

2. Recopilación de resultados experimentales

Para una correcta validación de los desarrollos que se realicen en el proyecto es importante la comparación de los mismos con resultados obtenidos experimentalmente. Por ello se ha realizado una recopilación de dichos resultados obtenidos por la empresa *TEAMS*, así como para tener en cuenta en los desarrollos los materiales, las geometrías y los apilados empleados en la práctica.

2.1. Resultados ILTS de flexión en 4 puntos

Para los rigidizadores con perfil en L se ha conseguido recopilar un total de 142 ensayos válidos, entendiendo por válido que se ha podido llegar al final del ensayo sin ningún defecto ni anomalía en la probeta ni en el propio ensayo.

Estos ensayos han utilizado tres tipos diferentes de materiales que se pasan a describir a continuación. Además los ensayos se realizan en tres distintos acondicionamientos: seco con condiciones AR/RT (As Received/Room Temperature), húmedo a 70°C y húmedo a 90°C.

- **IMA/M21E (194 g/m²)**, el cual se encuentra descrito en la normativa AIMS05-27-002. Este material consiste en fibra de carbono unidireccional preimpregnada y curada a 180°C para aplicaciones aeroespaciales.

De dicha normativa se pueden extraer las siguientes propiedades de interés para el material:

	AR/RT		HW/70°C		HW/90°C	
	X	X_{min}	X	X_{min}	X	X_{min}
E_{11} (Gpa)	182	167	182	167	182	167
E_{22} (Gpa)	9	8,6	7,7	7,3	7,2	6,8
ν_{12}	-	-	-	-	-	-
S_{11} (Mpa)	2980	2770	2820	2610	2820	2610
S_{22} (Mpa)	50	45	33	30	28	25
$E_{11,c}$ (Gpa)	150	140	150	140	150	140
$E_{22,c}$ (Gpa)	9,7	9,4	8,4	8,1	7,9	7,6
$S_{11,c}$ (Mpa)	1400	1270	1210	1100	1130	1020
$S_{22,c}$ (Mpa)	270	260	180	170	150	140
G_{12} (Gpa)	5,4	5	4	3,6	3,1	2,7
S_{12} (Mpa)	103	100	80	77	-	-
G_{13} (Gpa)	-	-	-	-	-	-
S_{13} (Mpa)	88	83	66	64	58	56

Tabla 1: Propiedades del material IMA/M21E (194 g/m²)

Para los cálculos realizados en este proyecto se supone, por la ausencia de datos, que el módulo a cizalladura G_{13} toma el mismo valor que G_{12} , así como que el módulo de Poisson ν_{12} toma un valor de 0,35 en todos los casos.

- **8552S/AGP280/C (280g/m²)**, el cual se encuentra descrito en la normativa AIMS05-01-004. Este material consiste en un tejido de fibra de carbono preimpregnada y curada a 180°C para aplicaciones aeroespaciales.

De dicha normativa se pueden extraer las siguientes propiedades de interés para el material:

	AR/RT		HW/70°C		HW/90°C	
	X	X_{min}	X	X_{min}	X	X_{min}
E_{11} (Gpa)	65	60	65	60	65	60
E_{22} (Gpa)	65	60	65	60	65	60
ν_{12}	-	-	-	-	-	-
S_{11} (Mpa)	700	650	700	650	700	650
S_{22} (Mpa)	700	650	700	650	700	650
$E_{11,c}$ (Gpa)	57	52	57	52	57	52
$E_{22,c}$ (Gpa)	57	52	57	52	57	52
$S_{11,c}$ (Mpa)	860	800	700	625	600	575
$S_{22,c}$ (Mpa)	860	800	700	625	600	575
G_{12} (Gpa)	4,4	4,3	3,8	3,5	3,2	2,8
S_{12} (Mpa)	100	90	88	80	70	65
G_{13} (Gpa)	-	-	-	-	-	-
S_{13} (Mpa)	70	60	51	45	45	40

Tabla 2: Propiedades del material 8552S/AGP280/C (280g/m2)

- **M21/AS4C (370 g/m2)**, el cual se encuentra descrito en la normativa AIMS05-27-004. Este material consiste en un tejido de fibra de carbono preimpregnada y curada a 180°C para aplicaciones aeroespaciales.

De dicha normativa se pueden extraer las siguientes propiedades de interés para el material:

	AR/RT		HW/70°C		HW/90°C	
	X	X_{min}	X	X_{min}	X	X_{min}
E_{11} (Gpa)	66	59	66	59	66	59
E_{22} (Gpa)	66	59	66	59	66	59
ν_{12}	-	-	-	-	-	-
S_{11} (Mpa)	700	650	720	670	750	700
S_{22} (Mpa)	700	630	750	680	780	700
$E_{11,c}$ (Gpa)	58	51	58	51	58	51
$E_{22,c}$ (Gpa)	58	51	58	51	58	51
$S_{11,c}$ (Mpa)	600	540	500	450	450	400
$S_{22,c}$ (Mpa)	580	530	450	400	430	390
G_{12} (Gpa)	4,8	3,3	3,5	2,3	3,5	2,3
S_{12} (Mpa)	85	78	65	58	65	58
G_{13} (Gpa)	-	-	-	-	-	-
S_{13} (Mpa)	55	49	40	35	40	35

Tabla 3: Propiedades del material M21/AS4C (370 g/m2)

Por otro lado los apilados utilizados en los ensayos se pueden encontrar en la siguiente tabla, identificando los mismos con letras que se pueden encontrar en la parte superior de la tabla:

2. Recopilación de resultados experimentales

(A)	(B)	(C)	(D)	(E)	(F)	(G)	(H)	(I)	(J)	(K)	(L)	(M)	(N)
45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45
90	-45	-45	-45	0	0	0	0	45	0	0	0	-45	90
-45	0	0	0	45	45	45	45	0	45	45	45	0	-45
0	-45	45	0	45	45	45	45	45	45	45	45	0	0
45	45	90	-45	0	45	45	45	45	45	45	45	0	45
90	90	-45	45	45	45	45	0		45	45	45	-45	90
-45	45	0	90		45	45	45		0	0	0	45	-45
0	-45	-45	45		0	0	45		45	45	45	90	0
0	-45	45	-45		45	45	45			45	45	90	45
-45	45		45			45	0			45	45	45	90
90	90		-45			0	45			45	0	-45	-45
45	45		90			45	45			45	45	45	0
0	-45		45			45	45			0	45	-45	0
-45	0		-45			45	0			45	0	90	-45
90	-45		-45			45	45				45	45	90
45	45		45			45	45				45	-45	45
			90			45	0				45	45	0
			-45			0	45				0	-45	-45
			45			45	45				45	45	90
			-45				45				45	-45	45
			45				0				45	45	0
			90				45				45	-45	-45
			45				45				0	45	90
			-45				45				45	-45	45
			0				0					-45	
			0				45					45	
			-45				45					-45	
			45				45					45	
							0					-45	
							45					45	
												-45	
												45	
												90	
												90	
												45	
												-45	
												0	
												0	
												0	
												-45	
												45	

Tabla 4: Apilados de los ensayos ILTS

Cabe destacar que en algunos de los tipos de apilados no se observan láminas a 90° ni a -45° , lo que se debe a que estos apilados son usados en los materiales 8552S/AGP280/C (280g/m²) y M21/AS4C (370 g/m²), los cuales son tejidos.

En la siguiente tabla se puede encontrar la lista de series de probetas ensayadas con los materiales y apilados usados en cada tipo:

Serie	Apilado	Material	Acond.
4PT1	(A)	IMA/M21E (194 g/m ²)	AR/RT
4PT2	(B)	IMA/M21E (194 g/m ²)	AR/RT
4PT3	(B)	IMA/M21E (194 g/m ²)	HW/70°
4PT4	(B)	IMA/M21E (194 g/m ²)	HW/90°
4PT5	(B)	IMA/M21E (194 g/m ²)	AR/RT
4PT6	(C)	IMA/M21E (194 g/m ²)	AR/RT
4PT7	(D)	IMA/M21E (194 g/m ²)	AR/RT
4PT8	(N)	IMA/M21E (194 g/m ²)	AR/RT
4PT9	(M)	IMA/M21E (194 g/m ²)	AR/RT
4PT10	(E)	8552S/AGP280/C (280g/m ²)	AR/RT
4PT11	(F)	8552S/AGP280/C (280g/m ²)	AR/RT
4PT12	(F)	8552S/AGP280/C (280g/m ²)	HW/70°
4PT13	(F)	8552S/AGP280/C (280g/m ²)	HW/90°
4PT14	(G)	8552S/AGP280/C (280g/m ²)	AR/RT
4PT15	(H)	8552S/AGP280/C (280g/m ²)	AR/RT
4PT16	(I)	M21/AS4C (370 g/m ²)	AR/RT
4PT17	(J)	M21/AS4C (370 g/m ²)	AR/RT
4PT18	(J)	M21/AS4C (370 g/m ²)	HW/70°
4PT19	(J)	M21/AS4C (370 g/m ²)	HW/90°
4PT20	(K)	M21/AS4C (370 g/m ²)	AR/RT
4PT21	(L)	M21/AS4C (370 g/m ²)	AR/RT

Tabla 5: Apilado, material y acondicionamiento de cada serie de probetas ILTS

Una vez caracterizados los materiales y los apilados se puede pasar a caracterizar la geometría de las probetas. Los principales parámetros que describen la geometría de la probeta se pueden encontrar descritos en la siguiente imagen ^{III}:

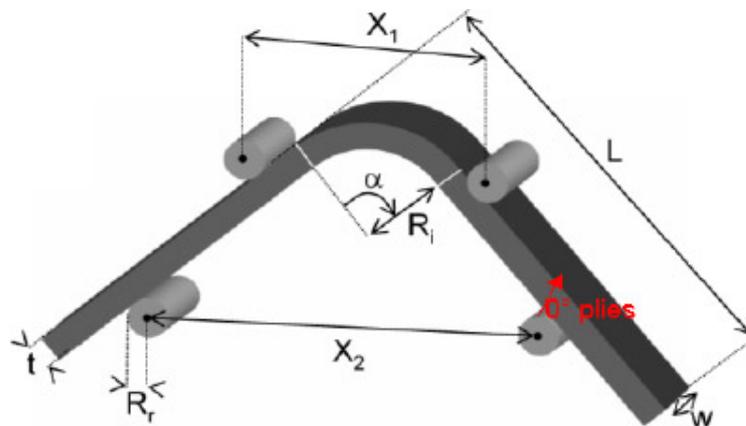


Figura 4: Geometría de las probetas para ensayos ILTS.

^{III}Imagen extraída de la documentación de TEAMS

Es importante notar que las láminas a 0° van en la dirección longitudinal de la barra de la cual se extraen las probetas, es decir, paralelas a los ejes de los rodillos mostrados en la figura. La geometría de la probeta vendrá determinada en primer lugar por el ancho W de la misma, por el espesor t , así como por el radio interno r_i y el ángulo α de la zona curva. Además, a partir de estos parámetros, se puede obtener también el radio externo, al que se le denominará r_o y que se puede calcular como $r_o = r_i + t$. Por otro lado también se define la longitud L , que no será de importancia en los cálculos al incluir zona no sometida a carga.

Probeta	t (mm)	R_i (mm)	R_0 (mm)	L (mm)	W (mm)	α ($^\circ$)
4PT1	2,94	5,06	8	70	25	90
4PT2	2,94	5,06	8	70	25	90
4PT3	2,94	5,06	8	70	25	90
4PT4	2,94	5,06	8	70	25	90
4PT5	2,94	5,06	8	70	50	90
4PT6	1,66	3,34	5	70	25	90
4PT7	5,15	6,85	12	70	40	90
4PT8	8,83	11,17	20	70	40	90
4PT9	8,83	11,17	20	70	40	90
4PT10	1,68	3,32	5	70	25	90
4PT11	2,52	5,48	8	70	25	90
4PT12	2,52	5,48	8	70	25	90
4PT13	2,52	5,48	8	70	25	90
4PT14	5,32	6,68	12	70	40	90
4PT15	8,40	11,6	24	70	40	90
4PT16	1,82	3,19	5	70	25	90
4PT17	2,90	5,1	8	70	25	90
4PT18	2,90	5,1	8	70	25	90
4PT19	2,90	5,1	8	70	25	90
4PT20	5,08	6,92	12	70	40	90
4PT21	8,71	11,29	24	70	40	90

Tabla 6: Geometría cada serie de probetas ILTS

Por otro lado, la geometría del útil de ensayo vendrá descrita por la distancia entre los rodillos superiores X_1 , la distancia entre los rodillos inferiores X_2 así como por el radio de los rodillos R_r . Estos datos se pueden encontrar expuestos en la siguiente tabla para cada serie de probetas.

