



**ESCUELA UNIVERSITARIA POLITÉCNICA
DE LA ALMUNIA DE DOÑA GODINA (ZARAGOZA)**

ANEXOS

Predicción de la luxación de la cadera
mediante una herramienta computacional
basada en redes neuronales

Prediction of hip dislocation by a
computational tool based on neural networks

424.16.101

Autor: Juan José Martínez Zapata

Director: Mónica Remacha Andrés

Fecha: Julio 2016

INDICE DE CONTENIDO

1.	ANEXO1 RESULTADOS ABAQUS	1
2.	ANEXO2 RESULTADOS RED NEURONAL	7
3.	MANUAL DE IMPRESIÓN DE LA PRÓTESIS DE CADERA EN 3D	14
3.1.	ESPECIFICACIONES TÉCNICAS	14
3.2.	PREPROCESO DE IMPRESIÓN: MÉTODO OPERATIVO	16
3.3.	CONFIGURACIÓN SOFTWARE DE IMPRESIÓN: MÉTODO OPERATIVO	18
3.4.	CONFIGURACIÓN DE TÉCNICA DE IMPRESIÓN: MÉTODO OPERATIVO	21
3.5.	IMPRESIÓN DE PIEZA 3D	23

INDICE DE FIGURAS

Figura A3. 1 Partes de Ultimaker 2.	14
Figura A3. 2 Prótesis y acetábulo importados al software Inventor.	16
Figura A3. 3 Revisión de la geometría a imprimir.	17
Figura A3. 4 Medidas de la pieza a imprimir.	17
Figura A3. 5 Zona de trabajo para impresora 3D.	18
Figura A3. 6 Configuración de la impresión.	18
Figura A3. 7 Opciones de transformación.	20
Figura A3. 8 Posicionamiento correcto del acetábulo.	20
Figura A3. 9 Posicionamiento correcto de la prótesis.	20
Figura A3. 10 Configuración de impresión.	21
Figura A3. 11 Previsualización de impresión del acetábulo.	22
Figura A3. 12 Previsualización de impresión de la prótesis.	22
Figura A3. 13 Proceso de impresión en 3D.	23
Figura A3. 14 Prótesis de cadera en impresión 3D.	23

INDICE DE TABLAS

Tabla A1. 1 Resultados del modelo por EF mediante Abaqus Diámetro 22mm....	1
Tabla A1. 2 Resultados del modelo por EF mediante Abaqus Diámetro 28mm....	2
Tabla A1. 3 Resultados del modelo por EF mediante Abaqus Diámetro 32mm....	3
Tabla A1. 4 Resultados del modelo por EF mediante Abaqus Diámetro 36mm.	4
Tabla A1. 5 Resultados del modelo por EF mediante Abaqus Diámetro 40mm....	5
Tabla A1. 6 Resultados del modelo por EF mediante Abaqus Diámetro 44mm....	6
Tabla A2. 1 Entrenamiento red IMP-EE (100 datos primeros).	7
Tabla A2. 2 Entrenamiento red IMP-EE (100 datos últimos).	7
Tabla A2. 3 Entrenamiento red IMP-EE (150 datos).....	7
Tabla A2. 4 Entrenamiento red IMP-EE (180 datos).....	8
Tabla A2. 5 Entrenamiento red IMP-EE (216 datos).....	8
Tabla A2. 6 Entrenamiento red IMP-FI (100 datos primeros).	8
Tabla A2. 7 Entrenamiento red IMP-FI (100 datos últimos).	9
Tabla A2. 8 Entrenamiento red IMP-FI (150 datos).	9
Tabla A2. 9 Entrenamiento red IMP-FI (180 datos).	9
Tabla A2. 10 Entrenamiento red IMP-FI (216 datos).....	10
Tabla A2. 11 Entrenamiento red LUX-EE (100 datos primeros).	10
Tabla A2. 12 Entrenamiento red LUX-EE (100 datos últimos).	10
Tabla A2. 13 Entrenamiento red LUX-EE (150 datos).....	11
Tabla A2. 14 Entrenamiento red LUX-EE (180 datos).....	11
Tabla A2. 15 Entrenamiento red LUX-EE (180 datos).....	11
Tabla A2. 16 Entrenamiento red LUX-FI (100 datos primeros).	12
Tabla A2. 17 Entrenamiento red LUX-FI (100 datos últimos).	12
Tabla A2. 18 Entrenamiento red LUX-FI (150 datos).	12
Tabla A2. 19 Entrenamiento red LUX-FI (180 datos).	13
Tabla A2. 20 Entrenamiento red LUX-FI (216 datos).	13

1. ANEXO1 RESULTADOS ABAQUS

En este anexo se mostrarán los resultados obtenidos del estudio de la predicción de luxación de caderas mediante Abaqus.

Tabla A1. 1 Resultados del modelo por EF mediante Abaqus Diámetro 22mm.

Dim. 22	Ext, Ext,				Flex, Int			
	ROM imping,	Grados	ROM lux,	Grados	ROM imping,	Grados	ROM lux,	Grados
$\alpha=20 \beta=0$	0,82	147,6	0,847	152,46	0	0	0	0
$\alpha=20 \beta=5$	0,7200	129,6	0,7377	132,786	0	0	0	0
$\alpha=20 \beta=10$	0,6	108	0,606	109,08	0	0	0	0
$\alpha=20 \beta=20$	0,39	70,2	0,403	72,54	0	0	0,0904	16,272
$\alpha=20 \beta=30$	0,23	41,4	0,256	46,08	0,05	9	0,124	22,32
$\alpha=20 \beta=40$	0,13	23,4	0,176	31,68	0,09	16,2	0,142	25,56
$\alpha=30 \beta=0$	0,62	111,6	0,643	115,74	0	0	0	0
$\alpha=30 \beta=5$	0,5700	102,6	0,5854	105,372	0	0	0	0
$\alpha=30 \beta=10$	0,5	90	0,522	93,96	0	0	0	0
$\alpha=30 \beta=20$	0,37	66,6	0,398	71,64	0,04	7,2	0,151	27,18
$\alpha=30 \beta=30$	0,25	45	0,286	51,48	0,1	18	0,173	31,14
$\alpha=30 \beta=40$	0,15	27	0,205	36,9	0,15	27	0,197	35,46
$\alpha=40 \beta=0$	0,5286	95,148	0,55	99	0	0	0	0
$\alpha=40 \beta=5$	0,4900	88,2	0,5314	95,652	0	0	0	0
$\alpha=40 \beta=10$	0,44	79,2	0,485	87,3	0,03	5,4	0,163	29,34
$\alpha=40 \beta=20$	0,34	61,2	0,39	70,2	0,1	18	0,211	37,98
$\alpha=40 \beta=30$	0,0997	17,946	0,0997	17,946	0,16	28,8	0,223	40,14
$\alpha=40 \beta=40$	0,17	30,6	0,222	39,96	0,2	36	0,252	45,36
$\alpha=50 \beta=0$	0,48	86,4	0,53	95,4	0,1	18	0,101	18,18
$\alpha=50 \beta=5$	0,4425	79,65	0,4505	81,09	0,0400	7,2	0,1040	18,72
$\alpha=50 \beta=10$	0,4	72	0,437	78,66	0,09	16,2	0,152	27,36
$\alpha=50 \beta=20$	0,32	57,6	0,362	65,16	0,15	27	0,225	40,5
$\alpha=50 \beta=30$	0,25	45	0,304	54,72	0,21	37,8	0,23	41,4
$\alpha=50 \beta=40$	0,17	30,6	0,221	39,78	0,26	46,8	0,306	55,08
$\alpha=60 \beta=0$	0,4325	77,85	0,497	89,46	0,05	9	0,149	26,82
$\alpha=60 \beta=5$	0,4103	73,854	0,4664	83,952	0,0900	16,2	0,1512	27,216
$\alpha=60 \beta=10$	0,37	66,6	0,421	75,78	0,14	25,2	0,196	35,28
$\alpha=60 \beta=20$	0,3	54	0,353	63,54	0,21	37,8	0,265	47,7
$\alpha=60 \beta=30$	0,2198	39,564	0,282	50,76	0,27	48,6	0,323	58,14
$\alpha=60 \beta=40$	0,1425	25,65	0,202	36,36	0,31	55,8	0,361	64,98
$\alpha=70 \beta=0$	0,3725	67,05	0,429	77,22	0,33	59,4	0,419	75,42
$\alpha=70 \beta=5$	0,3525	63,45	0,4134	74,412	0,1400	25,2	0,2008	36,144
$\alpha=70 \beta=10$	0,31	55,8	0,368	66,24	0,2	36	0,25	45
$\alpha=70 \beta=20$	0,2463	44,334	0,303	54,54	0,27	48,6	0,318	57,24
$\alpha=70 \beta=30$	0,18	32,4	0,23	41,4	0,32	57,6	0,377	67,86
$\alpha=70 \beta=40$	0,11	19,8	0,163	29,34	0,37	66,6	0,416	74,88

ANEXO1 Resultados Abaqus

Tabla A1. 2 Resultados del modelo por EF mediante Abaqus Diámetro 28mm.

