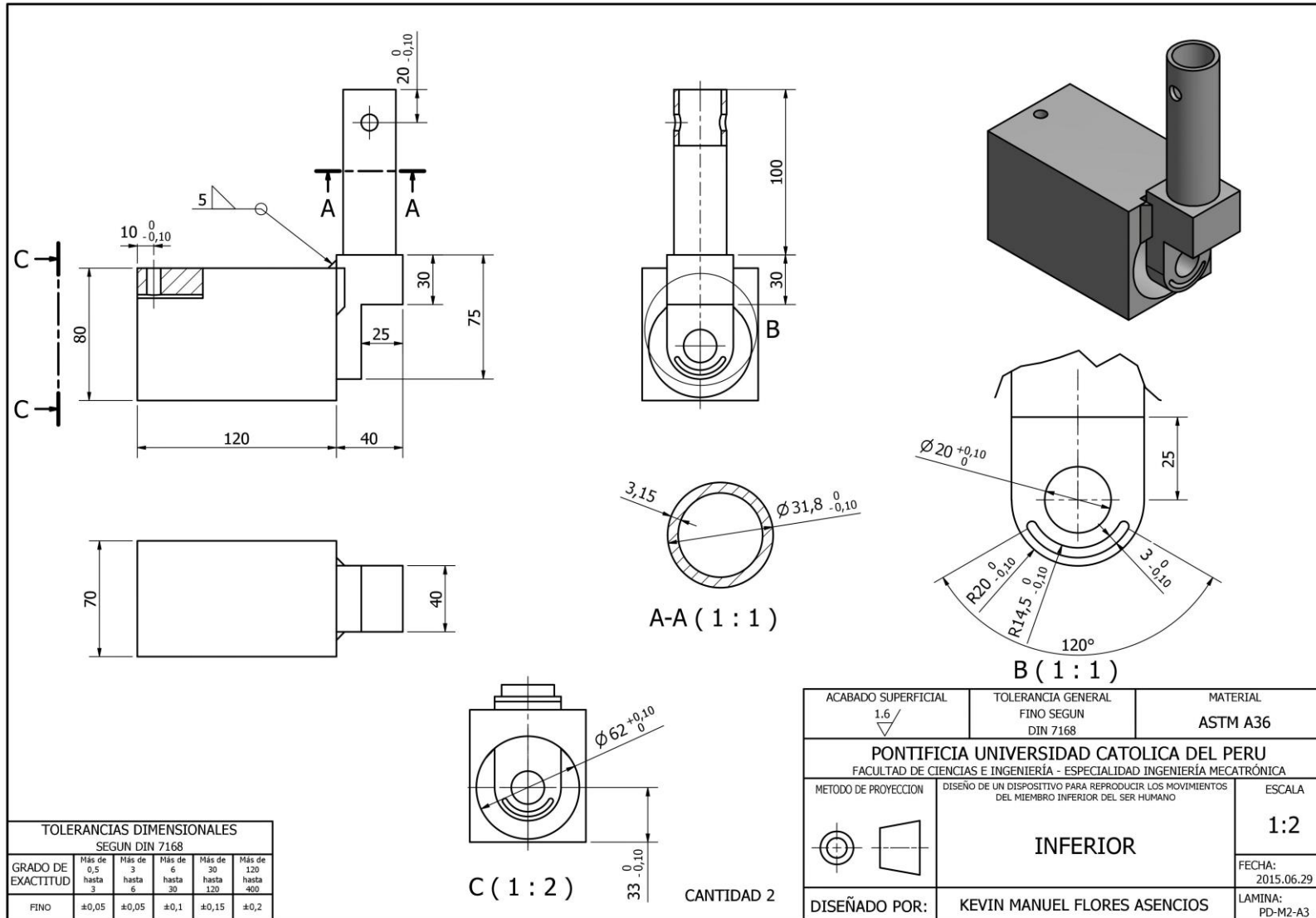
CANTIDAD 2

ACABADO SUPERFICIAL 1.6	TOLERANCIA GENERAL FINO SEGUN DIN 7168	MATERIAL ASTM A36
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DEL PERU FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA - ESPECIALIDAD INGENIERÍA MECATRÓNICA		
METODO DE PROYECCION	DISEÑO DE UN DISPOSITIVO PARA REPRODUCIR LOS MOVIMIENTOS DEL MIEMBRO INFERIOR DEL SER HUMANO	ESCALA
	<b>SUJECION HUMANO IZQUIERDA</b>	<b>1:1</b>
DISEÑADO POR:	KEVIN MANUEL FLORES ASENCIOS	FECHA: 2015.06.29
		LAMINA: PD-CP3-A3

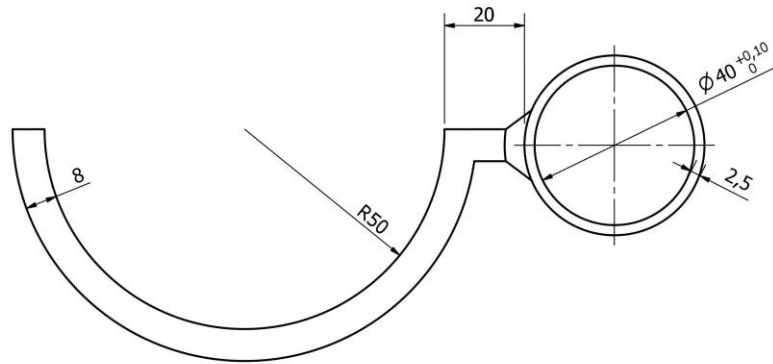
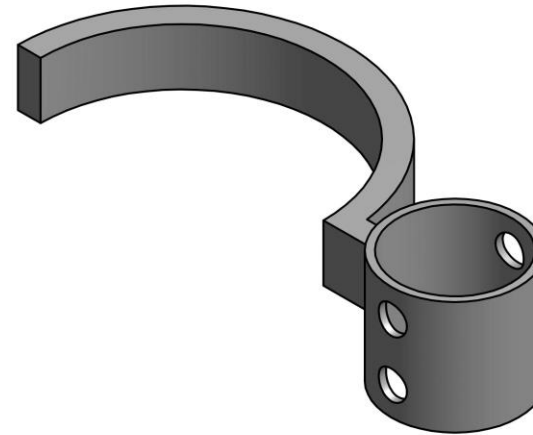
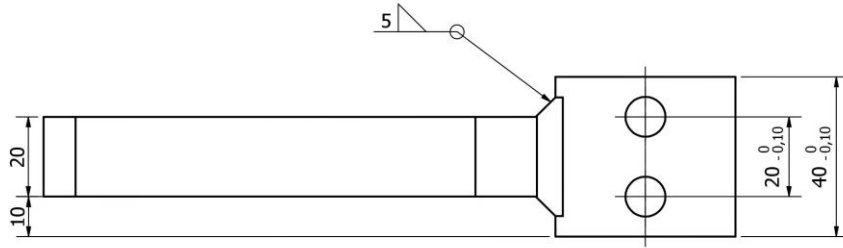