Probeta	X_1 (mm)	X_2 (mm)	R_r (mm)
4PT1	26	40	7,5
4PT2	26	40	7,5
4PT3	26	40	7,5
4PT4	26	40	7,5
4PT5	26	40	7,5
4PT6	20	35	5
4PT7	30	47	7,5
4PT8	43	69	7,5
4PT9	43	69	7,5
4PT10	20	35	5
4PT11	26	40	7,5
4PT12	26	40	7,5
4PT13	26	40	7,5
4PT14	30	47	7,5
4PT15	43	69	7,5
4PT16	20	35	5
4PT17	26	40	7,5
4PT18	26	40	7,5
4PT19	26	40	7,5
4PT20	30	47	7,5
4PT21	43	69	7,5

Tabla 7: Geometría del útil de ensayo cada serie de probetas ILTS

Dentro de cada serie cada probeta individual tiene sus propias medidas que difieren levemente de las que nominalmente deberían tener. Por ello a cada probeta se le realizan las siguientes mediciones: una para el ángulo α , seis para el espesor t en distintos puntos de la probeta (se puede calcular por lo tanto un espesor medio) y tres para el ancho W en distintos puntos de la probeta (se puede calcular por lo tanto un ancho medio). A partir del espesor medio de la probeta t se puede obtener entonces un espesor medio de las láminas que lo constituyen, t_l , simplemente dividiendo entre el número de láminas N_l . De esta forma, para cada probeta en particular se tienen los valores expuestos en la siguiente tabla, donde se ha incluido también las cargas de rotura que se obtuvieron en la realización del ensayo para cada una de dichas probetas:

Probeta	Rotura (N)	t_l (mm)	t (mm)	W (mm)	α (°)
4PT-1.1	975,73	0,19	3,04	24,72	88,50
4PT-1.2	934,79	0,18927083	3,03	24,81	88,40
4PT-1.3	1322,15	0,1890625	3,03	24,85	88,40
4PT-1.4	1120,38	0,1878125	3,01	24,84	88,60
4PT-1.5	935,57	0,18583333	2,97	24,75	88,60
4PT-1.6	945,57	0,18458333	2,95	24,83	88,30
4PT-1.7	905,73	0,18958333	3,03	24,78	88,50
4PT-2.1	827,28	0,1846875	2,96	24,90	88,60
4PT-2.2	1173,86	0,1853125	2,97	24,89	88,60
4PT-2.3	965,29	0,18479167	2,96	24,81	88,80
4PT-2.4	1116,09	0,18208333	2,91	24,87	88,90
4PT-2.5	1019,26	0,185	2,96	24,82	88,70
4PT-2.6	1060,23	0,18677083	2,99	24,77	88,80
4PT-2.7	1022,68	0,18322917	2,93	24,91	88,60

2. Recopilación de resultados experimentales

Probeta	Rotura (N)	t_l (mm)	t (mm)	W (mm)	α (°)
4PT-3.1	774,93	0,1803125	2,89	24,92	89,00
4PT-3.2	717,66	0,18140625	2,90	24,93	89,00
4PT-3.3	707,34	0,18734375	3,00	24,94	89,10
4PT-3.4	735,41	0,18515625	2,96	24,97	88,80
4PT-3.5	656,05	0,1846875	2,96	24,96	88,80
4PT-3.6	684,6	0,18546875	2,97	24,98	89,00
4PT-4.1	640	0,186875	2,99	24,97	89,60
4PT-4.2	539	0,18734375	3,00	24,94	89,60
4PT-4.3	549	0,18703125	2,99	24,95	89,30
4PT-4.4	525	0,18609375	2,98	24,92	89,30
4PT-4.5	546	0,18609375	2,98	24,80	89,30
4PT-4.6	627	0,18609375	2,98	24,95	89,00
4PT-4.7	494	0,1815625	2,91	24,54	89,10
4PT-5.1	2377,77	0,1859375	2,98	49,87	88,40
4PT-5.2	2390,79	0,1871875	3,00	49,86	88,40
4PT-5.3	2388,31	0,18489583	2,96	49,69	88,60
4PT-5.4	2126,91	0,18802083	3,01	49,89	88,20
4PT-5.5	2266,83	0,1890625	3,03	49,87	88,40
4PT-5.6	2458,95	0,18416667	2,95	49,70	88,40
4PT-5.7	2502,06	0,185	2,96	49,92	88,30
4PT-6.1	358,65	0,18611111	1,68	24,84	88,80
4PT-6.2	446,1	0,18462963	1,66	24,77	88,70
4PT-6.3	418,72	0,18555556	1,67	24,77	88,60
4PT-6.4	382,77	0,18518519	1,67	24,83	88,50
4PT-6.5	406,61	0,18648148	1,68	24,83	88,30
4PT-6.6	391,98	0,18333333	1,65	24,73	88,50
4PT-6.7	446,41	0,18574074	1,67	24,70	88,60
4PT-7.1	2594	0,17934524	5,02	39,93	88,80
4PT-7.2	2701	0,17916667	5,02	39,88	88,70
4PT-7.3	2833	0,18113095	5,07	39,93	89,00
4PT-7.4	2627	0,18369048	5,14	39,97	88,80
4PT-7.6	2727	0,18297619	5,12	39,95	88,60
4PT-7.7	2908	0,17785714	4,98	39,94	88,50
4PT-8.1	9937,36	0,36486111	8,76	39,98	89,20
4PT-8.2	8526,44	0,36645833	8,80	39,98	88,50
4PT-8.3	8481,93	0,365	8,76	39,99	88,30
4PT-8.4	8527,6	0,36395833	8,74	39,96	89,60
4PT-8.5	8219,77	0,36263889	8,70	39,95	89,40
4PT-8.6	7317,7	0,36486111	8,76	39,98	89,20
4PT-8.7	9690,09	0,36486111	8,76	39,98	89,20
4PT-9.1	6050,88	0,18111111	8,69	39,91	89,20
4PT-9.2	6662,64	0,18079861	8,68	39,88	89,10
4PT-9.3	6396,26	0,17965278	8,62	39,92	88,50
4PT-9.4	6012,87	0,1790625	8,60	39,86	88,50
4PT-9.5	6138,07	0,18034722	8,66	39,90	88,50
4PT-9.6	6324,38	0,18038194	8,66	39,89	88,60
4PT-9.7	6618,17	0,17947917	8,62	39,76	88,80

2. Recopilación de resultados experimentales

Probeta	Rotura (N)	t_l (mm)	t (mm)	W (mm)	α (°)
4PT-10.1	409,25	0,28083333	1,69	24,94	87,90
4PT-10.2	657,16	0,2875	1,73	24,95	88,00
4PT-10.3	524,21	0,2825	1,70	24,89	87,80
4PT-10.4	783,47	0,29138889	1,75	24,95	88,10
4PT-10.5	868,14	0,28861111	1,73	24,86	88,20
4PT-10.6	608	0,2825	1,70	24,96	87,90
4PT-10.7	454,5	0,27888889	1,67	24,92	88,10
4PT-11.1	973,2	0,28777778	2,59	24,76	88,80
4PT-11.2	1250,55	0,28777778	2,59	24,76	88,80
4PT-11.3	885,38	0,28740741	2,59	24,78	88,30
4PT-11.4	1145,3	0,28481481	2,56	24,65	88,50
4PT-11.5	797,43	0,28407407	2,56	24,75	88,80
4PT-11.6	696,12	0,28314815	2,55	24,72	88,80
4PT-11.7	945,86	0,27796296	2,50	24,73	88,80
4PT-12.1	553,78	0,30292593	2,73	24,69	89,40
4PT-12.2	491,76	0,30342593	2,73	24,70	89,50
4PT-12.3	483,2	0,28888889	2,60	24,68	89,50
4PT-12.4	558,15	0,287	2,58	24,68	89,60
4PT-12.5	493,48	0,28840741	2,60	24,71	89,40
4PT-12.6	443,1	0,29477778	2,65	24,71	89,60
4PT-13.1	449,09	0,29	2,63	24,70	89,40
4PT-13.2	469,86	0,2922963	2,63	24,75	89,30
4PT-13.3	505,37	0,28901852	2,60	24,82	89,60
4PT-13.4	484,04	0,28764815	2,59	24,80	89,70
4PT-13.5	520,59	0,29227778	2,63	24,77	89,60
4PT-13.7	483,53	0,28244444	2,54	24,74	89,50
4PT-14.1	2927,59	0,27298246	5,19	40,08	88,40
4PT-14.2	2612,49	0,28131579	5,35	39,75	88,60
4PT-14.3	2550,62	0,27657895	5,26	40,04	88,40
4PT-14.4	2739,44	0,27192982	5,17	40,10	88,50
4PT-14.5	2550,81	0,27491228	5,22	40,08	88,60
4PT-14.6	2674,93	0,2672807	5,08	40,08	88,20
4PT-14.7	3499,82	0,26912281	5,11	40,06	88,50
4PT-15.1	5989,59	0,27055556	8,12	39,84	89,00
4PT-15.2	5069,56	0,26855556	8,06	39,85	88,70
4PT-15.3	5278,44	0,26933333	8,08	39,85	88,50
4PT-15.4	5305,97	0,27283333	8,19	39,81	88,50
4PT-15.5	6188,37	0,26961111	8,09	39,85	88,60
4PT-15.6	5377,92	0,27122222	8,14	39,81	88,60
4PT-15.7	5666,83	0,26933333	8,08	39,86	88,60
4PT-16.1	443,12	0,375	1,88	24,69	89,00
4PT-16.2	474,44	0,38	1,90	24,76	89,00
4PT-16.3	492,18	0,37833333	1,89	24,71	88,90
4PT-16.4	491,71	0,3767	1,88	24,73	88,80
4PT-16.5	463,3	0,38	1,90	24,74	88,60
4PT-16.6	491,73	0,37833333	1,89	24,69	88,60
4PT-16.7	487,03	0,37933333	1,90	24,70	88,70

2. Recopilación de resultados experimentales

Probeta	Rotura (N)	t_l (mm)	t (mm)	W (mm)	α (°)
4PT-17.1	1090,27	0,368125	2,95	24,95	88,50
4PT-17.2	1037,7	0,369375	2,96	24,92	88,30
4PT-17.3	1234,57	0,3675	2,94	24,92	88,40
4PT-17.4	1061,95	0,37083333	2,97	24,93	88,30
4PT-17.5	1111,77	0,37229167	2,98	24,95	88,40
4PT-17.6	1090,1	0,36625	2,93	24,67	88,70
4PT-17.7	1000,74	0,37229167	2,98	24,92	88,30
4PT-18.1	611,74	0,3621875	2,90	24,91	88,50
4PT-18.2	621,56	0,3690625	2,95	24,93	88,40
4PT-18.3	611,52	0,36375	2,91	25,00	88,60
4PT-18.4	496,9	0,3709375	2,97	24,98	88,60
4PT-18.5	675,97	0,3621875	2,90	24,92	88,40
4PT-18.6	614,47	0,3678125	2,94	24,97	88,50
4PT-19.1	579,07	0,3703125	2,96	24,98	88,60
4PT-19.2	619,58	0,369375	2,96	25,00	88,80
4PT-19.3	482,78	0,365	2,92	24,98	88,40
4PT-19.4	532,47	0,37375	2,99	24,97	88,60
4PT-19.5	591,41	0,3684375	2,95	24,95	88,70
4PT-19.6	426,09	0,3690625	2,95	24,97	88,40
4PT-19.7	752,38	0,36625	2,93	24,99	88,40
4PT-20.1	3349,11	0,36464286	5,11	39,83	88,40
4PT-20.2	3366,07	0,37035714	5,19	39,90	88,30
4PT-20.3	3459,01	0,36904762	5,17	39,86	88,30
4PT-20.4	3624,06	0,3652381	5,11	39,81	88,40
4PT-20.5	3577,16	0,36404762	5,10	39,86	88,40
4PT-20.6	2914,26	0,36690476	5,14	39,82	88,40
4PT-20.7	3620,93	0,36952381	5,17	39,91	88,30
4PT-21.1	6458,69	0,36375	8,73	39,92	88,40
4PT-21.2	7029,62	0,36	8,64	39,90	88,80
4PT-21.3	6817,39	0,36111111	8,67	39,88	88,70
4PT-21.4	6308,83	0,36034722	8,65	39,98	88,70
4PT-21.5	6796,69	0,36222222	8,69	39,89	88,50
4PT-21.6	6448,41	0,36166667	8,68	39,92	88,50
4PT-21.7	6232,6	0,35965278	8,63	39,91	88,50

Tabla 8: Geometría y carga de rotura de cada probeta ILTS individual

Por otro lado las relaciones entre carga y desplazamiento que se tienen en la realización de los ensayos se encuentran representadas en las figuras 5 a la 25.