Dim. 28	Ext, Ext,				Flex, Int			
	ROM imping,	Grados	ROM lux,	Grados	ROM imping,	Grados	ROM lux,	Grados
$\alpha=20 \beta=0$	0,7816	140,69	1	180	0	0	0	0
$\alpha=20 \beta=5$	0,6400	115,2	1	180	0	0	0	0
$\alpha=20 \beta=10$	0,54	97,2	1	180	0	0	0	0
$\alpha=20 \beta=20$	0,36	64,8	0,434	78,12	0,02	3,6	0,101	18,18
$\alpha=20 \beta=30$	0,23	41,4	0,293	52,74	0,06	10,8	0,124	22,32
$\alpha=20 \beta=40$	0,14	25,2	0,195	35,1	0,1	18	0,155	27,9
$\alpha=30 \beta=0$	0,6	108	0,686	123,48	0	0	0	0
$\alpha=30 \beta=5$	0,5400	97,2	0,6228	112,1	0,1000	18	0,1705	30,69
$\alpha=30 \beta=10$	0,48	86,4	0,555	99,9	0,03	5,4	0,164	29,52
$\alpha=30 \beta=20$	0,36	64,8	0,423	76,14	0,08	14,4	0,161	28,98
$\alpha=30 \beta=30$	0,25	45	0,313	56,34	0,11	19,8	0,174	31,32
$\alpha=30 \beta=40$	0,16	28,8	0,217	39,06	0,15	27	0,209	37,62
$\alpha=40 \beta=0$	0,53	95,4	0,592	106,56	0,02	3,6	0,1219	21,942
$\alpha=40 \beta=5$	0,4900	88,2	0,5512	99,216	0,0500	9	0,2095	37,71
$\alpha=40 \beta=10$	0,44	79,2	0,502	90,36	0,08	14,4	0,198	35,64
$\alpha=40 \beta=20$	0,35	63	0,408	73,44	0,13	23,4	0,204	36,72
$\alpha=40 \beta=30$	0,26	46,8	0,313	56,34	0,17	30,6	0,226	40,68
$\alpha=40 \beta=40$	0,18	32,4	0,232	41,76	0,21	37,8	0,263	47,34
$\alpha=50 \beta=0$	0,49	88,2	0,539	97,02	0,08	14,4	0,157	28,26
$\alpha=50 \beta=5$	0,4500	81	0,5100	91,8	0,1100	19,8	0,1962	35,316
$\alpha=50 \beta=10$	0,41	73,8	0,464	83,52	0,14	25,2	0,238	42,84
$\alpha=50 \beta=20$	0,33	59,4	0,387	69,66	0,19	34,2	0,256	46,08
$\alpha=50 \beta=30$	0,2525	45,45	0,309	55,62	0,23	41,4	0,28	50,4
$\alpha=50 \beta=40$	0,1777	31,986	0,237	42,66	0,26	46,8	0,318	57,24
$\alpha=60 \beta=0$	0,4053	72,954	0,467	84,06	0,17	30,6	0,2364	42,552
$\alpha=60 \beta=5$	0,4200	75,6	0,4779	86,022	0,1600	28,8	0,2427	43,686
$\alpha=60 \beta=10$	0,4425	79,65	0,502	90,36	0,19	34,2	0,282	50,76
$\alpha=60 \beta=20$	0,38	68,4	0,438	78,84	0,5706	102,71	0,641	115,38
$\alpha=60 \beta=30$	0,31	55,8	0,37	66,6	0,28	50,4	0,335	60,3
$\alpha=60 \beta=40$	0,24	43,2	0,302	54,36	0,32	57,6	0,372	66,96
$\alpha=70 \beta=0$	0,4425	79,65	0,502	90,36	0,19	34,2	0,262	47,16
$\alpha=70 \beta=5$	0,3863	69,534	0,4525	81,45	0,2100	37,8	0,2901	52,218
$\alpha=70 \beta=10$	0,38	68,4	0,438	78,84	0,25	45	0,335	60,3
$\alpha=70 \beta=20$	0,31	55,8	0,37	66,6	0,3	54	0,36	64,8
$\alpha=70 \beta=30$	0,24	43,2	0,302	54,36	0,34	61,2	0,39	70,2
$\alpha=70 \beta=40$	0,17	30,6	0,235	42,3	0,37	66,6	0,427	76,86

Tabla A1. 3 Resultados del modelo por EF mediante Abaqus Diámetro 32mm.

Dim. 32	Ext, Ext,				Flex, Int			
	ROM imping,	Grados	ROM lux,	Grados	ROM imping,	Grados	ROM lux,	Grados
$\alpha=20 \beta=0$	0,88	158,4	1	180	0	0	0	0
$\alpha=20 \beta=5$	0,7706	138,708	1	180	0	0	0	0
$\alpha=20 \beta=10$	0,63	113,4	1	180	0,01	1,8	0,119	21,42
$\alpha=20 \beta=20$	0,41	73,8	0,477	85,86	0,05	9	0,11	19,8
$\alpha=20 \beta=30$	0,27	48,6	0,309	55,62	0,08	14,4	0,126	22,68
$\alpha=20 \beta=40$	0,1625	29,25	0,201	36,18	0,12	21,6	0,159	28,62
$\alpha=30 \beta=0$	0,65	117	0,699	125,82	0,1	18	0,0812	14,616
$\alpha=30 \beta=5$	0,5900	106,2	0,6417	115,51	0,0300	5,4	0,1609	28,962
$\alpha=30 \beta=10$	0,52	93,6	0,574	103,32	0,06	10,8	0,153	27,54
$\alpha=30 \beta=20$	0,39	70,2	0,44	79,2	0,1	18	0,151	27,18
$\alpha=30 \beta=30$	0,28	50,4	0,321	57,78	0,14	25,2	0,178	32,04
$\alpha=30 \beta=40$	0,19	34,2	0,225	40,5	0,18	32,4	0,214	38,52
$\alpha=40 \beta=0$	0,56	100,8	0,602	108,36	0,05	9	0,106	19,08
$\alpha=40 \beta=5$	0,5200	93,6	0,5593	100,67	0,0800	14,4	0,1554	27,972
$\alpha=40 \beta=10$	0,47	84,6	0,509	91,62	0,11	19,8	0,183	32,94
$\alpha=40 \beta=20$	0,3763	67,734	0,414	74,52	0,16	28,8	0,201	36,18
$\alpha=40 \beta=30$	0,2825	50,85	0,321	57,78	0,19	34,2	0,232	41,76
$\alpha=40 \beta=40$	0,2	36	0,238	42,84	0,24	43,2	0,269	48,42
$\alpha=50 \beta=0$	0,51	91,8	0,546	98,28	0,11	19,8	0,156	28,08
$\alpha=50 \beta=5$	0,4800	86,4	0,5163	92,934	0,1325	23,85	0,1916	34,488
$\alpha=50 \beta=10$	0,4363	78,534	0,472	84,96	0,17	30,6	0,229	41,22
$\alpha=50 \beta=20$	0,36	64,8	0,394	70,92	0,21	37,8	0,254	45,72
$\alpha=50 \beta=30$	0,28	50,4	0,317	57,06	0,25	45	0,287	51,66
$\alpha=50 \beta=40$	0,2025	36,45	0,24	43,2	0,29	52,2	0,324	58,32
$\alpha=60 \beta=0$	0,47	84,6	0,508	91,44	0,16	28,8	0,209	37,62
$\alpha=60 \beta=5$	0,4425	79,65	0,4832	86,976	0,1863	33,534	0,2398	43,164
$\alpha=60 \beta=10$	0,4025	72,45	0,442	79,56	0,22	39,6	0,28	50,4
$\alpha=60 \beta=20$	0,3363	60,534	0,373	67,14	0,27	48,6	0,309	55,62
$\alpha=60 \beta=30$	0,2633	47,394	0,305	54,9	0,3025	54,45	0,342	61,56
$\alpha=60 \beta=40$	0,1963	35,334	0,238	42,84	0,35	63	0,38	68,4
$\alpha=70 \beta=0$	0,4309	77,562	0,475	85,5	0,22	39,6	0,264	47,52
$\alpha=70 \beta=5$	0,4116	74,088	0,4551	81,918	0,2400	43,2	0,2907	52,326
$\alpha=70 \beta=10$	0,3706	66,708	0,415	74,7	0,28	50,4	0,335	60,3
$\alpha=70 \beta=20$	0,3082	55,476	0,354	63,72	0,32	57,6	0,364	65,52
$\alpha=70 \beta=30$	0,2443	43,974	0,291	52,38	0,36	64,8	0,397	71,46
$\alpha=70 \beta=40$	0,1784	32,112	0,228	41,04	0,4	72	0,435	78,3

ANEXO1 Resultados Abaqus

Tabla A1. 4 Resultados del modelo por EF mediante Abaqus Dímetro 36mm.

Dim. 36	Ext, Ext,				Flex, Int			
	ROM imping,	Grados	ROM lux,	Grados	ROM imping,	Grados	ROM lux,	Grados
$\alpha=20 \beta=0$	1	180	1	180	0	0	0	0
$\alpha=20 \beta=5$	1	180	1	180	0,1000	18	0,1029	18,522
$\alpha=20 \beta=10$	1	180	1	180	0,02	3,6	0,114	20,52
$\alpha=20 \beta=20$	0,48	86,4	0,557	100,26	0,07	12,6	0,101	18,18
$\alpha=20 \beta=30$	0,3	54	0,34	61,2	0,1	18	0,13	23,4
$\alpha=20 \beta=40$	0,19	34,2	0,222	39,96	0,15	27	0,161	28,98
$\alpha=30 \beta=0$	0,7	126	0,751	135,18	0,01	1,8	0,0559	10,062
$\alpha=30 \beta=5$	0,6400	115,2	0,6972	125,496	0,0400	7,2	0,1414	25,452
$\alpha=30 \beta=10$	0,57	102,6	0,618	111,24	0,08	14,4	0,135	24,3
$\alpha=30 \beta=20$	0,43	77,4	0,471	84,78	0,12	21,6	0,154	27,72
$\alpha=30 \beta=30$	0,3125	56,25	0,351	63,18	0,16	28,8	0,185	33,3
$\alpha=30 \beta=40$	0,2125	38,25	0,24	43,2	0,2	36	0,227	40,86
$\alpha=40 \beta=0$	0,6	108	0,624	112,32	0,07	12,6	0,108	19,44
$\alpha=40 \beta=5$	0,5600	100,8	0,5825	104,85	0,1000	18	0,1390	25,02
$\alpha=40 \beta=10$	0,51	91,8	0,534	96,12	0,13	23,4	0,173	31,14
$\alpha=40 \beta=20$	0,41	73,8	0,438	78,84	0,18	32,4	0,209	37,62
$\alpha=40 \beta=30$	0,31	55,8	0,341	61,38	0,21	37,8	0,24	43,2
$\alpha=40 \beta=40$	0,2225	40,05	0,25	45	0,26	46,8	0,282	50,76
$\alpha=50 \beta=0$	0,5363	96,534	0,56	100,8	0,12	21,6	0,159	28,62
$\alpha=50 \beta=5$	0,5000	90	0,5324	95,832	0,1500	27	0,1897	34,146
$\alpha=50 \beta=10$	0,46	82,8	0,486	87,48	0,19	34,2	0,227	40,86
$\alpha=50 \beta=20$	0,38	68,4	0,408	73,44	0,23	41,4	0,262	47,16
$\alpha=50 \beta=30$	0,3	54	0,329	59,22	0,27	48,6	0,295	53,1
$\alpha=50 \beta=40$	0,225	40,5	0,251	45,18	0,32	57,6	0,338	60,84
$\alpha=60 \beta=0$	0,49	88,2	0,516	92,88	0,18	32,4	0,212	38,16
$\alpha=60 \beta=5$	0,4700	84,6	0,4923	88,614	0,2100	37,8	0,2416	43,488
$\alpha=60 \beta=10$	0,4225	76,05	0,452	81,36	0,24	43,2	0,282	50,76
$\alpha=60 \beta=20$	0,3563	64,134	0,382	68,76	0,29	52,2	0,316	56,88
$\alpha=60 \beta=30$	0,29	52,2	0,313	56,34	0,33	59,4	0,35	63
$\alpha=60 \beta=40$	0,22	39,6	0,245	44,1	0,37	66,6	0,394	70,92
$\alpha=70 \beta=0$	0,45	81	0,48	86,4	0,23	41,4	0,267	48,06
$\alpha=70 \beta=5$	0,4300	77,4	0,4617	83,106	0,2600	46,8	0,2927	52,686
$\alpha=70 \beta=10$	0,39	70,2	0,42	75,6	0,3	54	0,337	60,66
$\alpha=70 \beta=20$	0,3263	58,734	0,357	64,26	0,34	61,2	0,37	66,6
$\alpha=70 \beta=30$	0,2625	47,25	0,295	53,1	0,38	68,4	0,405	72,9
$\alpha=70 \beta=40$	0,1973	35,514	0,233	41,94	0,4225	76,05	0,449	80,82

Tabla A1. 5 Resultados del modelo por EF mediante Abaqus Diámetro 40mm.