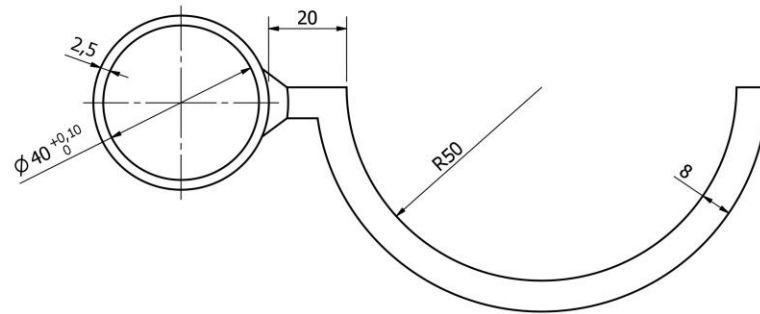
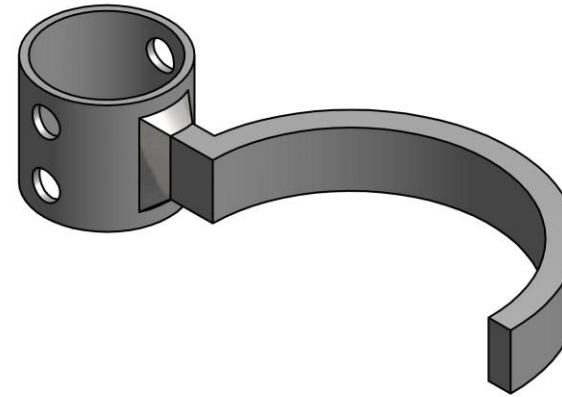
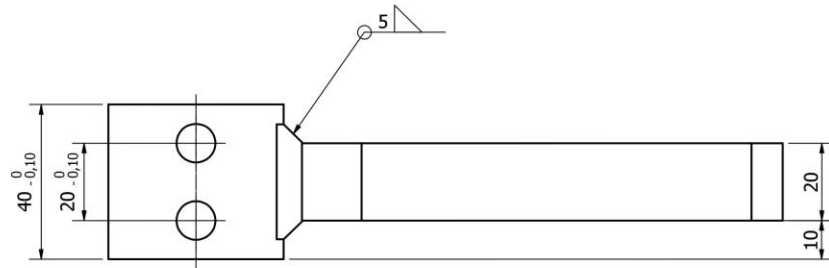


TOLERANCIAS DIMENSIONALES SEGUN DIN 7168					
GRADO DE EXACTITUD	Más de 0,5 hasta 3	Más de 3 hasta 6	Más de 6 hasta 30	Más de 30 hasta 120	Más de 120 hasta 400
FINO	±0,05	±0,05	±0,1	±0,15	±0,2

CANTIDAD 2

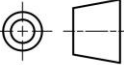
ACABADO SUPERFICIAL 1.6/√	TOLERANCIA GENERAL FINO SEGUN DIN 7168	MATERIAL ASTM A36
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DEL PERU FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA - ESPECIALIDAD INGENIERÍA MECATRÓNICA		
METODO DE PROYECCION 	DISEÑO DE UN DISPOSITIVO PARA REPRODUCIR LOS MOVIMIENTOS DEL MIEMBRO INFERIOR DEL SER HUMANO	ESCALA 1:1
DISEÑADO POR:	KEVIN MANUEL FLORES ASENCIOS	FECHA: 2015.06.29
		LAMINA: PD-M4-A3