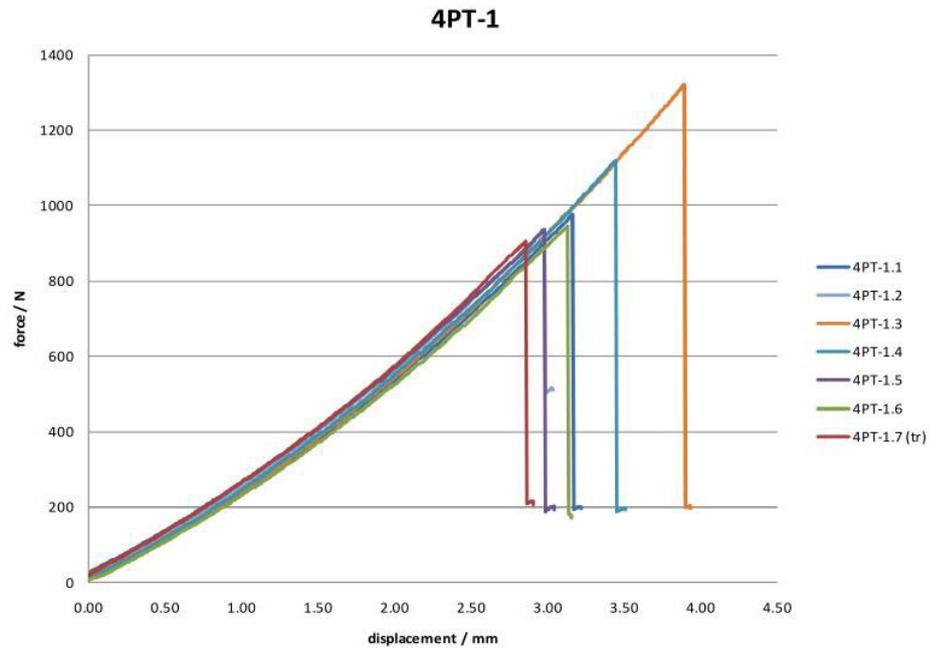


Figura 5: Relaciones $P - \delta$ experimentales de las probetas 4PT-1.

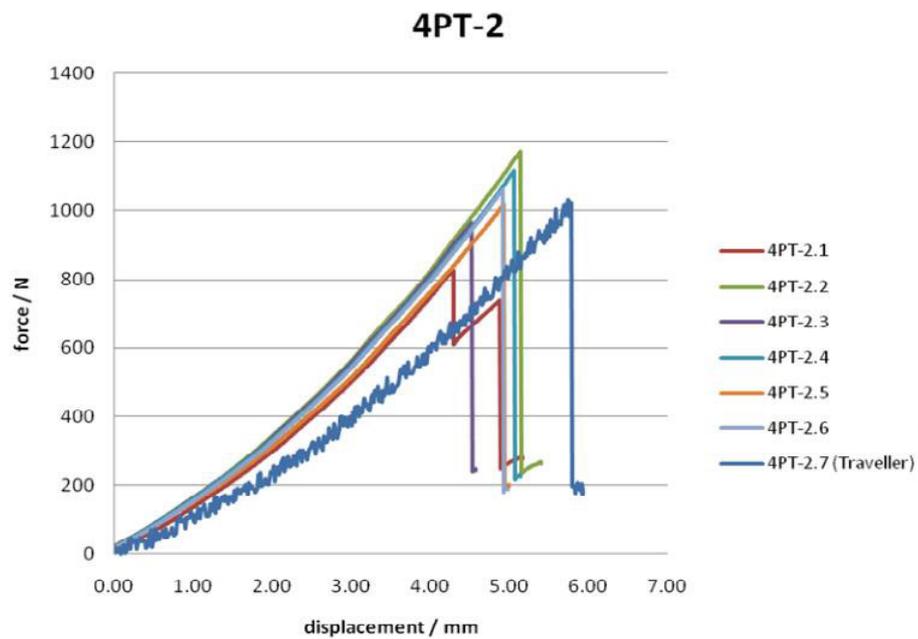


Figura 6: Relaciones $P - \delta$ experimentales de las probetas 4PT-2.

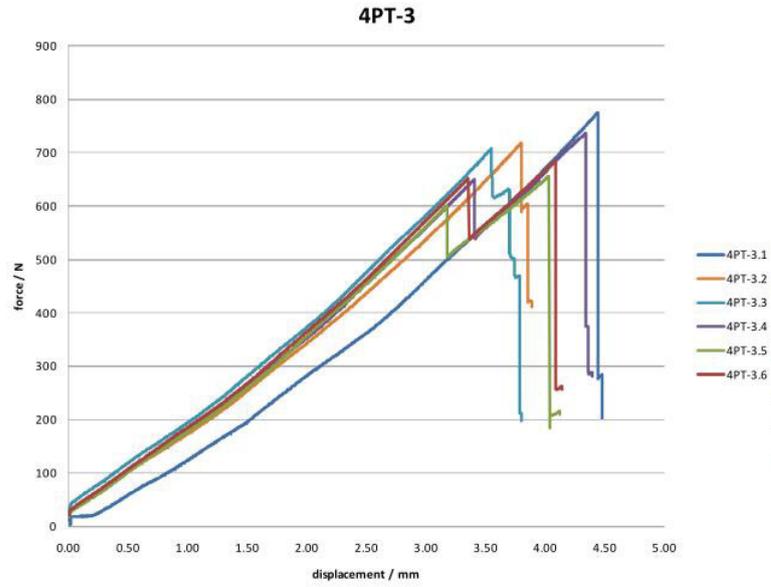


Figura 7: Relaciones $P - \delta$ experimentales de las probetas 4PT-3.

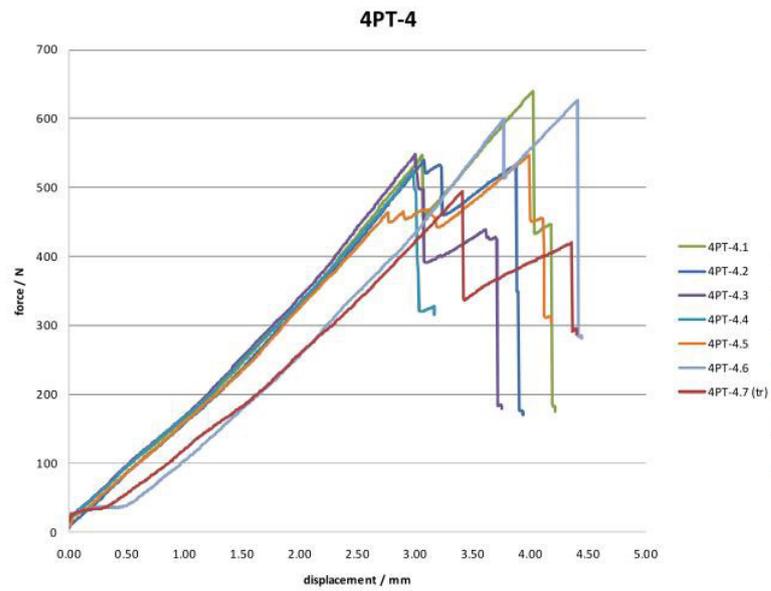


Figura 8: Relaciones $P - \delta$ experimentales de las probetas 4PT-4.

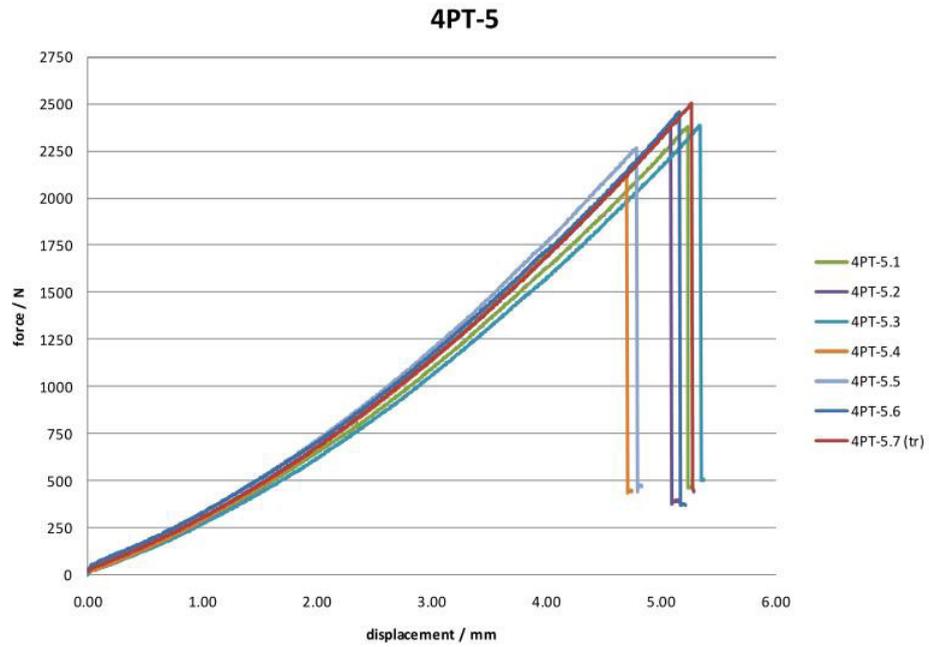


Figura 9: Relaciones $P - \delta$ experimentales de las probetas 4PT-5.

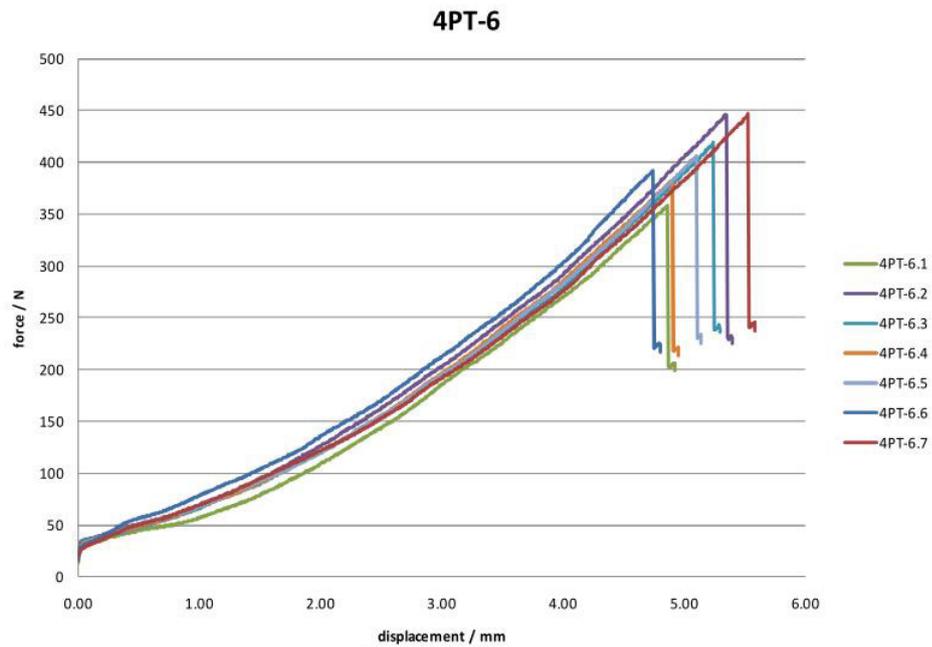


Figura 10: Relaciones $P - \delta$ experimentales de las probetas 4PT-6.