Dim. 40	Ext, Ext,				Flex, Int			
	ROM imping,	Grados	ROM lux,	Grados	ROM imping,	Grados	ROM lux,	Grados
$\alpha=20 \beta=0$	1	180	1	180	0	0	0	0
$\alpha=20 \beta=5$	1	180	1	180	0	0	0	0
$\alpha=20 \beta=10$	0,7300	131,4	0,7684	138,31	0,0200	3,6	0,0871	15,678
$\alpha=20 \beta=20$	0,4584	82,512	0,4584	82,512	0,0700	12,6	0,0893	16,072
$\alpha=20 \beta=30$	0,3011	54,198	0,3011	54,198	0,1100	19,8	0,1220	21,96
$\alpha=20 \beta=40$	0,1960	35,28	0,1960	35,28	0,1600	28,8	0,1605	28,89
$\alpha=30 \beta=0$	0,6919	124,54	0,6949	125,08	0	0	0	0
$\alpha=30 \beta=5$	0,6299	113,38	0,6299	113,38	0,0300	5,4	0,0776	13,968
$\alpha=30 \beta=10$	0,5629	101,32	0,5629	101,32	0,0700	12,6	0,1278	23,004
$\alpha=30 \beta=20$	0,4305	77,49	0,4305	77,49	0,1300	23,4	0,1435	25,83
$\alpha=30 \beta=30$	0,3166	56,988	0,3173	57,114	0,1700	30,6	0,1771	31,878
$\alpha=30 \beta=40$	0,2240	40,32	0,2240	40,32	0,2125	38,25	0,2159	38,862
$\alpha=40 \beta=0$	0,5960	107,28	0,5960	107,28	0,0300	5,4	0,0772	13,896
$\alpha=40 \beta=5$	0,5552	99,936	0,5552	99,936	0,0800	14,4	0,1302	23,436
$\alpha=40 \beta=10$	0,5083	91,494	0,5092	91,656	0,1300	23,4	0,1734	31,212
$\alpha=40 \beta=20$	0,4120	74,16	0,4120	74,16	0,1800	32,4	0,1990	35,82
$\alpha=40 \beta=30$	0,3200	57,6	0,3214	57,852	0,2200	39,6	0,2323	41,814
$\alpha=40 \beta=40$	0,2363	42,534	0,3268	58,824	0,2700	48,6	0,2712	48,816
$\alpha=50 \beta=0$	0,5463	98,334	0,5478	98,604	0,0900	16,2	0,1316	23,688
$\alpha=50 \beta=5$	0,5272	94,896	0,5072	91,296	0,1400	25,2	0,1827	32,886
$\alpha=50 \beta=10$	0,4682	84,276	0,4686	84,348	0,1800	32,4	0,2277	40,986
$\alpha=50 \beta=20$	0,3900	70,2	0,3926	70,668	0,2400	43,2	0,2535	45,63
$\alpha=50 \beta=30$	0,3077	55,386	0,3159	56,862	0,2800	50,4	0,2871	51,678
$\alpha=50 \beta=40$	0,2325	41,85	0,2407	43,326	0,3225	58,05	0,3263	58,734
$\alpha=60 \beta=0$	0,4977	89,586	0,5084	91,512	0,1500	27	0,1865	33,57
$\alpha=60 \beta=5$	0,4663	83,934	0,4751	85,518	0,1900	34,2	0,2362	42,516
$\alpha=60 \beta=10$	0,4313	77,634	0,4411	79,398	0,2400	43,2	0,2810	50,58
$\alpha=60 \beta=20$	0,3625	65,25	0,3750	67,5	0,3000	54	0,3100	55,8
$\alpha=60 \beta=30$	0,2925	52,65	0,3053	54,954	0,3400	61,2	0,3426	61,668
$\alpha=60 \beta=40$	0,2225	40,05	0,2378	42,804	0,3800	68,4	0,3804	68,472
$\alpha=70 \beta=0$	0,4575	82,35	0,4753	85,554	0,2000	36	0,2417	43,506
$\alpha=70 \beta=5$	0,4297	77,346	0,4449	80,082	0,2500	45	0,2907	52,326
$\alpha=70 \beta=10$	0,3969	71,442	0,4153	74,754	0,3000	54	0,3360	60,48
$\alpha=70 \beta=20$	0,3348	60,264	0,3541	63,738	0,3500	63	0,3647	65,646
$\alpha=70 \beta=30$	0,2709	48,762	0,2923	52,614	0,3900	70,2	0,3975	71,55
$\alpha=70 \beta=40$	0,2066	37,188	0,2292	41,256	0,4363	78,534	0,4363	78,534

ANEXO1 Resultados Abaqus

Tabla A1. 6 Resultados del modelo por EF mediante Abaqus Diámetro 44mm.

Dim. 44	Ext, Ext,				Flex, Int			
	ROM imping,	Grados	ROM lux,	Grados	ROM imping,	Grados	ROM lux,	Grados
$\alpha=20 \beta=0$	1	180	1	180	0,0000	0	0,0000	0
$\alpha=20 \beta=5$	1	180	1	180	0,1000	18	0,0780	14,04
$\alpha=20 \beta=10$	1	180	1	180	0,0400	7,2	0,0648	11,664
$\alpha=20 \beta=20$	0,5063	91,134	0,53	95,4	0,0825	14,85	0,0915	16,47
$\alpha=20 \beta=30$	0,334	60,12	0,334	60,12	0,1225	22,05	0,1280	23,04
$\alpha=20 \beta=40$	0,219	39,42	0,219	39,42	0,1700	30,6	0,1700	30,6
$\alpha=30 \beta=0$	0,73	131,4	0,738	132,84	0,0100	1,8	0,0279	5,022
$\alpha=30 \beta=5$	0,6600	118,8	0,6607	118,93	0,0500	9	0,0748	13,464
$\alpha=30 \beta=10$	0,6019	108,34	0,606	109,08	0,0900	16,2	0,1160	20,88
$\alpha=30 \beta=20$	0,46	82,8	0,463	83,34	0,1400	25,2	0,1460	26,28
$\alpha=30 \beta=30$	0,3419	61,542	0,344	61,92	0,1800	32,4	0,1830	32,94
$\alpha=30 \beta=40$	0,98	176,4	0,98	176,4	0,2248	40,464	0,2260	40,68
$\alpha=40 \beta=0$	0,6219	111,94	0,626	112,68	0,0600	10,8	0,0822	14,796
$\alpha=40 \beta=5$	0,5800	104,4	0,5842	105,16	0,1100	19,8	0,1273	22,914
$\alpha=40 \beta=10$	0,532	95,76	0,532	95,76	0,1500	27	0,1700	30,6
$\alpha=40 \beta=20$	0,432	77,76	0,432	77,76	0,2000	36	0,2020	36,36
$\alpha=40 \beta=30$	0,3419	61,542	0,344	61,92	0,2363	42,534	0,2380	42,84
$\alpha=40 \beta=40$	0,2522	45,396	0,252	45,36	0,2800	50,4	0,2810	50,58
$\alpha=50 \beta=0$	0,564	101,52	0,564	101,52	0,1100	19,8	0,1370	24,66
$\alpha=50 \beta=5$	0,5316	95,688	0,5316	95,688	0,1500	27	0,1734	31,212
$\alpha=50 \beta=10$	0,488	87,84	0,488	87,84	0,2000	36	0,2250	40,5
$\alpha=50 \beta=20$	0,409	73,62	0,409	73,62	0,2500	45	0,2570	46,26
$\alpha=50 \beta=30$	0,328	59,04	0,328	59,04	0,2900	52,2	0,2940	52,92
$\alpha=50 \beta=40$	0,25	45	0,251	45,18	0,3363	60,534	0,3370	60,66
$\alpha=60 \beta=0$	0,5163	92,934	0,517	93,06	0,1700	30,6	0,1920	34,56
$\alpha=60 \beta=5$	0,4919	88,542	0,4941	88,938	0,2000	36	0,2261	40,698
$\alpha=60 \beta=10$	0,45	81	0,454	81,72	0,2600	46,8	0,2800	50,4
$\alpha=60 \beta=20$	0,3763	67,734	0,382	68,76	0,3100	55,8	0,3120	56,16
$\alpha=60 \beta=30$	0,31	55,8	0,315	56,7	0,3463	62,334	0,3490	62,82
$\alpha=60 \beta=40$	0,2338	42,084	0,243	43,74	0,3916	70,488	0,3920	70,56
$\alpha=70 \beta=0$	0,4725	85,05	0,482	86,76	0,2200	39,6	0,2480	44,64
$\alpha=70 \beta=5$	0,4500	81	0,4588	82,584	0,2500	45	0,2776	49,968
$\alpha=70 \beta=10$	0,4125	74,25	0,422	75,96	0,3200	57,6	0,3350	60,3
$\alpha=70 \beta=20$	0,35	63	0,36	64,8	0,3600	64,8	0,3680	66,24
$\alpha=70 \beta=30$	0,29	52,2	0,297	53,46	0,4000	72	0,4040	72,72
$\alpha=70 \beta=40$	0,22	39,6	0,233	41,94	0,4477	80,586	0,4480	80,64

2. ANEXO2 RESULTADOS RED NEURONAL

Este Anexo contiene los datos de los resultados la red neuronal que se han obtenidos mediante el software Matlab.