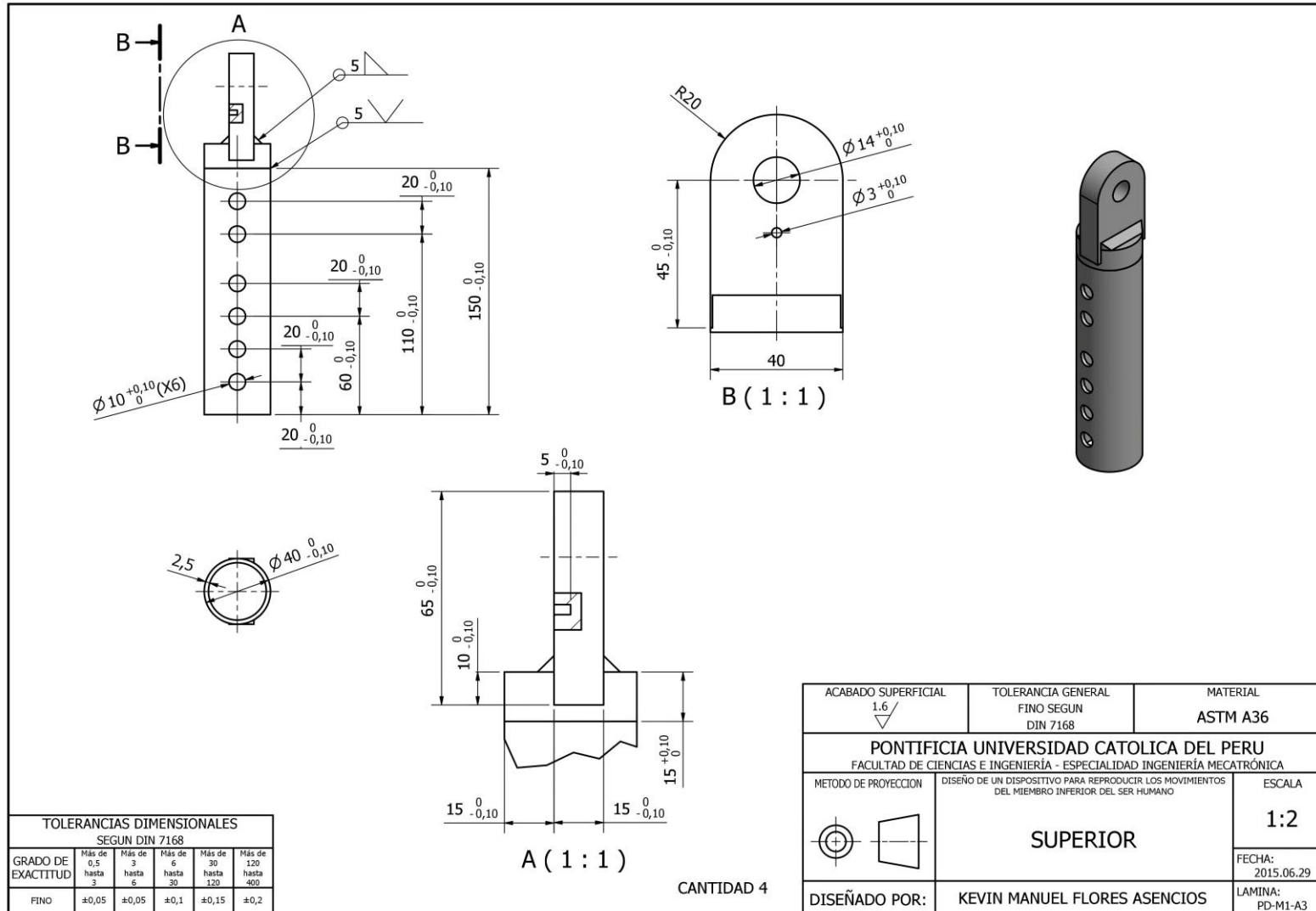


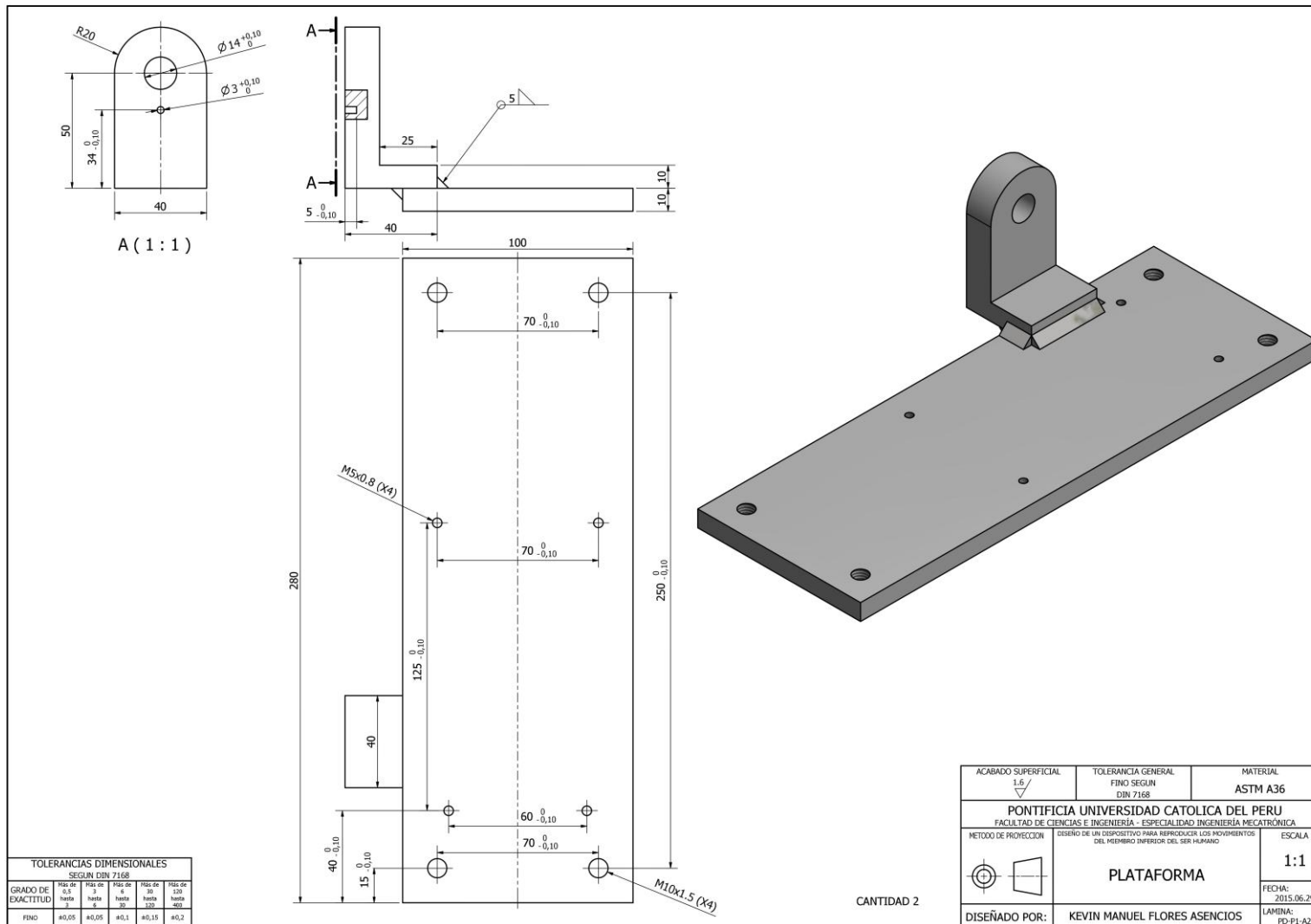


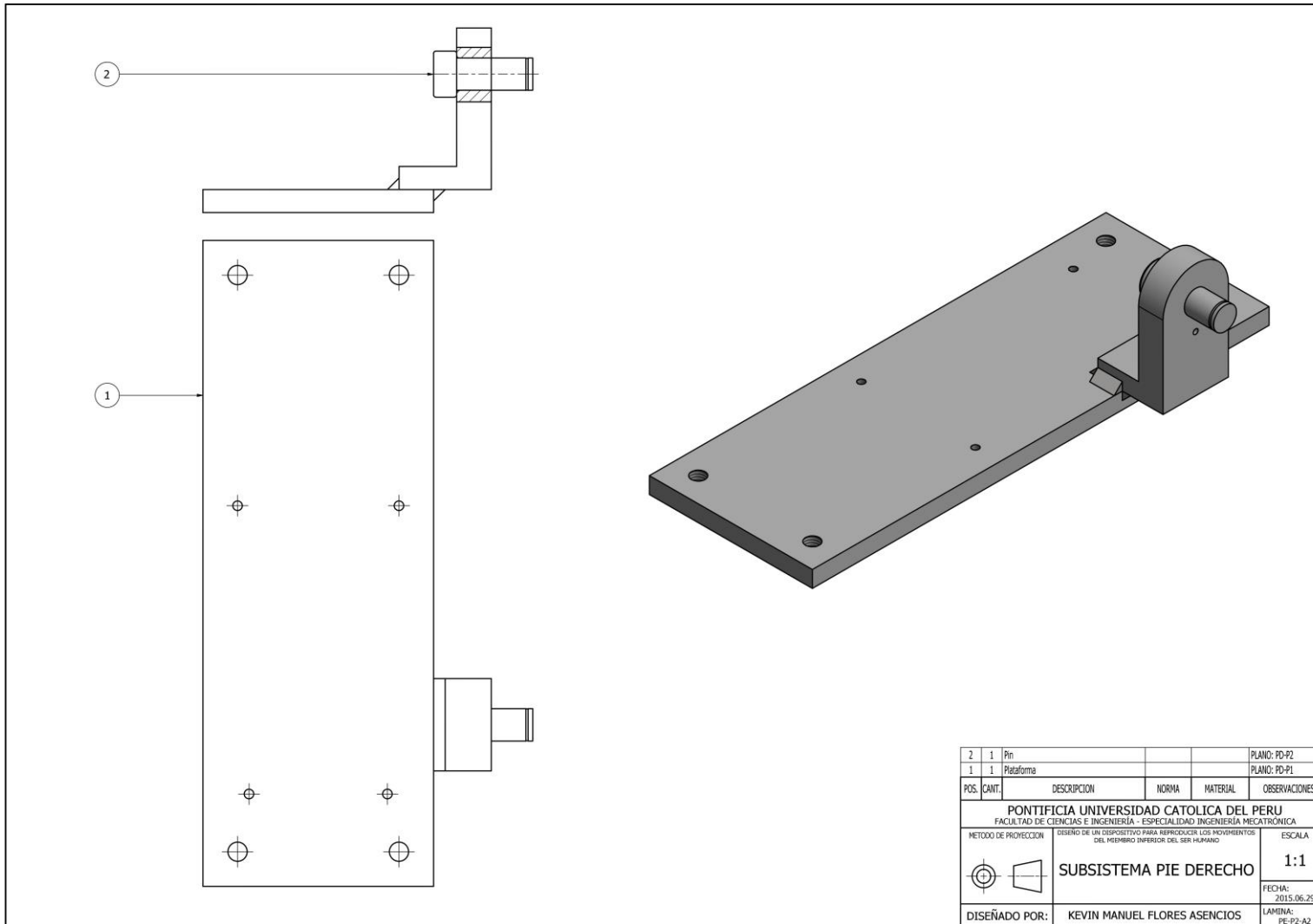
CANTIDAD 2

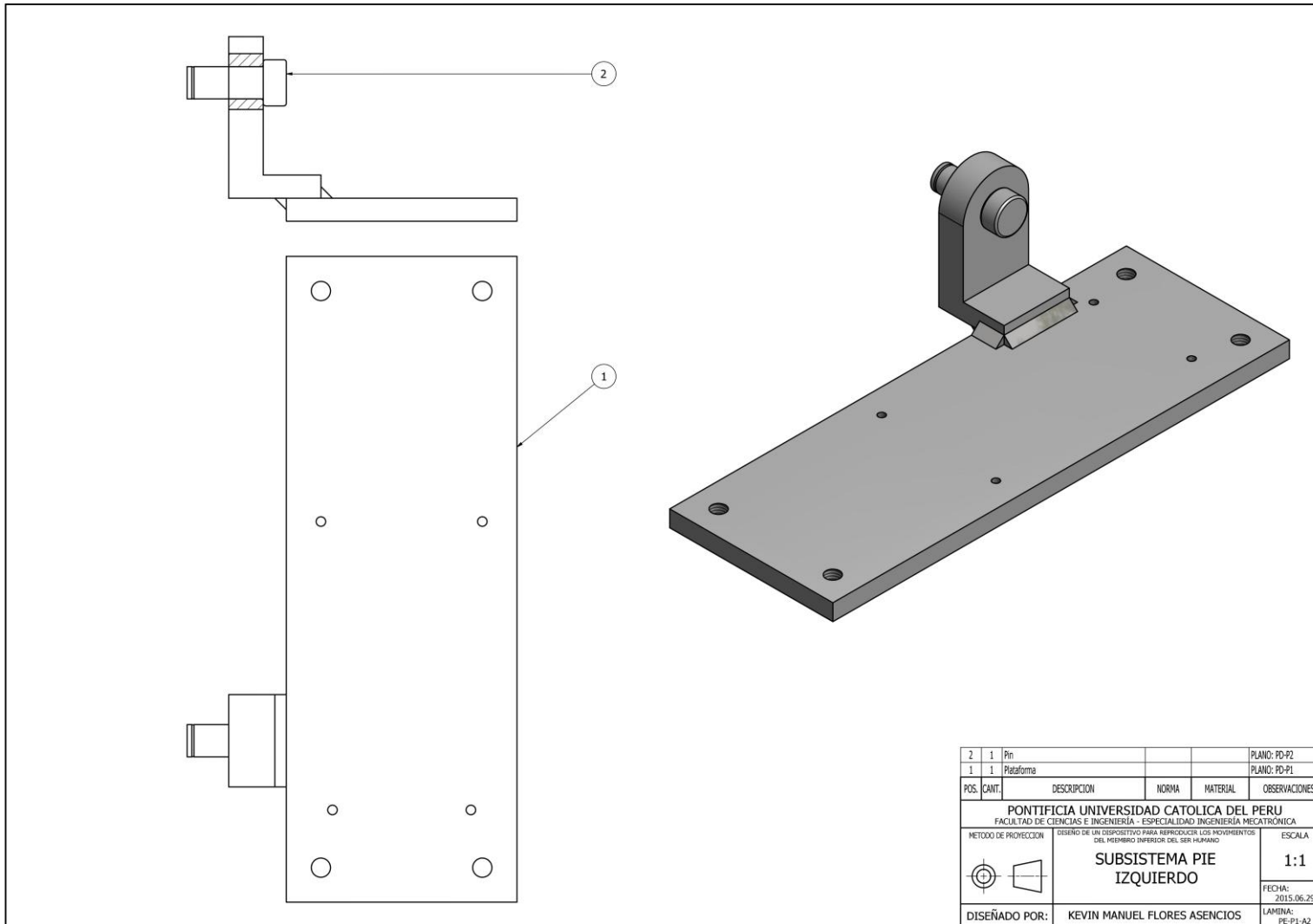
TOLERANCIAS DIMENSIONALES SEGUN DIN 7168					
GRADO DE EXACTITUD	Más de 0,5 hasta 3	Más de 3 hasta 6	Más de 6 hasta 30	Más de 30 hasta 120	Más de 120 hasta 400
FINO	±0,05	±0,05	±0,1	±0,15	±0,2

ACABADO SUPERFICIAL 1.6	TOLERANCIA GENERAL FINO SEGUN DIN 7168	MATERIAL ASTM A36
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DEL PERU FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA - ESPECIALIDAD INGENIERÍA MECATRÓNICA		
METODO DE PROYECCION	DISEÑO DE UN DISPOSITIVO PARA REPRODUCIR LOS MOVIMIENTOS DEL MIEMBRO INFERIOR DEL SER HUMANO	ESCALA 1:1
	<b>SUJECION HUMANO IZQUIERDA</b>	FECHA: 2015.06.29
DISEÑO POR:	KEVIN MANUEL FLORES ASENCIOS	LAMINA: PD-M3-A3