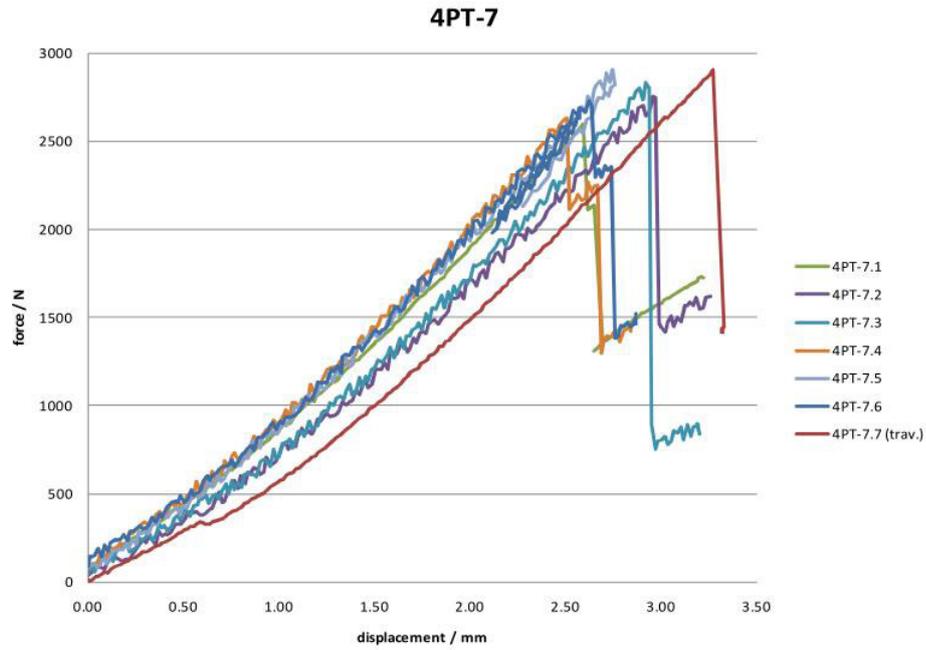


Figura 11: Relaciones $P - \delta$ experimentales de las probetas 4PT-7.

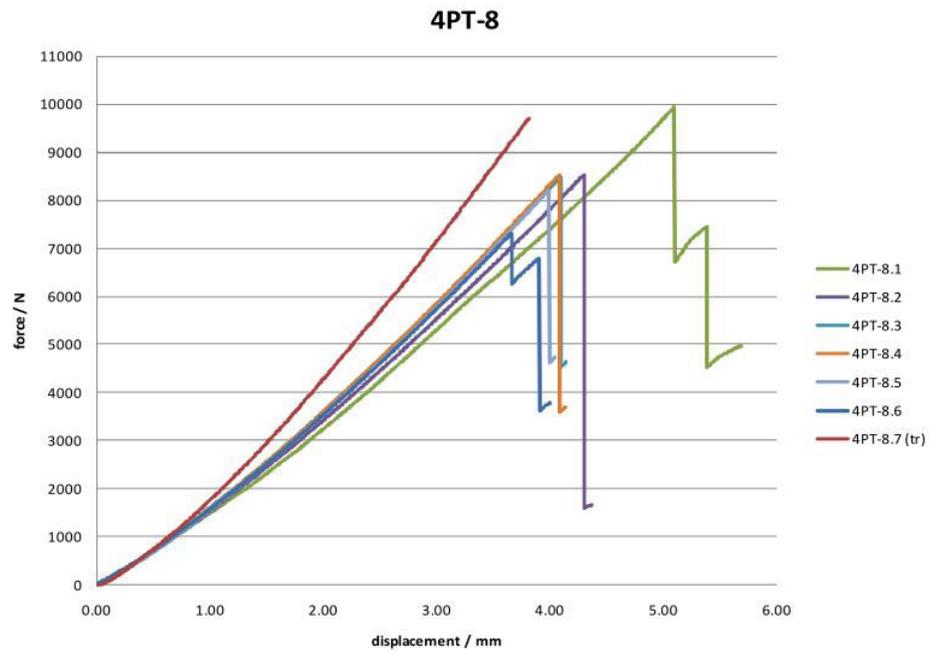


Figura 12: Relaciones $P - \delta$ experimentales de las probetas 4PT-8.

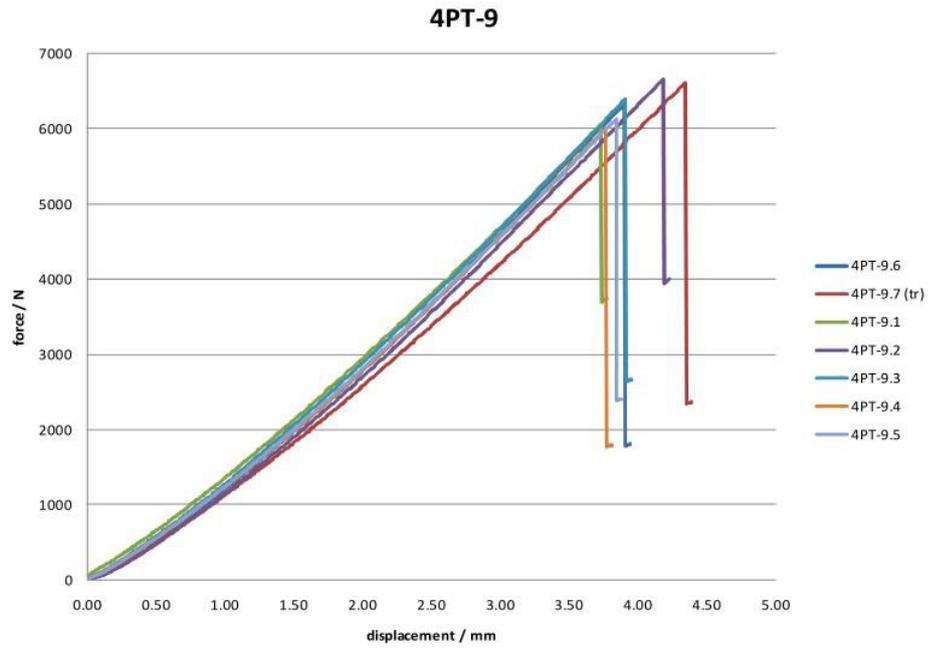


Figura 13: Relaciones $P - \delta$ experimentales de las probetas 4PT-9.

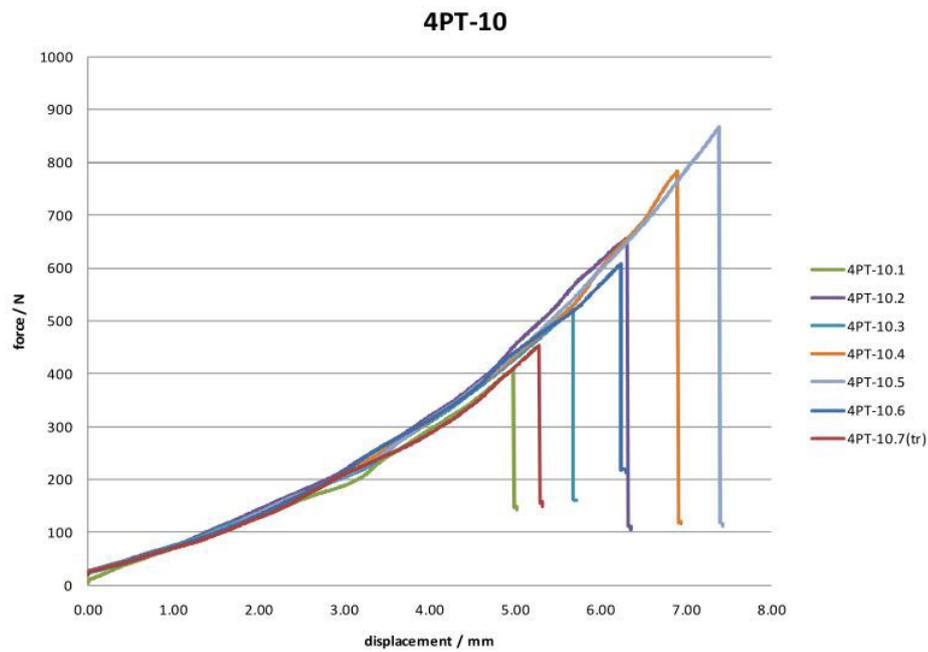


Figura 14: Relaciones $P - \delta$ experimentales de las probetas 4PT-10.

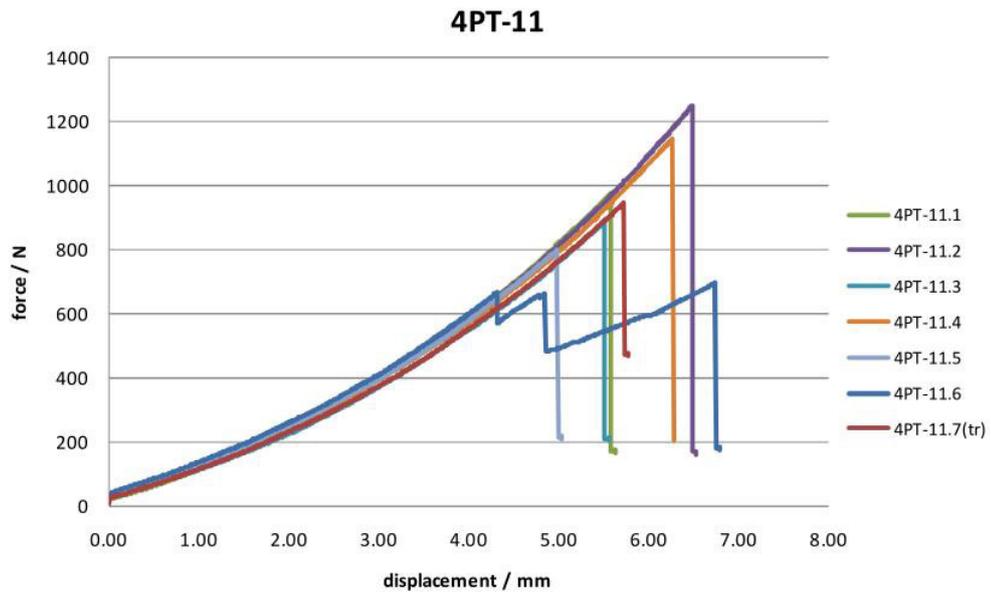


Figura 15: Relaciones $P - \delta$ experimentales de las probetas 4PT-11.

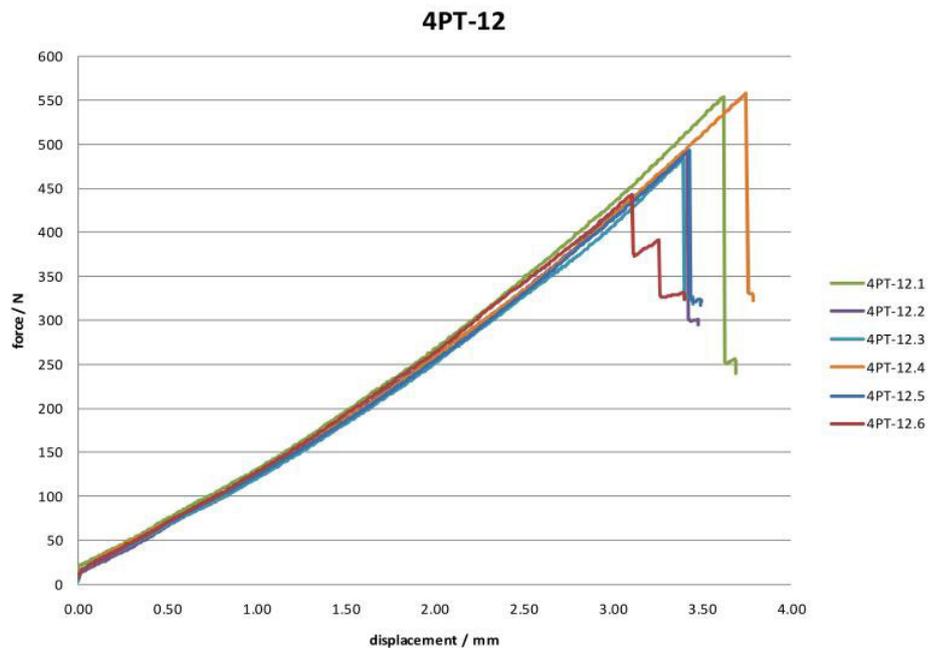


Figura 16: Relaciones $P - \delta$ experimentales de las probetas 4PT-12.