Tabla A2. 1 Entrenamiento red IMP-EE (100 datos primeros).

IMPINGEMENT (100 DATOS PRIMEROS)

Extension-Externa 5000 (10-90) RAND

	10	20	30	40	50	60	70
test	0,44433948	0,346462783	0,507998311	0,522484129	0,612348818	0,452273937	0,418944198
testmn	0,011484037	0,011361494	0,010404541	0,010761021	0,021278421	0,007598677	0,006663564
testmn (%)	1,1484037	1,136149449	1,040454131	1,076102144	2,127842074	0,759867716	0,666356361
train	0,847984468	0,588408065	0,401875589	0,631765453	0,633231848	0,866311334	0,963167667
trainmn	0,007447447	0,003751906	0,00259013	0,005500392	0,005109849	0,009336816	0,011427184
trainmn (%)	0,744744726	0,375190644	0,259012974	0,550039171	0,510984869	0,93368159	1,142718352
rsq	0,97081282	0,954457271	0,93791163	0,954662003	0,946961959	0,953730974	0,95603639
time	30,12888946	75,69144824	79,60621929	130,2988332	252,0524018	242,1810932	141,2351321
time (min)	0,502148158	1,261524137	1,326770322	2,171647221	4,200873363	4,036351554	2,353918868

Tabla A2. 2 Entrenamiento red IMP-EE (100 datos últimos).

IMPINGEMENT (100 DATOS ULTIMOS)

Extension-Externa 5000 (10-90) RAND

	10	20	30	40	50	60	70
test	0,919609217	1,004145912	1,077042604	1,11906767	1,299397226	0,898026338	0,983740557
testmn	0,08422072	0,105177989	0,102588695	0,112604389	0,159036993	0,091125871	0,041210801
testmn (%)	8,42207195	10,51779887	10,2588695	11,26043888	15,90369925	9,112587068	4,12108006
train	1,011913099	0,640308241	0,253831717	0,371869583	0,47042848	0,74813872	0,921568168
trainmn	0,011490879	0,004802387	0,001579597	0,003607001	0,029571512	0,012405715	0,108074034
trainmn (%)	1,149087866	0,480238732	0,157959694	0,36070015	2,957151162	1,240571517	10,80740336
rsq	0,719724096	0,767395442	0,675415069	0,749886405	0,723675276	0,794401373	0,870977398
time	27,76404641	48,50150812	94,47212485	137,2953389	261,6491314	330,0337368	259,3228102
time (min)	0,462734107	0,808358469	1,574535414	2,288255648	4,360818857	5,50056228	4,322046836

Tabla A2. 3 Entrenamiento red IMP-EE (150 datos).

IMPINGEMENT (150 DATOS)

Extension-Externa 5000 (10-90) RAND

	10	20	30	40	50	60	70
test	3,147593878	2,616282086	2,156369147	2,537831418	2,353226424	2,289288807	2,262950327
testmn	1,175252084	0,666765961	0,3706626	0,556637597	0,431648584	0,368995178	0,415225351
testmn (%)	117,5252084	66,67659613	37,06625995	55,66375965	43,16485844	36,8995178	41,5225351
train	1,307424062	0,640051767	0,38979159	0,192376979	0,224546031	0,251743481	0,361519428
trainmn	0,056718445	0,004422653	0,00212191	0,000762806	0,001168658	0,001360427	0,047166249
trainmn (%)	5,671844484	0,442265262	0,212190963	0,07628056	0,116865794	0,136042699	4,716624923
rsq	0,584695559	0,622049851	0,607669055	0,579689459	0,594267853	0,640184832	0,631688476
time	33,35825329	40,66654764	128,8749527	264,7098664	231,5344967	253,5377456	262,6802364
time (min)	0,555970888	0,677775794	2,147915879	4,411831107	3,858908278	4,225629093	4,37800394

ANEXO2 Resultados Red neuronal

Tabla A2. 4 Entrenamiento red IMP-EE (180 datos).

IMPINGEMENT (180 DATOS)

Extension-Externa 5000 (10-90) RAND

	10	20	30	40	50	60	70
test	0,96154625	1,642980261	1,581687734	1,573734483	1,636208613	1,780685497	1,95062215
testmn	0,150723676	0,293139238	0,238843948	0,282460405	0,259497947	0,283861149	0,323213174
testmn (%)	15,07236758	29,31392378	23,8843948	28,24604047	25,9497947	28,3861149	32,3213174
train	1,507736273	0,671013391	0,254337318	0,186577579	0,172599306	0,193427523	0,063807006
trainmn	0,050701543	0,005466617	0,001224272	0,000883983	0,001232711	0,003320766	0,000222427
trainmn (%)	5,070154342	0,546661721	0,122427185	0,088398346	0,123271118	0,332076551	0,022242664
rsq	0,828238665	0,767314815	0,707356955	0,693768462	0,679013102	0,681224834	0,655044853
time	45,90509238	54,34524194	136,2198781	165,9152872	318,5602139	359,3151932	565,7636162
time (min)	0,765084873	0,905754032	2,270331301	2,765254787	5,309336899	5,988586554	9,429393603

Tabla A2. 5 Entrenamiento red IMP-EE (216 datos).

IMPINGEMENT (216 DATOS)

Extension-Externa 5000 (10-90) RAND

	10	20	30	40	50	60	70
test	1,488812707	1,192146861	1,57087287	1,56703564	1,865891368	1,562350663	1,61705347
testmn	0,464387654	0,157085234	0,228447795	0,268875079	0,260241959	0,19543524	0,204631672
testmn (%)	46,43876544	15,70852341	22,84477954	26,88750789	26,0241959	19,543524	20,46316716
train	1,52289096	0,789416661	0,410290121	0,233579898	0,080873349	0,069324375	0,146880252
trainmn	0,040982268	0,012317274	0,00520442	0,004642846	0,000896937	0,000406306	0,002461514
trainmn (%)	4,098226764	1,231727391	0,520441955	0,464284647	0,089693745	0,040630551	0,246151364
rsq	0,759442946	0,778187052	0,715242118	0,711268358	0,697488838	0,715753569	0,719546508
time	39,67010016	79,45970063	172,8880397	345,0035949	593,0923139	598,1391835	594,9358916
time (min)	0,661168336	1,324328344	2,881467328	5,750059914	9,884871898	9,968986392	9,915598194

Tabla A2. 6 Entrenamiento red IMP-FI (100 datos primeros).

IMPINGEMENT (100 DATOS PRIMEROS)

Flexion-interna 5000 (10-90) RAND

	10	20	30	40	50	60	70
test	65535	65535	65535	65535	65535	65535	65535
testmn	0,015334575	0,004623267	0,039887831	0,026961358	0,029329891	0,028224662	0,016796468
testmn (%)	1,533457534	0,462326742	3,988783143	2,696135754	2,932989062	2,822466189	1,679646765
train	65535	65535	65535	65535	65535	65535	65535
trainmn	0,08591466	0,082787069	0,049502335	0,051819456	0,055994298	0,049667474	0,092444523
trainmn (%)	8,591465959	8,278706922	4,950233531	5,181945626	5,599429783	4,966747356	9,24445228
rsq	0,93216037	0,942028607	0,738767917	0,745574423	0,841251482	0,830354863	0,926136616
time	19,07086104	37,12777756	70,23574019	74,79653695	190,0753279	182,5467552	282,9302799
time (min)	0,317847684	0,618796293	1,17059567	1,246608949	3,167922132	3,042445921	4,715504666

Tabla A2. 7 Entrenamiento red IMP-FI (100 datos últimos).

IMPINGEMENT (100 DATOS ULTIMOS)

Flexion-interna 5000 (10-90) RAND

	10	20	30	40	50	60	70
test	65535	65535	65535	65535	65535	65535	65535
testmn	0,023034492	0,013555462	0,039679814	0,029373054	0,042817618	0,037500669	0,028543729
testmn (%)	2,303449163	1,355546228	3,967981411	2,937305352	4,281761798	3,750066911	2,854372872
train	65535	65535	65535	65535	65535	65535	65535
trainmn	0,070986802	0,053717248	0,024340022	0,042082946	0,035801818	0,053228913	0,063247512
trainmn (%)	7,098680164	5,371724775	2,434002193	4,20829458	3,580181849	5,322891279	6,324751209
rsq	0,913590469	0,932169791	0,841961238	0,818431732	0,729220756	0,737221616	0,84396403
time	17,23042829	40,50591895	99,89522468	124,7045281	79,012724	118,2262416	329,3344766
time (min)	0,287173805	0,675098649	1,664920411	2,078408802	1,316878733	1,970437359	5,488907943

Tabla A2. 8 Entrenamiento red IMP-FI (150 datos).

IMPINGEMENT (150 DATOS)

Flexion-interna 5000 (10-90) RAND

	10	20	30	40	50	60	70
test	65535	65535	65535	65535	65535	65535	65535
testmn	0,0281101	0,031796917	0,056488316	0,037231085	0,057890387	0,048443175	0,052596697
testmn (%)	2,811010032	3,179691687	5,648831569	3,723108514	5,789038655	4,844317476	5,259669663
train	65535	65535	65535	65535	65535	65535	65535
trainmn	0,079421887	0,065116839	0,038047723	0,033632085	0,069379481	0,033710565	0,04555259
trainmn (%)	7,942188666	6,511683913	3,804772261	3,363208536	6,937948097	3,371056544	4,555258987
rsq	0,880574344	0,861167339	0,811957759	0,83802353	0,818555097	0,770119201	0,805785586
time	18,21323246	104,4434154	86,78141374	122,2546371	155,0524701	208,3090817	199,4259688
time (min)	0,303553874	1,74072359	1,446356896	2,037577284	2,584207835	3,471818028	3,323766147

Tabla A2. 9 Entrenamiento red IMP-FI (180 datos).

IMPINGEMENT (180 DATOS)

Flexion-interna 5000 (10-90) RAND

	10	20	30	40	50	60	70
test	65535	65535	65535	65535	65535	65535	65535
testmn	0,00847571	0,01009153	0,014622793	0,017161264	0,057000146	0,017283145	0,041797228
testmn (%)	0,847571016	1,009152999	1,462279341	1,716126352	5,700014588	1,728314516	4,179722779
train	65535	65535	65535	65535	65535	65535	65535
trainmn	0,100431915	0,081235266	0,049774109	0,034435647	0,012311583	0,063135043	0,02785785
trainmn (%)	10,0431915	8,123526631	4,977410918	3,443564662	1,231158278	6,313504298	2,785785004
rsq	0,957475394	0,948480865	0,914683678	0,896393578	0,752456133	0,89350741	0,80264747
time	19,82211589	60,75789632	92,98625006	186,4432137	197,5268291	433,6747342	596,9530209
time (min)	0,330368598	1,012631605	1,549770834	3,107386895	3,292113818	7,227912237	9,949217015

ANEXO2 Resultados Red neuronal

Tabla A2. 10 Entrenamiento red IMP-FI (216 datos).