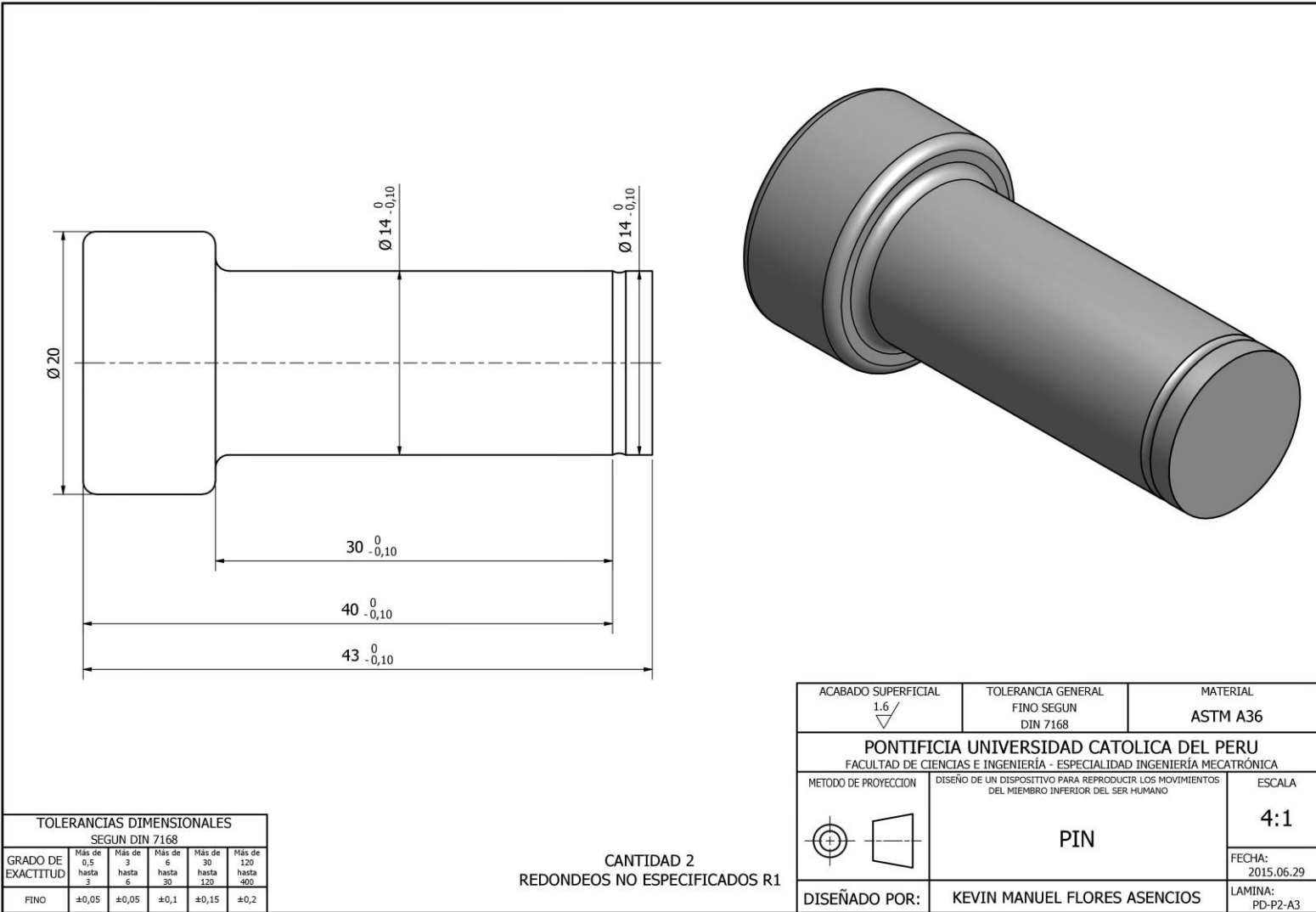


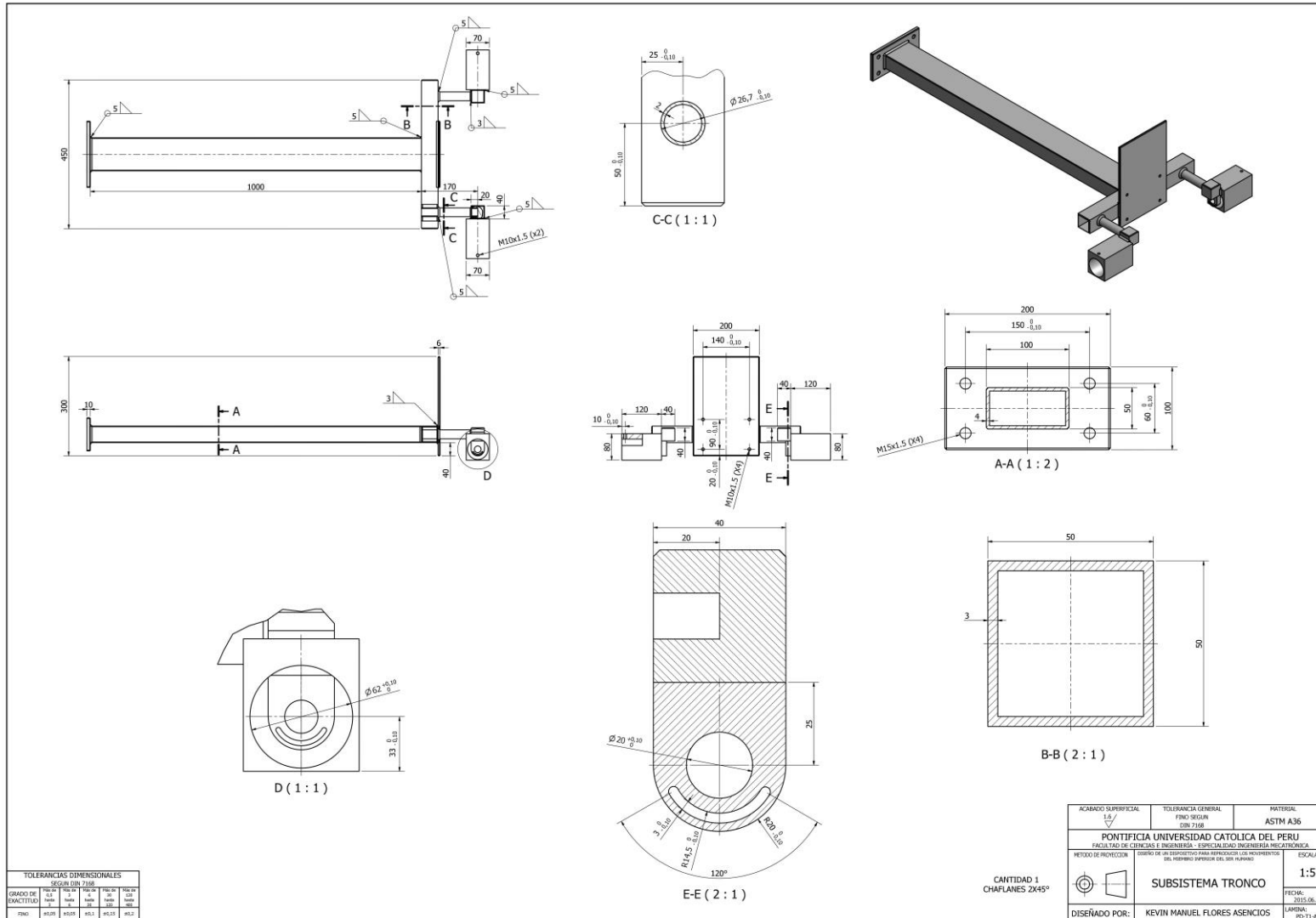






2	1	Pin			PLANO: PD-P2
1	1	Plataforma			PLANO: PD-P1
POS.	CANT.	DESCRIPCION	NORMA	MATERIAL	OBSERVACIONES
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DEL PERU FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERIA - ESPECIALIDAD INGENIERIA MECATRONICA METODO DE PROYECCION:  SEGURIDAD DE UN DISPOSITIVO PARA REPRODUCIR LOS MOVIMIENTOS DEL MIEMBRO INFERIOR DEL SER HUMANO					
<b>SUBSISTEMA PIE IZQUIERDO</b>				ESCALA:	1:1
DISEÑADO POR: KEVIN MANUEL FLORES ASECIOS					FECHA: 2015.06.29
					LAMINA: PE-P1-A2







## ANEXO 8

### DATOS TÉCNICOS DE COMPONENTES DEL SISTEMA DE CONTROL

#### EPOS2 P 24/5 (PROGRAMABLE)

EPOS2 P 24/5, control digital de posición, 5 A, 11 - 24 VDC  
Número de artículo 378308