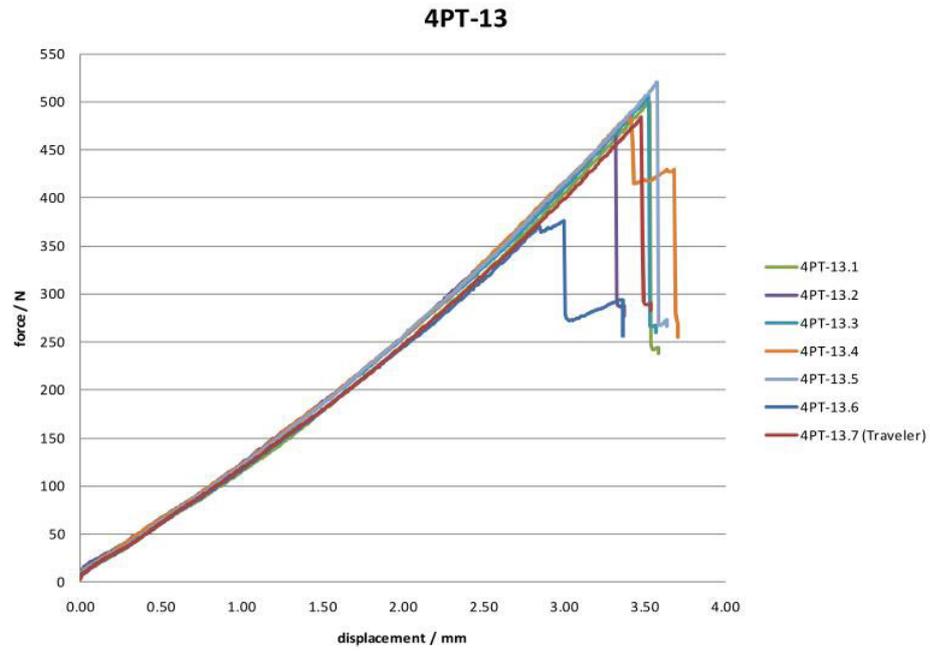


Figura 17: Relaciones $P - \delta$ experimentales de las probetas 4PT-13.

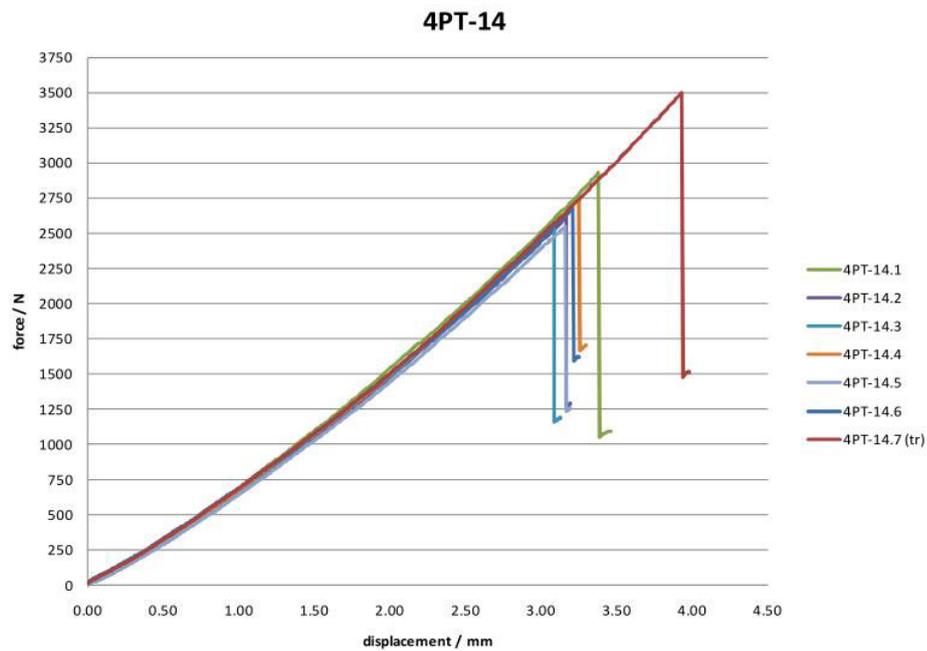


Figura 18: Relaciones $P - \delta$ experimentales de las probetas 4PT-14.

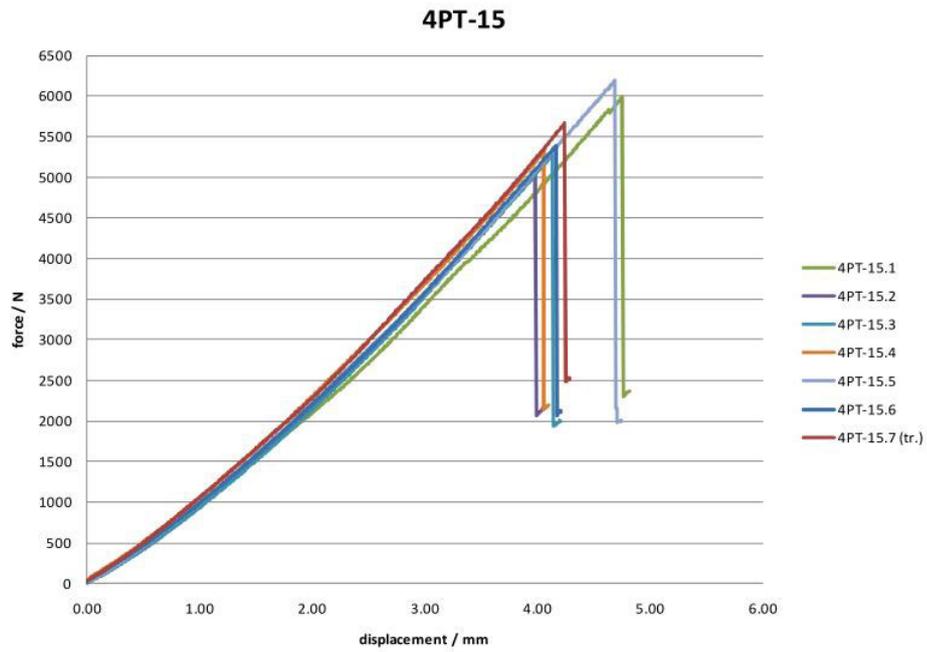


Figura 19: Relaciones $P - \delta$ experimentales de las probetas 4PT-15.

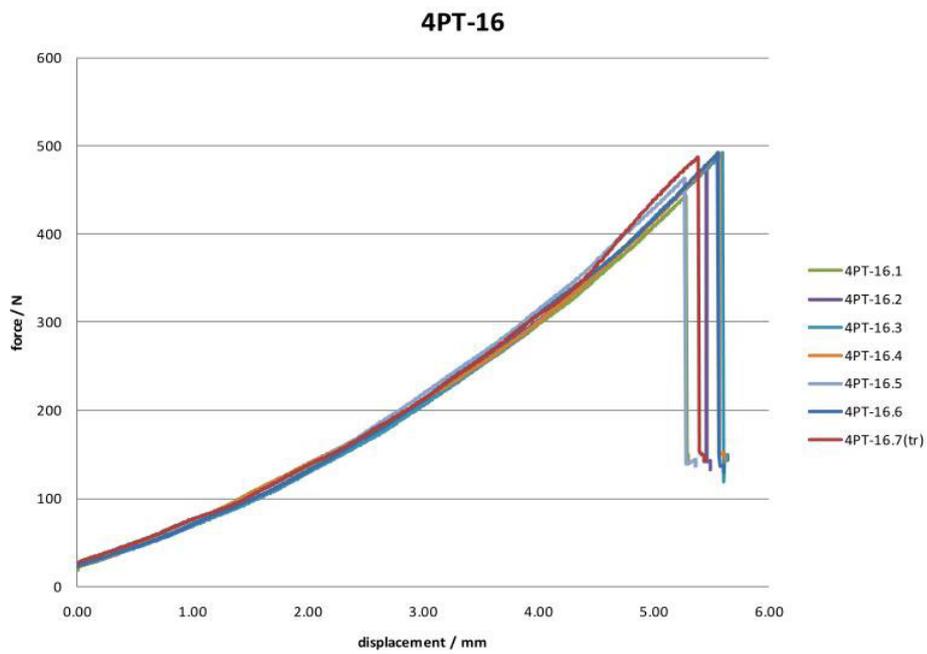


Figura 20: Relaciones $P - \delta$ experimentales de las probetas 4PT-16.

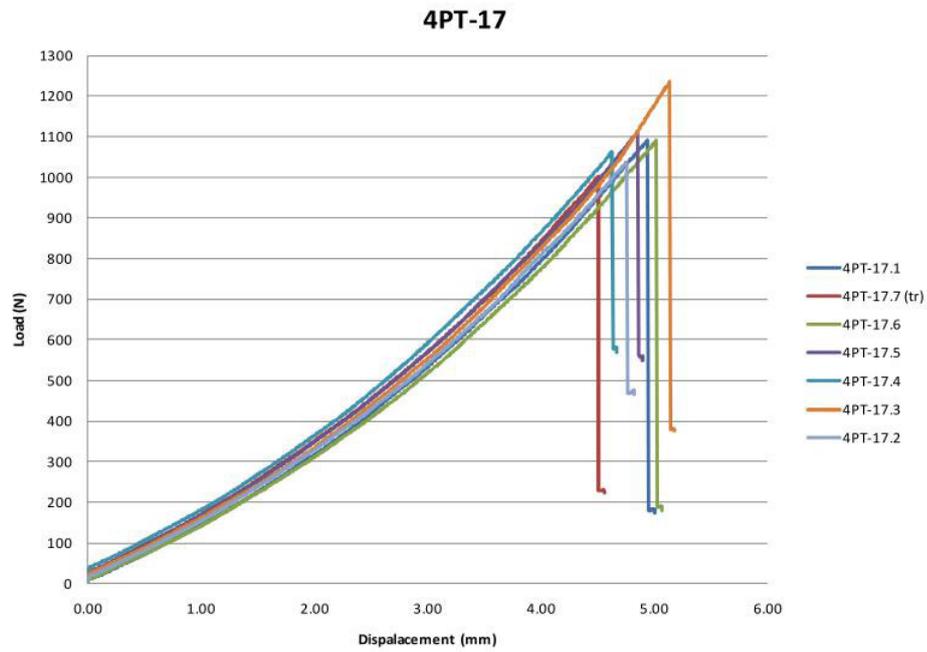


Figura 21: Relaciones $P - \delta$ experimentales de las probetas 4PT-17.

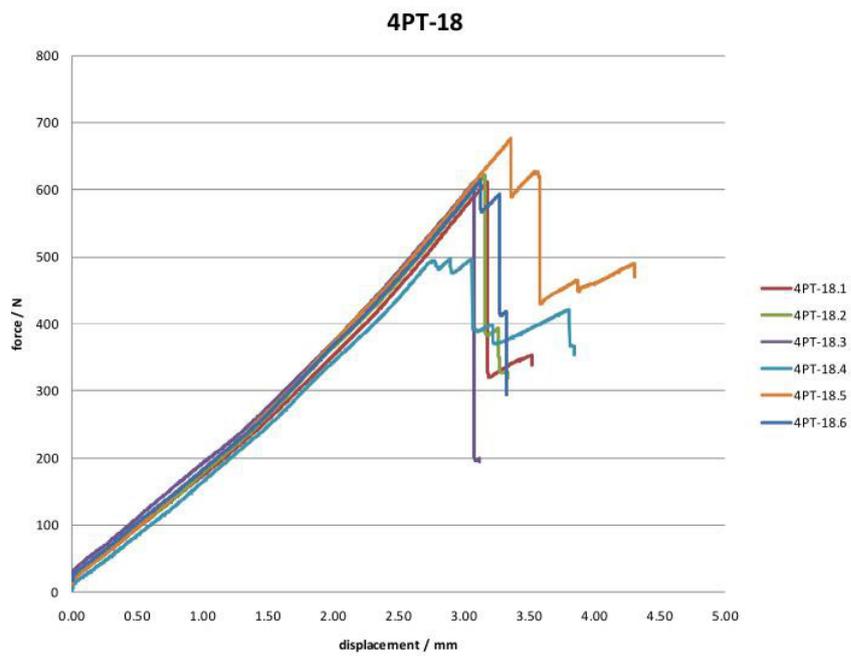


Figura 22: Relaciones $P - \delta$ experimentales de las probetas 4PT-18.