IMPINGEMENT (216 DATOS)

Flexion-interna 5000 (10-90) RAND

	10	20	30	40	50	60	70
test	65535	65535	65535	65535	65535	65535	65535
testmn	0,041401753	0,042080203	0,066340981	0,079760299	0,094907323	0,126313076	0,06538277
testmn (%)	4,140175341	4,208020343	6,634098137	7,976029888	9,490732295	12,63130762	6,538276985
train	65535	65535	65535	65535	65535	65535	65535
trainmn	0,070546519	0,062641284	0,037459085	0,011802676	0,014805647	0,00362296	0,037998891
trainmn (%)	7,054651888	6,264128379	3,745908503	1,18026756	1,480564658	0,362295978	3,79988913
rsq	0,867012212	0,863313847	0,79341531	0,716695675	0,706020766	0,657464307	0,770011634
time	30,2386987	52,39860294	129,8187169	189,1085566	250,2111522	286,8962643	535,1825212
time (min)	0,503978312	0,873310049	2,163645282	3,151809277	4,17018587	4,781604405	8,919708686

Tabla A2. 11 Entrenamiento red LUX-EE (100 datos primeros).

LUXACIÓN (100 DATOS PRIMEROS)

Extension-Externa 5000 (10-90) RAND

	10	20	30	40	50	60	70
test	0,242326438	0,512145397	1,111383308	0,841444268	0,489788311	0,621134496	0,687629391
testmn	0,013117388	0,029656119	0,053484382	0,047287434	0,018381483	0,082283249	0,033454546
testmn (%)	1,311738816	2,965611933	5,348438235	4,728743379	1,838148317	8,228324869	3,345454602
train	1,203970633	0,439743336	0,262170263	0,387301018	0,540264016	0,875068702	1,008798793
trainmn	0,041800423	0,006657231	0,004706624	0,012360925	0,017218348	0,036271953	0,035818686
trainmn (%)	4,18004225	0,665723104	0,470662429	1,236092516	1,72183477	3,627195339	3,581868609
rsq	0,949155537	0,883049767	0,835223739	0,896938742	0,932776339	0,895655421	0,915943539
time	20,82303877	52,91608096	64,97894144	126,8594766	112,104529	219,546493	214,4471246
time (min)	0,347050646	0,881934683	1,082982357	2,11432461	1,868408816	3,659108217	3,574118743

Tabla A2. 12 Entrenamiento red LUX-EE (100 datos últimos).

LUXACIÓN (100 DATOS ULTIMOS)

Extension-Externa 5000 (10-90) RAND

	10	20	30	40	50	60	70
test	1,125138918	1,181870369	1,178484382	1,28328953	1,132586712	1,401741704	1,220575185
testmn	0,166743386	0,177661869	0,067954749	0,139863776	0,155539731	0,183666386	0,137516374
testmn (%)	16,67433856	17,76618695	6,795474935	13,98637761	15,55397311	18,36663858	13,75163737
train	1,129691481	0,483670754	0,205123896	0,100131739	0,516739178	0,736712719	1,013203349
trainmn	0,016313039	0,00414627	0,001930755	0,000371633	0,00753813	0,039107228	0,040455581
trainmn (%)	1,631303917	0,414627048	0,193075451	0,037163309	0,753812986	3,910722788	4,045558111
rsq	0,665633984	0,651681569	0,789184436	0,5748243	0,656809598	0,648873617	0,67319839
time	23,92821522	44,64154611	161,9039129	186,9313303	202,473235	100,3168152	256,2301281
time (min)	0,398803587	0,744025768	2,698398548	3,115522171	3,374553917	1,67194692	4,270502135

Tabla A2. 13 Entrenamiento red LUX-EE (150 datos).

LUXACIÓN (150 DATOS)

Extension-Externa 5000 (10-90) RAND

	10	20	30	40	50	60	70
test	0,549342004	0,902487106	1,068982918	1,016760877	1,291139245	1,122595678	1,120360228
testmn	0,087480204	0,117995596	0,130193054	0,159632108	0,154150534	0,12447435	0,129400546
testmn (%)	8,74802045	11,79955957	13,01930545	15,9632108	15,41505337	12,44743496	12,94005455
train	1,596968971	0,618997848	0,346998899	0,232600553	0,093272298	0,259837712	0,285526953
trainmn	0,027602544	0,004346542	0,002062738	0,001724507	0,000282844	0,001647776	0,002343866
trainmn (%)	2,760254448	0,434654246	0,206273765	0,172450665	0,028284418	0,164777563	0,234386587
rsq	0,852461247	0,791336808	0,769923241	0,741747139	0,728480185	0,750821576	0,760133746
time	33,80791031	57,80884046	104,7749994	154,6287465	263,3642815	280,7523551	445,8797942
time (min)	0,563465172	0,963480674	1,746249989	2,577145774	4,389404692	4,679205918	7,431329904

Tabla A2. 14 Entrenamiento red LUX-EE (180 datos).

LUXACIÓN (180 DATOS)

Extension-Externa 5000 (10-90) RAND

	10	20	30	40	50	60	70
test	1,363565239	1,35185184	1,497763822	1,714200076	1,730545036	2,028029511	1,748960329
testmn	0,326459255	0,170142987	0,160705024	0,179284719	0,162938545	0,226764835	0,161711085
testmn (%)	32,6459255	17,01429874	16,07050241	17,92847192	16,29385448	22,67648355	16,17110854
train	1,464230984	0,547174726	0,148179572	0,085777304	0,107681947	0,061388605	0,098874592
trainmn	0,030139788	0,004205659	0,000560596	0,000295753	0,000399973	0,000176369	0,000346302
trainmn (%)	3,01397877	0,420565858	0,0560596	0,029575333	0,039997266	0,017636891	0,034630245
rsq	0,844101033	0,818466835	0,802388228	0,779338941	0,786038908	0,737579801	0,79537501
time	28,63774298	48,70019334	130,7334336	204,6644958	291,0712446	592,9063599	527,1679578
time (min)	0,477295716	0,811669889	2,178890561	3,411074929	4,851187411	9,881772666	8,78613263

Tabla A2. 15 Entrenamiento red LUX-EE (180 datos).

LUXACIÓN (216 DATOS)

Extension-Externa 5000 (10-90) RAND

	10	20	30	40	50	60	70
test	1,005797548	0,976114948	1,282118827	1,296089035	1,60017449	1,475137756	1,574345311
testmn	0,093032236	0,126617342	0,13211777	0,145188125	0,189748851	0,140070153	0,156443216
testmn (%)	9,303223594	12,66173423	13,211777	14,51881254	18,9748851	14,00701532	15,64432165
train	1,827715824	0,801377027	0,379365851	0,183501483	0,140030757	0,176837479	0,138662562
trainmn	0,072317423	0,011976839	0,004886722	0,001706159	0,000779796	0,002309142	0,001599708
trainmn (%)	7,231742257	1,197683926	0,48867218	0,170615859	0,077979637	0,23091422	0,159970789
rsq	0,81801338	0,790152401	0,76076282	0,72097457	0,696499532	0,735876721	0,720797929
time	28,34686104	63,81139246	114,7355381	239,7064858	306,092352	505,9060786	904,8768809
time (min)	0,472447684	1,063523208	1,912258969	3,995108097	5,101539199	8,431767976	15,08128135

ANEXO2 Resultados Red neuronal

Tabla A2. 16 Entrenamiento red LUX-FI (100 datos primeros).

LUXACIÓN (100 DATOS PRIMEROS)

Flexion-interna 5000 (10-90) RAND

	10	20	30	40	50	60	70
test	65535	65535	65535	65535	65535	65535	65535
testmn	0,008459562	0,017812066	0,029724855	0,046596904	0,018222675	0,053034037	0,015888879
testmn (%)	0,845956175	1,781206637	2,972485474	4,65969044	1,822267508	5,303403732	1,588887918
train	65535	65535	65535	65535	65535	65535	65535
trainmn	0,099088924	0,073158052	0,052142728	0,033677211	0,07886716	0,061339205	0,09195672
trainmn (%)	9,9088924	7,315805204	5,214272762	3,367721065	7,886715951	6,133920456	9,195671962
rsq	0,931541638	0,891102539	0,818974421	0,77081985	0,83964472	0,73569682	0,910254323
time	36,60214375	130,7225413	138,5098897	226,486007	371,6885885	276,6650769	555,673441
time (min)	0,610035729	2,178709021	2,308498162	3,774766783	6,194809809	4,611084616	9,261224017

Tabla A2. 17 Entrenamiento red LUX-FI (100 datos últimos).

LUXACIÓN (100 DATOS ULTIMOS)

Flexion-interna 5000 (10-90) RAND

	10	20	30	40	50	60	70
test	65535	65535	65535	65535	65535	65535	65535
testmn	0,0144619	0,051507645	0,054896735	0,123732463	0,036108173	0,022139281	0,021812296
testmn (%)	1,446189976	5,150764457	5,489673533	12,37324632	3,610817258	2,213928127	2,181229582
train	65535	65535	65535	65535	65535	65535	65535
trainmn	0,082735984	0,048661087	0,019671147	0,029222136	0,050836014	0,062877802	0,076863799
trainmn (%)	8,27359835	4,866108652	1,967114665	2,922213571	5,083601358	6,28778024	7,686379926
rsq	0,931988612	0,823261569	0,733312616	0,748604857	0,838701131	0,892799614	0,897696588
time	22,92884687	68,99489295	83,36675253	90,31253568	129,1994537	327,1041197	187,8847245
time (min)	0,382147448	1,149914883	1,389445875	1,505208928	2,153324229	5,451735329	3,131412075

Tabla A2. 18 Entrenamiento red LUX-FI (150 datos).