Producto	
Peso	180 g
Motor	
Motores DC hasta	120 W
Motores brushless hasta	120 W
Sensor	
Sin sensor (motores DC)	Si
Encoder incremental digital (2 canales, diferencial)	Si
Encoder incremental digital (3 canales, diferencial)	Si
Sensores Hall digitales (motores brushless)	Si
Modos de regulación	
Regulador de corriente	Si
Regulador de velocidad	Si
Regulador de posición	Si
Datos eléctricos	
Tensión de trabajo V <sub>oc</sub> (mín.)	11 V
Tensión de trabajo V <sub>oc</sub> (máx.)	24 V
Tensión de alimentación de la lógica V <sub>c</sub> (mín.) opcional	11 V
Tensión de alimentación de la lógica V <sub>c</sub> (máx.) opcional	24 V
Máx. tensión de salida (Factor * V <sub>oc</sub> )	0.9
Máx. corriente de salida I <sub>máx</sub>	10 A
Máx. duración de la máx. corriente de salida I <sub>máx</sub>	1 s
Corriente de salida en continuo	5 A
Frecuencia de reloj del PWM de la etapa de salida	50 kHz
Frecuencia del lazo de corriente PI	10 kHz
Frecuencia del lazo de velocidad PI	1 kHz
Frecuencia del lazo de posición PID	1 kHz
Máx. rendimiento	92 %
Máx. velocidad (DC)	100000 rpm
Máx. velocidad (EC; 1 par de polos), conmutación en bloque	100000 rpm
Máx. velocidad (EC; 1 par de polos), conmutación sinusoidal	25000 rpm
Bobina de choque interna por fase	15 µH
Entradas	
Señales de sensor Hall	H1, H2, H3
Señales de encoder	A, A, B, B, I, I
Máx. frecuencia de entrada del encoder	5 MHz
Entradas digitales	6
Funciones de las entradas digitales	final de carrera, sensor de referencia, uso universal, habilitación, parada rápida, valor de consigna de sentido/paso, encoder maestro, marcador de posición
Entradas analógicas	2
Resolución, rango, circuito	12 bits, 0...+5V
Funciones de las entradas analógicas	valor de consigna, uso universal
Microinterruptores	10
Funciones de los microinterruptores	ID de nodo CAN, terminación CAN-S de bus CAN, terminación CAN-M de bus CAN, Auto Btrate CAN-M



<b>Salidas</b>	
Salidas digitales	4
Funciones de las salidas digitales	freno de retención, uso universal, comparador de posición, fijo
<b>Salidas de tensión</b>	
Tensión de alimentación de sensor Hall	+5 VDC, máx. 30 mA
Tensión de alimentación del encoder	+5 VDC, máx. 100 mA
Tensión de salida auxiliar	+Vcc, máx. 1300 mA
<b>Interfaces</b>	
RS232	Si
USB 2.0 (Full Speed)	Si
CAN	Si
CANopen	Master
CANopen application layer	D6-301
CANopen framework	D6P-305, D6-302
Dispositivo programable CANopen profile for IEC 61131-3	D6P-405
Función Gateway RS232 a CAN	Si
Función Gateway USB a CAN	Si
<b>Indicador</b>	
Indicador de estado "preparado" (READY)	LED verde / LED azul (estado del programa)
Indicador de estado "error" (ERROR)	LED rojo
<b>Función de protección</b>	
Funciones de protección	límite de corriente, sobreintensidad, sobretensión, transitorios de tensión, sobretensión, transitorios de tensión, cortocircuitos en el cable del motor
<b>Condiciones ambientales</b>	
Temperatura – funcionamiento (mín.)	-10 °C
Temperatura – funcionamiento (máx.)	45 °C
Temperatura – almacenamiento (mín.)	-40 °C
Temperatura – almacenamiento (máx.)	85 °C
Humedad (sin condensación) (mín.)	20 %
Humedad (sin condensación) (máx.)	80 %
<b>Datos mecánicos</b>	
Peso	180 g
Dimensión (longitud)	105 mm
Dimensión (anchura)	83 mm
Dimensión (altura)	24 mm
Montaje	Brida para tornillos M3
<b>Software</b>	
Programa de instalación	EPOS Setup
Interfaz gráfica de usuario	EPOS Studio (incl. OpenPCS)
Sistema operativo	Windows 8, Windows XP SP3, Windows Vista
DLL de Windows para PC	32/64 bits
PC Master	DOXAT, Vector, National Instruments, Kvaser, NI-XNET
Ejemplos de programación	MS Visual C#, MS Visual C++, MS Visual Basic, MS Visual Basic.NET, MS Visual Basic.NET, Borland Delphi, NI LabView
Biblioteca IEC 61131-3 para CAN Master	Bibliotecas de usuario y bloques funcionales CANopen, Motion Control, Maxon Utility, acordes a IEC 61131-3.
<b>Funciones</b>	
CANopen Profile Position Mode	Si
CANopen Profile Velocity Mode	Si
CANopen Homing Mode	Si
Position Mode	Si
Interpolated Position Mode (PVT)	Si
Modo de velocidad	Si
Modo de corriente	Si
Master Encoder Mode	Si
StepDirection Mode	Si

Valor de consigna analógico	Si
Generador de trayectorias con perfil sinusoidal/trapezoidal	Si
Position Control Feed Forward	Si
Velocity Control Feed Forward	Si
Position Marker / Touch Probe	Si
Quickstop	Si
Enable	Si
Position Compare	Si
Controlador de los frenos de parada	Si
Calibración automática avanzada del regulador	Si

## EPOS2 50/5

EPOS2 50/5, Digital positioning controller, 5 A, 11 - 50 VDC  
Part number 347717