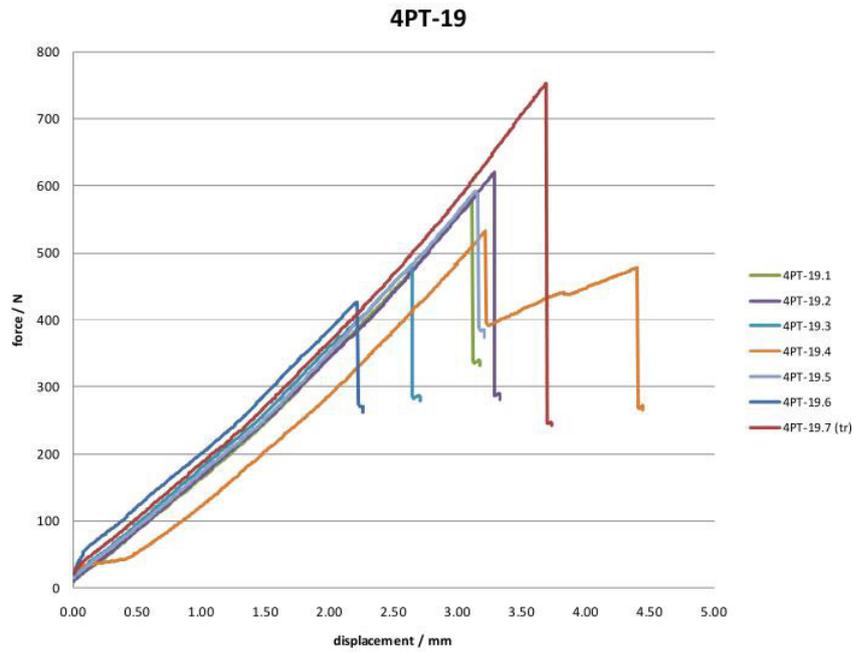


Figura 23: Relaciones $P - \delta$ experimentales de las probetas 4PT-19.

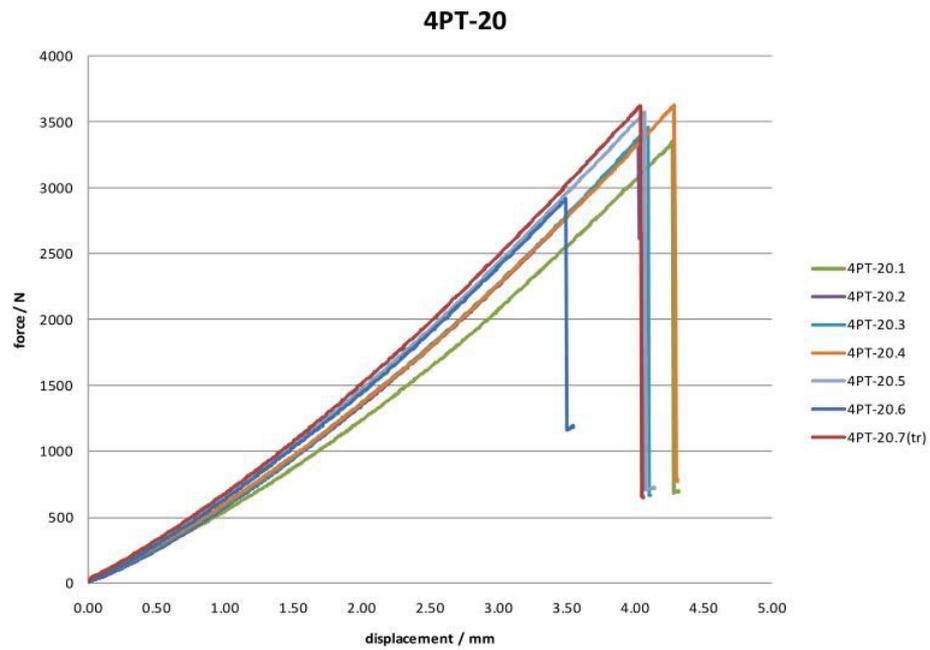


Figura 24: Relaciones $P - \delta$ experimentales de las probetas 4PT-20.

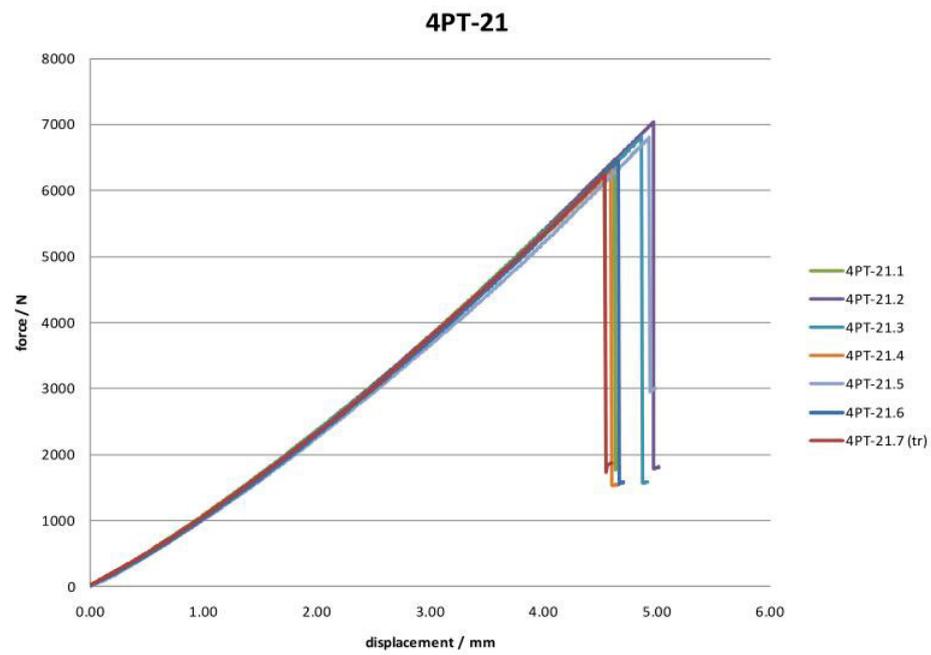


Figura 25: Relaciones $P - \delta$ experimentales de las probetas 4PT-21.

2.2. Resultados de rigidizadores en T

Para los rigidizadores con perfil en T se ha conseguido recopilar un total de 136 ensayos válidos, entendiendo por válido que se ha podido llegar al final del ensayo sin ningún defecto ni anomalía en la probeta ni en el propio ensayo.

Estos ensayos han utilizado dos tipos diferentes de materiales que se pasan a describir a continuación. A diferencia de los rigidizadores con perfil en L éstos sólo han sido ensayados en condiciones AR/RT (As Received/Room Temperature).

- **IMA/M21E (194 g/m²)**, el cual se encuentra descrito en la normativa AIMS05-27-002. Este material consiste en fibra de carbono unidireccional reforzada con resina epoxi curada a 180°C para aplicaciones aeroespaciales.

Este material es similar al usado en el apartado anterior, obteniendo sus propiedades de la tabla 2.1.

- **8552-AS4-0184**, el cual se encuentra descrito en la normativa AIMS05-01-007. Este material consiste en fibra de carbono de módulo estándar unidireccional preimpregnada y curada a 180°C para aplicaciones aeroespaciales.

De dicha normativa se pueden extraer las siguientes propiedades de interés para el material:

	AR/RT	
	X	X_{min}
E_{11} (Gpa)	135	120
E_{22} (Gpa)	10	8,3
ν_{12}	0,27	-
S_{11} (Mpa)	1800	1650
S_{22} (Mpa)	60	50
$E_{11,c}$ (Gpa)	125	110
$E_{22,c}$ (Gpa)	10	8,5
$S_{11,c}$ (Mpa)	1200	1135
$S_{22,c}$ (Mpa)	200	170
G_{12} (Gpa)	5	3,5
S_{12} (Mpa)	90	85
G_{13} (Gpa)	-	-
S_{13} (Mpa)	100	95

Tabla 9: Propiedades del material 8552-AS4-0184

Igualmente se supone para los cálculos por la ausencia de datos que el módulo a cizalladura G_{13} toma el mismo valor que G_{12} .

Con respecto a los apilados para este tipo de rigidizadores cabe distinguir distintas partes del perfil donde se tendrán distintos apilados ^{IV}:

- Alma (Web)
- Refuerzo del alma (Web Reinforcement)

^{IV}Imagen extraída de la documentación de *TEAMS*

- Refuerzo del pie (Foot Reinforcement)

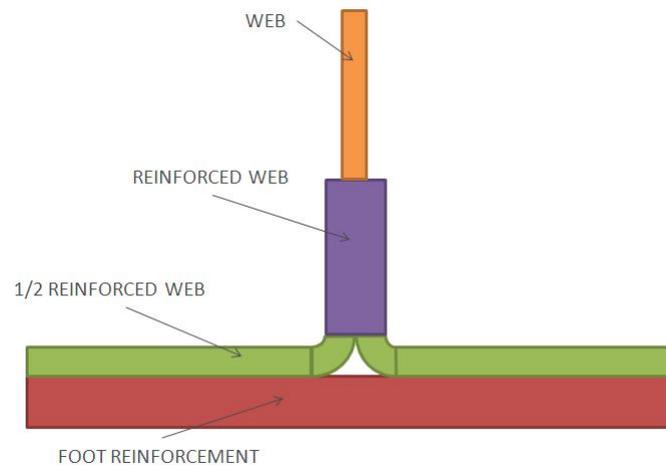


Figura 26: Geometría del pie de las probetas de los rigidizadores en T.

Por otro lado, aunque la geometría que se considerará para los cálculos será la de un perfil en T, los rigidizadores realmente son en I, separándolo desde el punto de vista de cálculo en dos perfiles en T: el pie y la cabeza. De esta forma en algunos ensayos se ensayará sólo el pie o bien sólo la cabeza del perfil. Al ensayar la cabeza las partes que la componen son las siguientes ^v:

- Alma (Web)
- Refuerzo de la cabeza (Head Reinforcement)

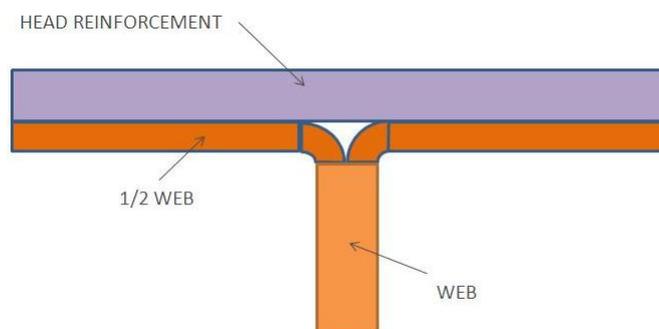


Figura 27: Geometría de la cabeza de las probetas de los rigidizadores en T.

Con respecto a los apilados, por un lado todas las probetas con el material IMA/M21E (194 g/m²) tienen el siguiente apilado, al cual llamaremos 169UNF:

Web Beam	[45, 90, -45, 90, 45, 0 ₃ , -45, 0 ₂ , -45, 0 ₄ , 45, 0 ₂ , 45, 0 ₃ , -45, 90, 45, 90, -45]
Foot	[45, 90, -45, 90, 45, 0 ₃ , -45, 0 ₂ , -45, 0 ₃ , 45, 90, -45, 90, 45]

Tabla 10: Apilados 169UNF

^vImagen extraída de la documentación de TEAMS

2. Recopilación de resultados experimentales

En estos apilados no existen refuerzos, por lo que el apilado queda definido por los dos anteriores.

Con respecto al resto de probetas, las que usan el material 8552-AS4-0184, usan los apilados que se muestran en las tablas de las siguientes páginas.