LUXACIÓN (150 DATOS)

Flexion-interna 5000 (10-90) RAND

	10	20	30	40	50	60	70
test	65535	65535	65535	65535	65535	65535	65535
testmn	0,031969977	0,031805704	0,057465155	0,053903183	0,057259115	0,079319798	0,054105901
testmn (%)	3,196997739	3,180570388	5,746515496	5,390318324	5,725911542	7,931979845	5,410590118
train	65535	65535	65535	65535	65535	65535	65535
trainmn	0,083856701	0,064406059	0,040040678	0,030752677	0,036453406	0,024901453	0,042212341
trainmn (%)	8,385670148	6,440605907	4,00406781	3,075267741	3,645340626	2,49014529	4,221234149
rsq	0,865451613	0,861373821	0,798403736	0,805041537	0,827850562	0,676446088	0,777619819
time	61,50263007	101,0537912	170,0461366	358,1808304	329,8213019	191,0552636	718,5454741
time (min)	1,025043835	1,684229853	2,834102276	5,969680507	5,497021698	3,184254393	11,9757579

Tabla A2. 19 Entrenamiento red LUX-FI (180 datos).

LUXACIÓN (180 DATOS)

Flexion-interna 5000 (10-90) RAND

	10	20	30	40	50	60	70
test	65535	65535	65535	65535	65535	65535	65535
testmn	0,023429683	0,02017085	0,023359144	0,042953779	0,043683908	0,087596541	0,035470663
testmn (%)	2,342968313	2,017085025	2,335914408	4,295377875	4,368390834	8,75965409	3,5470663
train	65535	65535	65535	65535	65535	65535	65535
trainmn	0,083577147	0,064097516	0,04360893	0,036279055	0,020631457	0,014514247	0,046055923
trainmn (%)	8,357714717	6,409751598	4,360893014	3,627905478	2,063145709	1,451424744	4,605592326
rsq	0,89923897	0,909008064	0,889485262	0,826606573	0,776222088	0,618815855	0,800776347
time	23,99583336	62,7160837	140,4812322	180,0555869	209,2598915	211,8624078	264,7019194
time (min)	0,399930556	1,045268062	2,34135387	3,000926449	3,487664859	3,53104013	4,411698656

Tabla A2. 20 Entrenamiento red LUX-FI (216 datos).

LUXACIÓN (216 DATOS)

Flexion-interna 5000 (10-90) RAND

	10	20	30	40	50	60	70
test	65535	65535	65535	65535	65535	65535	65535
testmn	0,037905661	0,039818622	0,048289625	0,049193901	0,062864217	0,063040382	0,062282076
testmn (%)	3,790566126	3,981862223	4,828962527	4,919390125	6,2864217	6,304038173	6,228207646
train	65535	65535	65535	65535	65535	65535	65535
trainmn	0,068374247	0,051243789	0,022892656	0,008519439	0,004473949	0,008997467	0,022328271
trainmn (%)	6,837424659	5,1243789	2,289265595	0,851943892	0,447394867	0,899746674	2,232827096
rsq	0,859228479	0,850123049	0,778022675	0,768782304	0,677660302	0,695174208	0,743698516
time	34,66339497	60,87886092	122,1895073	155,5159141	306,8765914	313,8533201	450,462317
time (min)	0,577723249	1,014647682	2,036491789	2,591931901	5,114609856	5,230888669	7,507705284

3. MANUAL DE IMPRESIÓN DE LA PRÓTESIS DE CADERA EN 3D

En este apartado del anexo se va a mostrar un pequeño tutorial de como se hizo la impresión en 3D de la prótesis de cadera, para ello, se explicarán todos los pasos que se han seguido para su fabricación.

3.1. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

La impresora que se ha usado para este proyecto es una impresora de la marca Ultimaker de una empresa holandesa, en concreto se ha usado la Ultimaker 2. Esta impresora se forma por las siguientes partes (Figura A3.1):

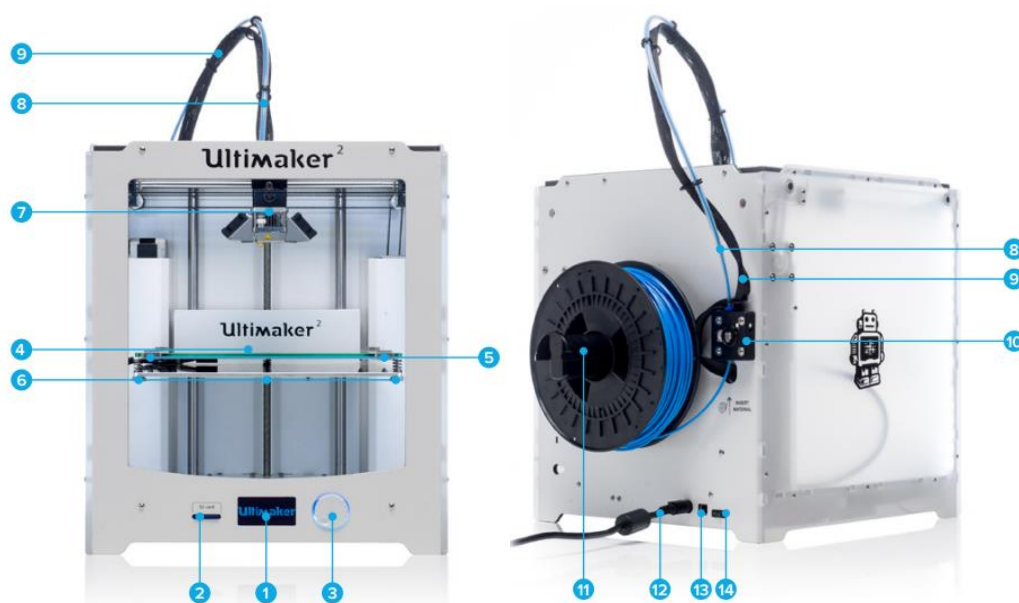


Figura A3. 1 Partes de Ultimaker 2.

- | | | |
|-----------------------|-----------------------|------------------|
| 1. Display | 6. Build plate screws | 11. Spool holder |
| 2. SD card slot | 7. Print head | 12. Power socket |
| 3. Push/rotate button | 8. Bowden tube | 13. USB socket |
| 4. Build plate | 9. Print head cable | 14. Power switch |
| 5. Build plate clamps | 10. Feeder | |

Las características de la impresora son:

- Impresión
 - Volumen de impresión 223mm/223mm/205mm
 - Resolución: Rápida (0,2mm)
Normal (0,1 mm)
Alto (0,06 mm)
Ultra (0,04mm)
 - Diámetro del filamento: 2,85 mm
 - Diámetro de la boquilla: 0,4 mm
 - Velocidad de impresión: 30mm/s-300mm/s
- Software
 - Software: Cura
 - Tipo de archivos: STL/OBJ/DAE/AMF
 - Sistema operativo: Windows/Mac/Linux
- Electrónica
 - Alimentación: 100-240V, 50-60Hz
 - Conectividad: tarjeta SD
- Dimensiones
 - Tamaño de la impresora 357mm/342mm/388mm
 - Dimensiones de transporte 400mm/400mm/550mm
 - Peso 11,2 Kg
- Temperatura
 - Temperatura ambiente de funcionamiento 15-32°C
 - Temperatura de almacenaje 0-32°C
 - Temperatura de operación del inyector 180-260°C
 - Temperatura de la plataforma caliente 50-100°C

El material que se va a usar para la impresión es PLA (Ácido Poliláctico o Poliláctido) que es un plástico biodegradable debido a su origen natural (maíz, patata o caña de azúcar). La textura final no es tan suave como la del ABS, ni es tan resistente. Sin embargo, las piezas impresas se comportan mejor con los ángulos, resultan más brillantes y no necesita cama caliente. Las características que tiene para la impresión son:

- Filamento: 2,85 mm
- Temperatura de impresión: 200°C
- Temperatura de resistente: 75°C
- Densidad 1,24 g/cm³

3.2. PREPROCESO DE IMPRESIÓN: MÉTODO OPERATIVO

Lo primero que hay que hacer para que la impresora pueda imprimir correctamente el archivo que queremos imprimir es pasarlo a formato .stl ya que el programa empleado para la impresión utiliza archivos .stl. Para ello, tenemos que convertir el archivo que se ha usado en Abaqus en formato .step, puesto que con Abaqus no podemos pasar directamente a formato .stl. Una vez que tenemos el archivo en formato .step vamos a usar el software Autodesk Inventor Profesional 2016 que es capaz de trabajar con este tipo de formato.

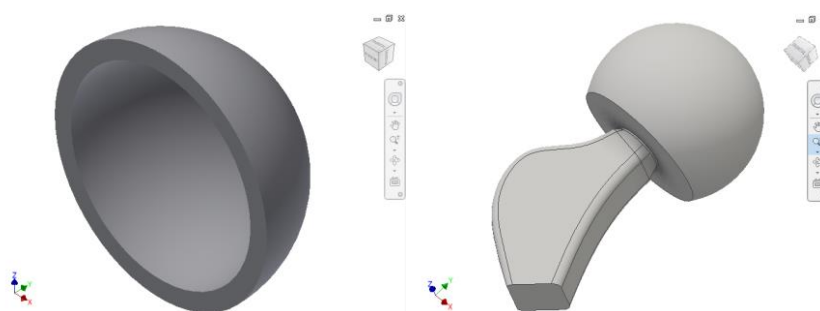


Figura A3. 2 Prótesis y acetábulo importados al software Inventor.

Como se puede comprobar, Autodesk Inventor los abre sin ningún problema los archivos. Estos archivos los abre como un archivo tipo .iam que en Inventor los destina a el diseño de conjuntos y ensamblajes. Se ha comprobado que los archivos tienen las mismas características que las que se han usado en Abaqus y como no hay que hacer ninguna modificación a los archivos podemos proceder a su conversión directamente. Para ello se irá al icono de inicio – guardar como: y posteriormente en la ventana de guardado se les llamará a los nuevos archivos iguales que los anteriores pero con la terminación .stl. Para comprobar que se ha guardado correctamente se usará el software Cura 15.04.5 que es el programa que usa la impresora y así podemos ver si salen los archivos con las mismas características que se ha diseñado.

Una vez que tenemos abierto el software podemos abrir los archivos .stl para ver si tenemos todo correctamente antes de mandar a imprimir. Introduciendo los archivos que queremos imprimir se ha observado que no están a la escala que nosotros queremos, ya que han sido reducidas en la conversión a una escala de 1:10 como podemos ver en la siguiente Figura A3.4.