<b>Product</b>	
Weight	240 g
<b>Motor</b>	
DC motors up to	250 W
EC motors up to	250 W
<b>Sensor</b>	
Without sensor (DC motors)	Yes
Digital incremental encoder (2-channel, differential)	Yes
Digital incremental encoder (3-channel, differential)	Yes
Digital Hall sensors (EC Motors)	Yes
Absolute encoder (SSI)	Yes
Analog incremental encoder (2-channel, differential)	Yes
<b>Operating modes</b>	
Current controller	Yes
Speed controller (closed loop)	Yes
Position controller	Yes
<b>Electrical data</b>	
Operating voltage $V_{oc}$ (min.)	11 V
Operating voltage $V_{oc}$ (max.)	50 V
Logic supply voltage $V_L$ (min.) optional	11 V
Logic supply voltage $V_L$ (max.) optional	50 V
Max. output voltage (factor * $V_{oc}$ )	0.9
Max. output current $I_{max}$	10 A
Max. time of peak output current $I_{max}$	1 s
Continuous output current $I_{cont}$	5 A
PWM clock frequency of power stage	50 kHz
Sampling rate PI current controller	10 kHz
Sampling rate PI speed controller	1 kHz
Sampling rate PID positioning controller	1 kHz
Max. efficiency	94 %
Max. speed (DC)	100000 rpm
Max. speed (EC, 1 pole pair) block commutation	100000 rpm
Max. speed (EC, 1 pole pair) sinusoidal commutation	25000 rpm
Built-in motor choke per phase	22 $\mu$ H
<b>Inputs</b>	
Hall sensor signals	H1, H2, H3
Encoder signals	A, A, B, B, I, I
Max. encoder input frequency	5 MHz
Digital inputs	11
Functionality of digital inputs	limit switch, reference switch, general purpose, enable, quickstop, SSI encoder, 2nd incremental encoder, step/direction set value, master encoder, position marker, power stage enable
Analog inputs	2
Resolution, range, circuit	12-bit, -10...+10V, differential
Functionality of analog inputs	set value, general purpose
DiP-switch	10

Functionality of the DIP switch	CAN Node-ID, Autobribrate, CAN-Bus Termination
<b>Outputs</b>	
Digital outputs	5
Functionality of digital outputs	holding brake, general purpose, position compare, ready
Analog outputs	1
Resolution, range	12-bit, 0...+10V
Functionality of analog outputs	fixed value
<b>Voltage outputs</b>	
Hall sensor supply voltage	+5 VDC, max. 30 mA
Encoder supply voltage	+5 VDC, max. 100 mA
Auxiliary output voltage	+5 VDC, max. 150 mA
<b>Interface</b>	
RS232	Yes
USB 2.0 (full speed)	Yes
CAN	Yes
CANopen	Slave
CANopen application layer	DS-301
CANopen framework	DSP-305
Gateway function RS232-to-CAN	Yes
Gateway function USB-to-CAN	Yes
<b>Display</b>	
Status indicator "Ready"	green LED
Status indicator "Error"	red LED
<b>Protective functions</b>	
Protective functions	current limit, overcurrent, excess temperature, undervoltage, overvoltage, voltage transients, short-circuits in the motor cable
<b>Ambient conditions</b>	
Temperature – Operation (min.)	-10 °C
Temperature – Operation (max.)	45 °C
Temperature – Storage (min.)	-40 °C
Temperature – Storage (max.)	85 °C
Humidity (non-condensing) (min.)	20 %
Humidity (non-condensing) (max.)	80 %
<b>Mechanical data</b>	
Weight	240 g
Dimension (length)	120 mm
Dimension (width)	93.5 mm
Dimension (height)	27 mm
Mounting	Flange for M3 screws
<b>Software</b>	
Installation program	EPOS Setup
Graphical User Interface	EPOS Studio
Operating system	Windows 8, Windows XP SP3, Windows Vista
Windows DLL for PC	32-/64-bit
PC master	DOCAT, Vector, National Instruments, Kvaser, NI-XNET
Programming examples	MS Visual C#, MS Visual C++, MS Visual Basic, MS Visual Basic .NET, Borland C++, Borland Delphi, NI LabView, NI LabWindows/CVI
Linux Shared Object Library	X86 32-/64-bit, ARMv6v7
Programming example	Eclipse C++/QT
IEC 61131-3 library for CAN Master	Beckhoff, Siemens/Helmholtz, VIPA
maxon library for NI SoftMotion	National Instruments CompactRIO
<b>Functions</b>	
CANopen Profile Position Mode	Yes
CANopen Profile Velocity Mode	Yes
CANopen Homing Mode	Yes
Position Mode	Yes

Interpolated Position Mode (PVT)	Yes
Velocity mode	Yes
Current mode	Yes
Master Encoder Mode	Yes
Step/Direction Mode	Yes
Analog set value	Yes
Path generator with sinusoidal/trapezoidal profiles	Yes
Position Control Feed Forward	Yes
Velocity Control (Feed Forward)	Yes
Dual loop position and velocity control	Yes
Position Marker / Touch Probe	Yes
Quickstop	Yes
Enable	Yes
Position Compare	Yes
Control of holding brakes	Yes
Advanced automatic control settings	Yes

### FUENTE DE ALIMENTACIÓN DC UNI-T / UTP3315TFL

Specification	Range
<b>Model</b>	<b>UTP3315TFL</b>
Output Voltage	0~30V
Output Current	0~5A
Overload Effect	1x 10 <sup>-4</sup> +2mV
Ripple & Noise	≤0.3mVrms
Regulation	CV : 20mV (Typical ), CC : 50mA (Typical )
Indication Method	LED display also shows the voltage and current values
Reliability	MTBF (e): ≥2000 hours
Feature	Current Limitation, Auto Switching Between Voltage and Current Operation.
<b>General Characteristics</b>	
Power	Input Voltage : 110VAC / 220VAC ; Frequency : 40Hz ~ 60Hz
Product Colour	White and Gray
Product Net Weight	2.8 Kg
Product Size (W×H×D)	105mm ×160mm × 240mm
Standard Accessories	Power Cord
Standard Individual Packing	Gift Box, English Manual
Standard Quantity Per Carton	6 PCs
Standard Carton Measurement (W×H×D)	530mm × 315mm × 485mm (0.056 CBM Per Export Carton)
Standard Carton Gross Weight	20 Kg