SP1.1				SP1.2			
Web	Head Reinf.	Web Reinf.	Foot Reinf.	Web	Head Reinf.	Web Reinf.	Foot Reinf.
45	45	45	90	45	90	45	90
-45	-45	-45	90	-45	90	-45	90
90	0	90	90	90	0	90	90
0	90	0	0	0	90	0	0
-45	-45	0	45	-45	90	0	45
45	45	0	-45	45	45	0	-45
45		90	-45	45	-45	90	90
-45		90	45	-45	90	90	90
0		0	0	0	90	0	0
90		0	90	90	0	0	45
-45		-45	90	-45	0	-45	-45
45		45	90	45	90	45	-45
		45	45		90	45	45
		-45	-45		-45	-45	0
		0	0		45	0	90
		0	0		90	0	90
		90	90		90	90	-45
		90	90		0	90	45
		0	0		90	0	0
		0	0		90	0	90
		0	0		45	0	90
		90	90		-45	90	90
		-45	-45		0	-45	45
		45	45		90	45	-45
					-45		0
					45		0
							90
							90
							0
							0
							0
							90
							-45
							45

Tabla 11: Apilados SP1.1 y SP1.2

2. Recopilación de resultados experimentales

SP2.1				SP2.2			
Web	Head Reinf.	Web Reinf.	Foot Reinf.	Web	Head Reinf.	Web Reinf.	Foot Reinf.
45	45	45	45	45	90	45	90
-45	-45	-45	-45	-45	90	-45	90
90	90	90	90	90	0	90	0
0	0	0	0	0	45	0	45
-45	-45	0	-45	-45	-45	0	-45
45	45	0	45	45	-45	0	90
90	90	90	90	90	45	90	90
-45	-45	90	-45	-45	0	90	0
45	45	0	45	45	90	0	0
45	45	0	45	45	90	0	90
-45	-45	-45	-45	-45	45	-45	90
90	90	45	90	90	-45	45	-45
45	45	90	45	45	90	90	45
-45	-45	-45	-45	-45	0	-45	0
0	0	45	0	0	-45	45	90
90	90	45	0	90	45	45	90
-45	-45	-45	90	-45	90	-45	45
45	45	90	90	45	-45	90	-45
45		45	0	45	45	45	90
-45		-45	0	-45	45	-45	0
90		0	0	90	-45	0	-45
0		90	90	0	90	90	45
-45		-45	-45	-45	45	-45	90
45		45	45	45	-45	45	-45
90		45		90	0	45	45
-45		-45		-45	90	-45	45
45		90		45	-45	90	-45
45		0		45	45	0	90
-45		-45		-45		-45	45
90		45		90		45	-45
45		90		45		90	0
-45		-45		-45		-45	0
0		45		0		45	90
90		45		90		45	90
-45		-45		-45		-45	0
45		90		45		90	0
		45				45	0
		-45				-45	90
		0				0	-45
		0				0	45
		90				90	
		90				90	
		0				0	
		0				0	
		0				0	
		90				90	
		-45				-45	
		45				45	

Tabla 12: Apilados SP2.1 y SP2.2

SP3.1				SP4.1			
Web	Head Reinf.	Web Reinf.	Foot Reinf.	Web	Head Reinf.	Web Reinf.	Foot Reinf.
45	0	45	0	45	45	45	45
-45	0	-45	0	-45	-45	-45	-45
90	90	90	45	90	0	90	90
0	0	0	-45	0	90	0	0
-45	0	0	0	-45	-45	0	90
45	-45	0	0	45	45	90	0
45	45	90	90	-45		0	90
-45	0	90	90	45		90	0
0	90	0	0	0		0	0
90	-45	0	0	90		90	90
-45	45	-45	0	45		-45	-45
45		45	90	-45		45	45
		45	-45			-45	
		-45	45			45	
		0				90	
		0				0	
		90				90	
		90				0	
		0				90	
		0				0	
		0				0	
		90				90	
		-45				45	
		45				-45	

Tabla 13: Apilados SP3.1 y SP4.1

2. Recopilación de resultados experimentales

SP5.1				SP6.1			
Web	Head Reinf.	Web Reinf.	Foot Reinf.	Web	Head Reinf.	Web Reinf.	Foot Reinf.
45	45	45	45	45	45	45	45
-45	-45	-45	-45	-45	-45	-45	-45
90	90	90	90	90	90	90	90
0	0	0	0	0	0	0	0
90	90	90	90	0	90	0	90
0	0	0	0	90	0	90	0
90	90	90	90	0	90	0	90
-45	-45	0	0	90	0	90	0
45	45	90	90	0	0	0	90
-45		0	0	90	90	90	0
45		90	90	-45	-45	0	90
90		0	0	45	45	90	0
0		90	90	-45		0	90
90		-45	-45	45		90	0
0		45	45	90		0	0
90		-45		0		90	90
45		45		90		-45	-45
-45		90		0		45	45
		0		90		-45	
		90		0		45	
		0		0		90	
		90		90		0	
		0		45		90	
		90		-45		0	
		0				90	
		90				0	
		0				90	
		90				0	
		45				90	
		-45				0	
						90	
						0	
						0	
						90	
						45	
						-45	

Tabla 14: Apilados SP5.1 y SP6.1

En la siguiente tabla se puede encontrar la lista de series de probetas ensayadas con los materiales y apilados usados en cada serie así como con el tipo de ensayo que se le ha realizado a dichas probetas, en qué parte de la probeta se ha realizado el ensayo y la distancia respecto al alma a la que se ha aplicado la carga cuando proceda:

Serie	Tipo de ensayo	d_{load} (mm)	Parte	Apilado	Material
169UNF	Tension	-	-	169UNF	194 g/m2 IMA/M21E
U1.1.1.I	Tension	-	Head	SP1.1	8552-AS4-0184
U1.1.1.III	Tension	-	Head	SP1.1	8552-AS4-0184
U1.1.2.I	Tension	-	Head	SP1.2	8552-AS4-0184
U1.1.2.II	Tension	-	Head	SP1.2	8552-AS4-0184
U1.2.1.I	Tension	-	Head	SP2.1	8552-AS4-0184
U1.2.2.I	Tension	-	Head	SP2.2	8552-AS4-0184
U1.3.1.I	Tension	-	Head	SP3.1	8552-AS4-0184
U2.1.2.I	Tension	-	Head	SP1.2	8552-AS4-0184
U3.1.1.I	Tension	-	Head	SP1.1	8552-AS4-0184
U3.1.2.I	Tension	-	Head	SP1.2	8552-AS4-0184
U3.2.1.I	Tension	-	Head	SP2.1	8552-AS4-0184
U3.2.2.I	Tension	-	Head	SP2.2	8552-AS4-0184
U3.3.1.I	Tension	-	Head	SP3.1	8552-AS4-0184
U3.4.2.I	Tension	-	Foot	SP4.1	8552-AS4-0184
U3.5.1.I	Tension	-	Head	SP5.1	8552-AS4-0184
U3.5.2.I	Tension	-	Foot	SP5.1	8552-AS4-0184
U3.6.1.I	Tension	-	Head	SP6.1	8552-AS4-0184
U3.4.1.I.B	Bending	-	Head	SP4.1	8552-AS4-0184
U3.4.2.I.B	Bending	-	Foot	SP4.1	8552-AS4-0184
U3.5.1.I.B	Bending	-	Head	SP5.1	8552-AS4-0184
U3.6.1.I.B	Bending	-	Head	SP6.1	8552-AS4-0184
U3.6.2.I.B	Bending	-	Foot	SP6.1	8552-AS4-0184
U3.4.1.I.C	Compression	-	Head	SP4.1	8552-AS4-0184
U3.4.1.I.TB	Tension-Bending	8	Head	SP4.1	8552-AS4-0184
U3.4.2.I.TB	Tension-Bending	8	Foot	SP4.1	8552-AS4-0184
U3.5.1.I.TB	Tension-Bending	6	Head	SP5.1	8552-AS4-0184
U3.6.1.I.TB	Tension-Bending	7	Head	SP6.1	8552-AS4-0184
U3.6.2.I.TB	Tension-Bending	5	Foot	SP6.1	8552-AS4-0184
U3.6.1.I.CB	Compression-Bending	7	Head	SP6.1	8552-AS4-0184

Tabla 15: Tipo de ensayo, apilado y material para cada serie de probeta en T

Donde cabe mencionar que en la documentación de *TEAMS* aparece de forma confusa la distancia de aplicación de la carga para las probetas U3.4.1.I.TB, pudiendo ser ésta de 5mm.

Con respecto a la geometría viene determinada por los parámetros expresados en la siguiente figura:

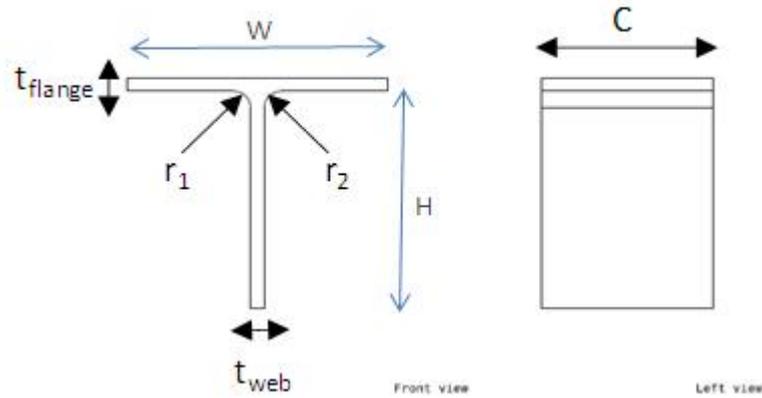


Figura 28: Parámetros de la geometría de las probetas de los rigidizadores en T.

A los radios r_1 y r_2 medidos en las probetas individuales se le puede hacer una media obteniendo un valor medio del radio interno r_i . De esta forma las medidas de las probetas son las expresadas en la siguiente tabla:

Probeta	t_{web} (mm)	t_{foot} (mm)	r_i (mm)	C (mm)	W (mm)	H (mm)
169UNF.1	5,152	3,68	7	62,6	68,2	150
169UNF.2	5,152	3,68	7	62,6	68,2	150
169UNF.3	5,152	3,68	7	62,6	68,2	150
U1.1.1.I-1	2,24	2,2	3,5	50,15	37,8	47,2
U1.1.1.I-2	2,27	2,2	3,5	50,1	37,8	47,2
U1.1.1.I-3	2,34	2,17	3,5	50,08	37,8	47,17
U1.1.1.I-4	2,2	2,2	3,5	50	37,8	47,2
U1.1.1.I-5	2,25	2,22	3,5	50,15	37,8	47,22
U1.1.1.III-1	2,31	2,24	4	39,2	37,8	47,24
U1.1.1.III-2	2,31	2,22	4	39,92	37,8	47,22
U1.1.1.III-3	2,32	2,23	4	40,54	37,8	47,23
U1.1.1.III-4	2,26	2,18	4	40,35	37,8	47,18
U1.1.1.III-5	2,3	2,23	4	40,34	37,8	47,23
U1.1.2.I-1	2,2	5,84	4	50,04	37,8	50,84
U1.1.2.I-2	2,58	5,8	4	49,8	37,8	50,8
U1.1.2.I-3	2,3	5,83	4	50,3	37,8	50,83
U1.1.2.I-4	2,35	5,87	4	50,05	37,8	50,87
U1.1.2.I-5	2,36	5,87	4	50,12	37,8	50,87
U1.1.2.II	2,24	5,84	3,75	180	37,8	50,84
U1.2.1.I-1	6,38	6,6	4	50,02	37,8	51,6
U1.2.1.I-2	6,4	6,7	4	50	37,8	51,7
U1.2.1.I-3	6,46	6,6	4	50,1	37,8	51,6
U1.2.1.I-4	6,42	6,62	4	50,12	37,8	51,62
U1.2.1.I-5	6,46	6,64	4	50,14	37,8	51,64
U1.2.2.I	6,6	8,5	4	50	37,8	53,5