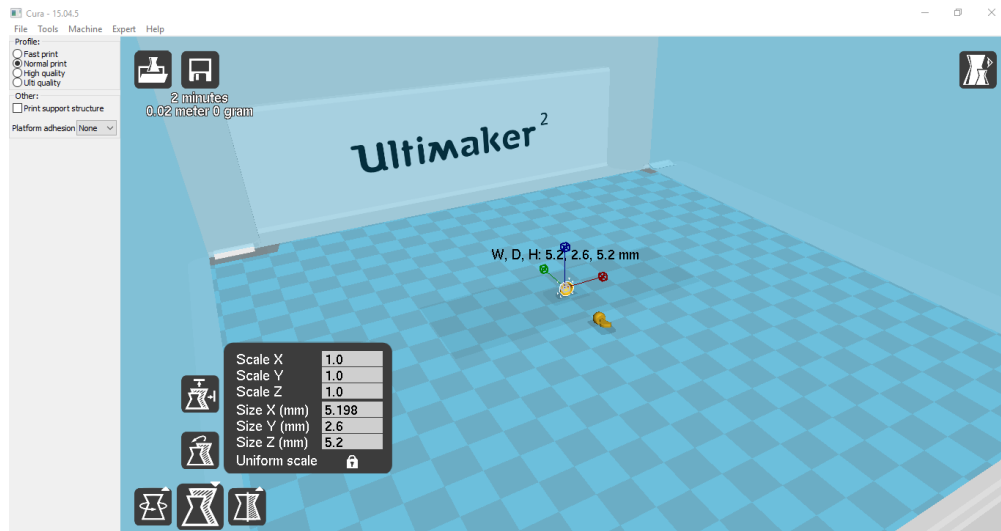


Figura A3. 3 Revisión de la geometría a imprimir.

Para poder ponerlo en las medidas correctas tenemos que poner en las dos piezas una escala de 10 en los tres ejes X, Y y Z.

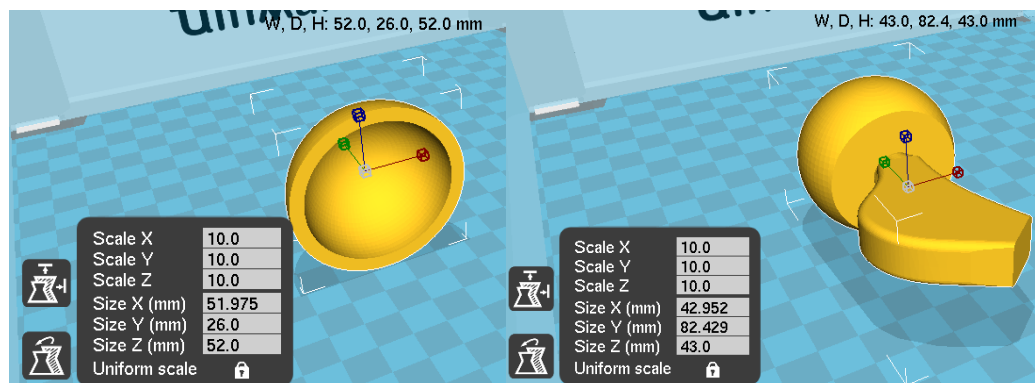


Figura A3. 4 Medidas de la pieza a imprimir.

3.3. CONFIGURACIÓN SOFTWARE DE IMPRESIÓN: MÉTODO OPERATIVO

Cuando iniciamos el software Cura 15.04.5 vemos la zona de trabajo de la impresora 3D, como se observa es una zona azul cuadriculada que representa la base de la impresora 3D Figura A3.5.

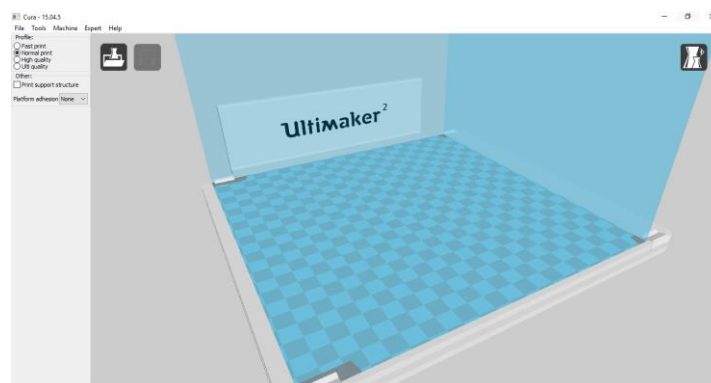


Figura A3. 5 Zona de trabajo para impresora 3D.

En esta área de trabajo nos encontraremos las herramientas necesarias para cargar las figuras que queremos imprimir, modificar y visualizar las diferentes capas.



Figura A3. 6 Configuración de la impresión.

- **Load:** Carga el modelo 3D que queremos imprimir. También se puede cargar arrastrando el archivo del modelo dentro del área de impresión.
- **View Mode:** El icono de view mode es un icono desplegable que ofrece 5 tipos de vistas diferentes del objeto que tengamos en el área de impresión. Podemos intercambiar las vistas para ver con detalles algunos elementos de la figura.

- **Normal:** Muestra la figura como un sólido, permitiendo ver el resultado final de la pieza impresa
- **Overhang:** Esta vista realza las zonas que tienen un ángulo superior al ángulo máximo que tengamos configurado. Esto es muy útil para ver qué zonas pueden ser problemáticas a la hora de imprimir y determinar si necesitan soporte o no.
- **Transparent:** Hace que la figura sea transparente permitiendo ver a través de ella.
- **X-Ray:** Esta vista, además de permitir ver a través del objeto, mostrará cavidades o elementos internos a las propias piezas.
- **Layers:** De todas las vistas esta es quizás la más útil, ya que podemos ver el diseño por capas, esto nos permite ver como actuará realmente la impresora a la hora de imprimir y si hay alguna zona en la que el laminado de la pieza sea complejo o simplemente no lo haga como nosotros queremos.
- **Opciones de transformación:** en la parte interior izquierda del área de impresión, podemos encontrar varias opciones que nos permiten aplicar transformaciones simples al modelo 3D, estas transformaciones sirven para adaptar el modelo al área de impresión o ajustarlo al tamaño deseado (Figura A3.7).
 - **Rotate:** Permite rotar el modelo en cualquiera de los 3 ejes. También da la opción de retornar los cambios que hayamos realizado pulsando "reset" o apoyar el modelo por su parte plana dando al botón "lay flat"
 - **Scale:** Con esta función se puede modificar el tamaño del modelo 3D. Al pulsar este icono, se despliega un menú donde podemos aplicar un factor de multiplicación a la escala del objeto o bien indicar las medidas que queremos que tenga el mismo. Este redimensionado puede hacerse de manera proporcional al objeto inicial o de manera totalmente libre en función de si tenemos la opción "Uniform Scale" activada o desactivada. Dentro de "Scale", también podemos encontrar la opción de deshacer los cambios aplicado pulsando "Reset" o escalar al tamaño máximo permitido por el área de impresión pulsando sobre "To max".
 - **Mirror:** Esta opción crea una figura espejo de la figura inicial. Se puede espejar la figura en cualquiera de los 3 ejes.

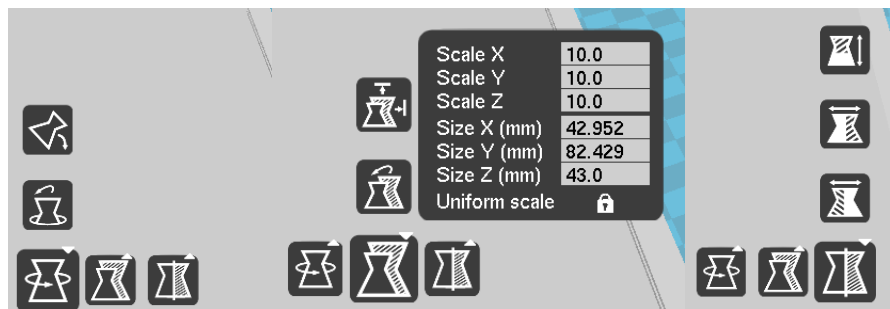


Figura A3. 7 Opciones de transformación.

Una vez que tenemos las piezas a la escala correcta y sabiendo cómo funciona el programa podemos colocar las piezas en la mejor posición para que no tengamos ningún problema de impresión.

Para la colocación correcta del acetábulo se ha girado la pieza 90° para que la base de la pieza este apoyada en la base de la impresora como se puede ver en la FiguraA3.8.

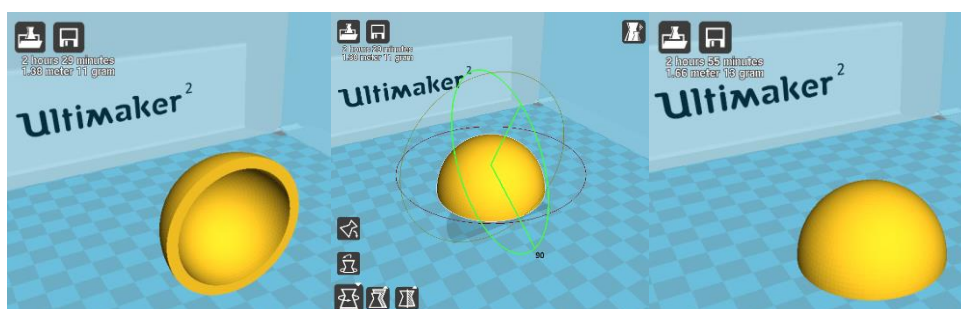


Figura A3. 8 Posicionamiento correcto del acetábulo.

La pieza de la prótesis es más compleja de saber cuál es su colocación correcta ya que la cabeza de la prótesis es una esfera y es algo complicada de imprimir, por eso se ha optado colocar la cabeza en la prótesis en la base de la impresora ya que es la mejor forma para imprimir, para ello, giraremos la pieza 90° respecto a la colocación que nos sale por defecto como podemos ver en la Figura A3.9.

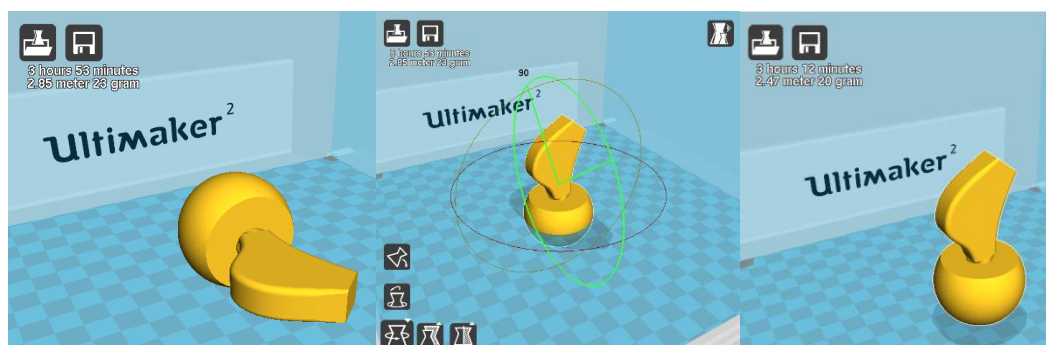
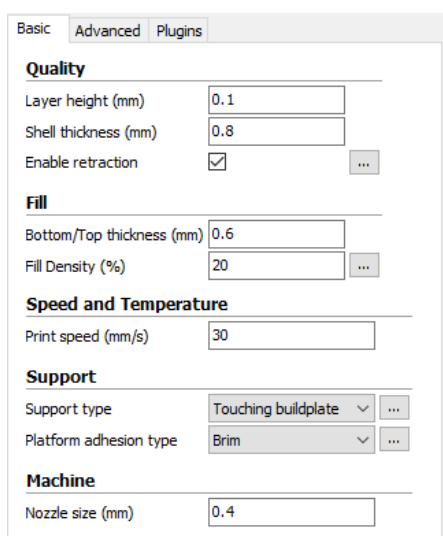


Figura A3. 9 Posicionamiento correcto de la prótesis.

3.4. CONFIGURACIÓN DE TÉCNICA DE IMPRESIÓN: MÉTODO OPERATIVO

Una vez que se ha configurado la posición y el tamaño de la prótesis de cadera se precederá a establecer las configuraciones de impresión, al ser un programa de la misma marca de la impresora muchos parámetros no salen ya que los tiene fijados por defecto, pero aun así tiene otros parámetros que se pueden fijar según las características que quieras que tenga la pieza una vez terminada como podemos ver en la Figura A3.10.



The image shows a software window for printer configuration with several tabs: Basic, Advanced, and Plugins. The 'Advanced' tab is selected. It contains several sections with adjustable parameters:

- Quality**
 - Layer height (mm): 0.1
 - Shell thickness (mm): 0.8
 - Enable retraction: ☒ (with a three-dot menu icon)
- Fill**
 - Bottom/Top thickness (mm): 0.6
 - Fill Density (%): 20 (with a three-dot menu icon)
- Speed and Temperature**
 - Print speed (mm/s): 30
- Support**
 - Support type: Touching buildplate (with a dropdown arrow and a three-dot menu icon)
 - Platform adhesion type: Brim (with a dropdown arrow and a three-dot menu icon)
- Machine**
 - Nozzle size (mm): 0.4

Figura A3. 10 Configuración de impresión.

En la figura se pueden ver diferentes apartados que consisten en la calidad de las piezas (Quality), relleno (Fill), velocidad y temperatura (Speed and Temperature), soporte (Support) y la maquina (Machine). Luego cada apartado tiene sus subapartados para añadir las mejores características para tener una buena impresión.

Después de configurar las características de impresión de las piezas podemos observar el tiempo estimado de impresión, en concreto, el acetábulo tardaría **2h 55min** con un total de **258 capas, 1,66 metros** de hilo y un peso de **13 gramos**, para la prótesis la impresora tardaría **3h 12 min** con un total de **822 capas, 2,47 metros** de hilo y un peso de **20 gramos**. Además, el programa nos permite visualizar un rango de capas para poder ver el relleno interno de las piezas (Acetábulo, Figura A3.11) y (Prótesis, Figura A3.12).

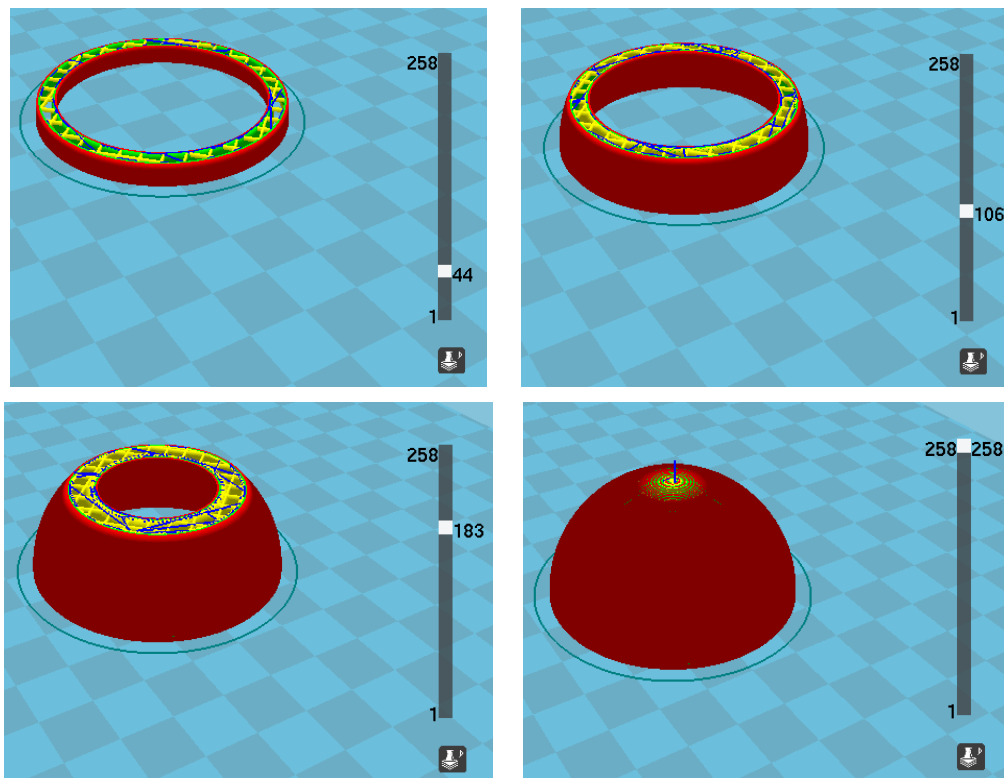


Figura A3. 11 Previsualización de impresión del acetábulo.

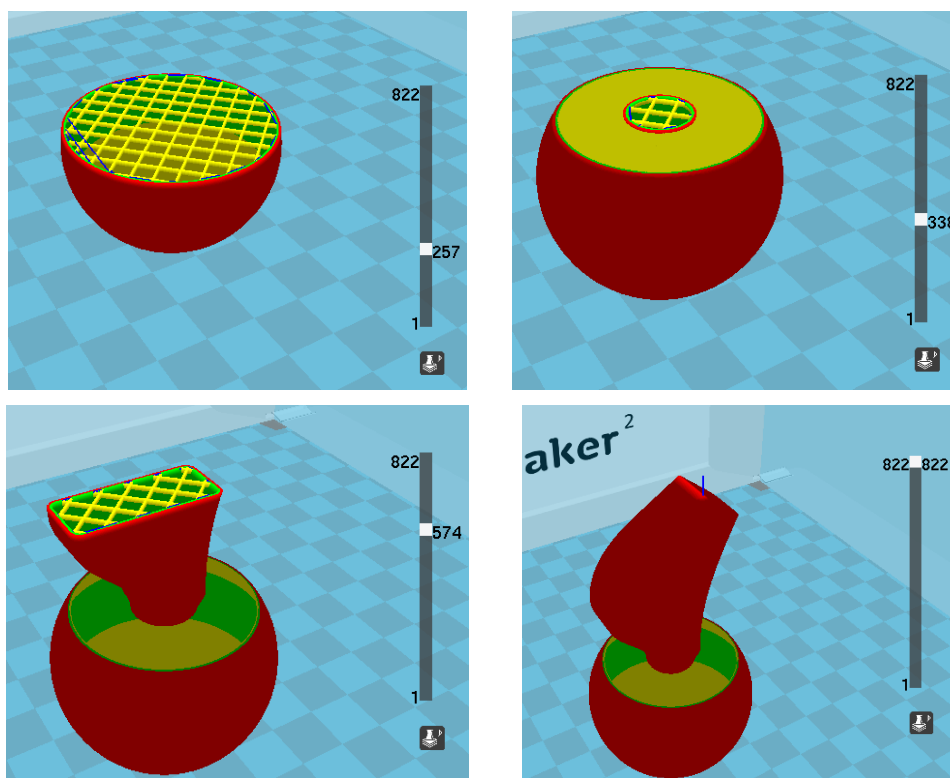


Figura A3. 12 Previsualización de impresión de la prótesis.

3.5. IMPRESIÓN DE PIEZA 3D

Una vez finalizada la configuración de la impresora se procederá a preparar la impresora. Antes de realizar la conexión de la impresora al programa se ha tenido que limpiar la superficie de la base caliente muy bien para eliminar la laca empleada de impresiones de casos anteriores y poder dejar la superficie completamente lisa y limpia para favorecer el agarre del PLA.

Después de limpiar la base conectamos el cable USB de la impresora al ordenador, configuramos la impresora para mover los ejes X, Y y Z en la posición (0, 0, 0) para no tener ningún problema a la hora de imprimir. A continuación, procedemos a preparar el plástico PLA y comenzamos el proceso de impresión. En la Figura A3.13 podemos ver algunas imágenes de cómo trabaja la impresora para hacer la prótesis.

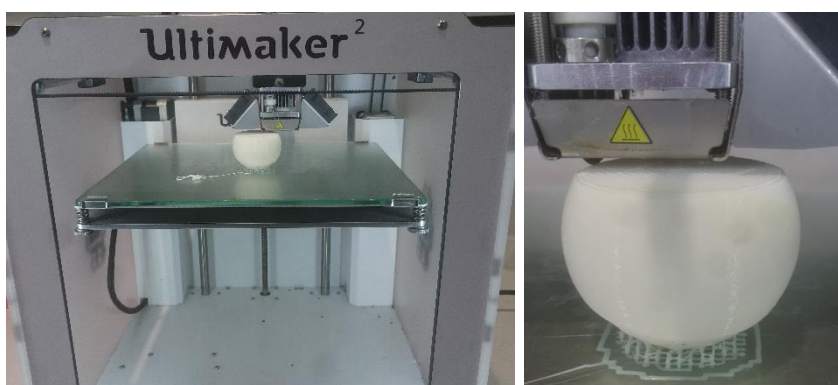


Figura A3. 13 Proceso de impresión en 3D.

Transcurrido un tiempo de impresión total de 5h 35min y utilizando 3,74 metros de hilo obtenemos si siguiente resultado final en la Figura A3.14.



Figura A3. 14 Prótesis de cadera en impresión 3D.

Relación de documentos

(_) Memoria	58	páginas
(X) Anexos	23	páginas

La Almunia, a 28 de junio de 2016

Firmado: Juan José Martínez Zapata