2. Recopilación de resultados experimentales

Probeta	t_{web} (mm)	t_{foot} (mm)	r_i (mm)	C (mm)	W (mm)	H (mm)
U1.3.1.I-1	2,3	3,04	4	50,11	37,8	48,04
U1.3.1.I-2	2,36	3	4	50,06	37,8	48
U1.3.1.I-3	2,52	2,97	4	50,16	37,8	47,97
U1.3.1.I-4	2,42	2,98	4	50,3	37,8	47,98
U1.3.1.I-5	2,41	3,01	4	50,05	37,8	48,01
U1.3.1.I-6	2,4	3,03	4	50,08	37,8	48,03
U2.1.2.I	2,27	5,87	4	50,05	37,8	50,87
U3.1.1.I-1	2,11	2,13	4	50,07	37,8	47,13
U3.1.1.I-2	2,18	2,2	4	50,22	37,8	47,2
U3.1.1.I-3	2,1	2,19	4	50,1	37,8	47,19
U3.1.1.I-4	2,12	2,18	4	50,17	37,8	47,18
U3.1.1.I-5	2,09	2,17	4	49,91	37,8	47,17
U3.1.1.I-6	2,15	2,15	4	49,98	37,8	47,15
U3.1.2.I-1	2,39	5,82	3,5	50,11	37,8	50,82
U3.1.2.I-2	2,36	5,73	3,5	50,16	37,8	50,73
U3.1.2.I-3	2,26	5,76	3,5	50,07	37,8	50,76
U3.1.2.I-4	2,21	5,78	3,5	50,1	37,8	50,78
U3.1.2.I-5	2,27	5,77	3,5	50,07	37,8	50,77
U3.2.1.I-1	6,54	6,57	4	50,09	37,8	51,57
U3.2.1.I-2	6,61	6,49	4	49,95	37,8	51,49
U3.2.1.I-3	6,75	6,43	4	50,06	37,8	51,43
U3.2.1.I-4	6,7	6,4	4	50,02	37,8	51,4
U3.2.1.I-5	6,78	6,37	4	50	37,8	51,37
U3.2.1.I-6	6,27	6,77	4	50,04	37,8	51,77
U3.2.1.I-7	6,49	7,06	4	50,02	37,8	52,06
U3.2.2.I-1	6,37	8,11	3,5	50,08	37,8	53,11
U3.2.2.I-2	6,35	8,1	3,5	50,1	37,8	53,1
U3.2.2.I-4	6,4	8,1	3,5	50,1	37,8	53,1
U3.2.2.I-5	6,39	8,12	3,5	50,09	37,8	53,12
U3.2.2.I-6	6,4	8,09	3,5	50,1	37,8	53,09
U3.3.1.I-1	2,59	2,94	4	50,12	37,8	47,94
U3.3.1.I-2	2,47	2,99	4	50	37,8	47,99
U3.3.1.I-3	2,5	3,03	4	49,98	37,8	48,03
U3.3.1.I-4	2,53	3,02	4	49,98	37,8	48,02
U3.3.1.I-5	2,48	3,04	4	50,04	37,8	48,04
U3.4.2.I-1	4,46	4,47	3,75	50,18	46,2	49,47
U3.4.2.I-2	4,44	4,47	3,75	50,17	46,2	49,47
U3.4.2.I-3	4,46	4,5	3,75	50,27	46,2	49,5
U3.4.2.I-4	4,42	4,52	3,75	50,18	46,2	49,52
U3.4.2.I-5	4,43	4,48	3,75	50,15	46,2	49,48
U3.5.1.I-1	3,19	3,27	3,5	50,09	46,2	48,27
U3.5.1.I-2	3,16	3,27	3,5	50,12	46,2	48,27
U3.5.1.I-3	3,2	3,26	3,25	50,16	46,2	48,26
U3.5.1.I-4	3,21	3,18	3,25	49,99	46,2	48,18
U3.5.1.I-5	3,22	3,18	3,25	49,98	46,2	48,18
U3.5.2.I-1	5,26	5,63	3,5	50,26	46,2	50,63
U3.5.2.I-2	5,3	5,65	3,5	50,08	46,2	50,65

2. Recopilación de resultados experimentales

Probeta	t_{web} (mm)	t_{foot} (mm)	r_i (mm)	C (mm)	W (mm)	H (mm)
U3.5.2.I-4	5,11	5,64	3,5	50,03	46,2	50,64
U3.5.2.I-5	5,3	5,4	3,25	49,97	46,2	50,4
U3.6.1.I-1	4,2	4,36	3,5	49,97	46,2	49,36
U3.6.1.I-2	4,19	4,5	3,5	50,04	46,2	49,5
U3.6.1.I-3	4,56	4,56	3,5	50,07	46,2	49,56
U3.6.1.I-4	4,5	4,5	3,5	49,91	46,2	49,5
U3.4.1.I.B-1	2,28	2,16	4	50,1	46,2	47,16
U3.4.1.I.B-2	2,25	2,2	4	50,29	46,2	47,2
U3.4.1.I.B-3	2,26	2,22	4	50,2	46,2	47,22
U3.4.1.I.B-4	2,3	2,23	4	50,22	46,2	47,23
U3.4.1.I.B-5	2,3	2,23	4	50,12	46,2	47,23
U3.4.2.I.B-1	4,38	4,45	3,75	50,19	46,2	49,45
U3.4.2.I.B-2	4,38	4,44	3,75	50,09	46,2	49,44
U3.4.2.I.B-3	4,38	4,49	3,75	50,1	46,2	49,49
U3.4.2.I.B-4	4,35	4,46	3,75	50,06	46,2	49,46
U3.4.2.I.B-5	4,35	4,5	3,75	50,04	46,2	49,5
U3.5.1.I.B-1	3,32	3,3	4	50,2	46,2	48,3
U3.5.1.I.B-2	3,3	3,34	4	50,18	46,2	48,34
U3.5.1.I.B-3	3,27	3,35	4	50,16	46,2	48,35
U3.5.1.I.B-4	3,28	3,31	4	50,18	46,2	48,31
U3.5.1.I.B-5	3,26	3,38	4	50,12	46,2	48,38
U3.6.1.I.B-1	4,53	4,44	4	50,14	46,2	49,44
U3.6.1.I.B-2	4,52	4,53	4	50,01	46,2	49,53
U3.6.1.I.B-3	4,46	4,58	4	50,03	46,2	49,58
U3.6.1.I.B-4	4,44	4,58	4	50,15	46,2	49,58
U3.6.2.I.B-1	6,62	6,72	3,75	50,1	46,2	51,72
U3.6.2.I.B-2	6,62	6,73	3,75	50,15	46,2	51,73
U3.6.2.I.B-3	6,63	6,74	3,75	50,22	46,2	51,74
U3.6.2.I.B-4	6,62	6,75	3,75	50,09	46,2	51,75
U3.6.2.I.B-5	6,62	6,77	3,75	50,2	46,2	51,77
U3.4.1.I.C-1	2,12	2,18	4	50,07	46,2	47,18
U3.4.1.I.C-2	2,38	2,16	4	50,02	46,2	47,16
U3.4.1.I.C-3	2,36	2,19	4	50,03	46,2	47,19
U3.4.1.I.C-4	2,28	2,19	4	50,12	46,2	47,19
U3.4.1.I.C-5	2,29	2,23	4	50,22	46,2	47,23
U3.4.1.I.TB-1	2,36	2,25	4	50,1	46,2	47,25
U3.4.1.I.TB-2	2,36	2,22	4	50,08	46,2	47,22
U3.4.1.I.TB-3	2,35	2,22	4	50,04	46,2	47,22
U3.4.1.I.TB-4	2,36	2,2	4	50,12	46,2	47,2
U3.4.1.I.TB-5	2,29	2,18	4	50,12	46,2	47,18
U3.4.2.I.TB-1	4,44	4,52	3,75	50,15	46,2	49,52
U3.4.2.I.TB-2	4,44	4,56	4	50,14	46,2	49,56
U3.4.2.I.TB-3	4,42	4,52	3,75	50,09	46,2	49,52
U3.4.2.I.TB-4	4,43	4,55	3,75	50,02	46,2	49,55
U3.4.2.I.TB-5	4,43	4,48	3,75	50,08	46,2	49,48
U3.5.1.I.TB-1	3,37	3,36	4	50,22	46,2	48,36

Probeta	t_{web} (mm)	t_{foot} (mm)	r_i (mm)	C (mm)	W (mm)	H (mm)
U3.5.1.I.TB-2	3,34	3,33	4	50,35	46,2	48,33
U3.5.1.I.TB-3	3,34	3,36	4	48,75	46,2	48,36
U3.5.1.I.TB-4	3,41	3,31	4	50,31	46,2	48,31
U3.5.1.I.TB-5	3,42	3,36	4	50,43	46,2	48,36
U3.6.1.I.TB-2	4,58	4,48	4	50,04	46,2	49,48
U3.6.1.I.TB-3	4,65	4,4	4	49,95	46,2	49,4
U3.6.1.I.TB-4	4,6	4,39	4	49,94	46,2	49,39
U3.6.1.I.TB-5	4,6	4,41	4	50,07	46,2	49,41
U3.6.2.I.TB-1	6,62	6,83	3,75	50,38	46,2	51,83
U3.6.2.I.TB-2	6,63	6,77	3,75	50	46,2	51,77
U3.6.2.I.TB-3	6,59	6,92	3,75	50,11	46,2	51,92
U3.6.2.I.TB-4	6,55	7	3,75	50,23	46,2	52
U3.6.2.I.TB-5	6,47	7,03	3,75	50,18	46,2	52,03
U3.6.2.I.TB-6	6,33	7,1	3,75	50,02	46,2	52,1
U3.6.1.I.CB-1	4,51	4,5	4	50,07	46,2	49,5
U3.6.1.I.CB-2	4,48	4,52	4	50,01	46,2	49,52
U3.6.1.I.CB-3	4,52	4,49	4	50,16	46,2	49,49
U3.6.1.I.CB-4	4,5	4,46	4	50,04	46,2	49,46

Tabla 16: Geometría de las probetas en T

Una vez definidas las probetas se presentan a continuación los resultados experimentales obtenidos tras realizar el ensayo, donde puede observarse la carga a la que se ha producido la rotura, así como el máximo momento producido y los ángulos del alma inicial y final (cuando proceda):

Probeta	Rotura (N)	Áng. inicial (°)	Áng. final (°)	Torque (Nmm)
169UNF.1	12669,8	-	-	-
169UNF.2	13077,64	-	-	-
169UNF.3	13248,63	-	-	-
U1.1.1.I-1	3829	-	-	-
U1.1.1.I-2	3322,3	-	-	-
U1.1.1.I-3	3805,6	-	-	-
U1.1.1.I-4	3675,6	-	-	-
U1.1.1.I-5	3512,2	-	-	-
U1.1.1.III-1	3431	-	-	-
U1.1.1.III-2	3092	-	-	-
U1.1.1.III-3	3470	-	-	-
U1.1.1.III-4	3502	-	-	-
U1.1.1.III-5	2989	-	-	-
U1.1.2.I-1	9182	-	-	-
U1.1.2.I-2	11137	-	-	-
U1.1.2.I-3	11266,6	-	-	-
U1.1.2.I-4	11974	-	-	-
U1.1.2.I-5	11606	-	-	-

2. Recopilación de resultados experimentales

Probeta	Rotura (N)	Áng. inicial (°)	Áng. final (°)	Torque (Nmm)
U1.1.2.II	45663	-	-	-
U1.2.1.I-1	20126	-	-	-
U1.2.1.I-2	21405	-	-	-
U1.2.1.I-3	20530	-	-	-
U1.2.1.I-4	20020	-	-	-
U1.2.1.I-5	21886,7	-	-	-
U1.2.2.I	10965,2	-	-	-
U1.3.1.I-1	3449	-	-	-
U1.3.1.I-2	4541	-	-	-
U1.3.1.I-3	3260	-	-	-
U1.3.1.I-4	3993	-	-	-
U1.3.1.I-5	4541	-	-	-
U1.3.1.I-6	3716	-	-	-
U2.1.2.I	7330	-	-	-
U3.1.1.I-1	2319	-	-	-
U3.1.1.I-2	2293	-	-	-
U3.1.1.I-3	2050,7	-	-	-
U3.1.1.I-4	2201,5	-	-	-
U3.1.1.I-5	2028,3	-	-	-
U3.1.1.I-6	2236,1	-	-	-
U3.1.2.I-1	8325	-	-	-
U3.1.2.I-2	9676	-	-	-
U3.1.2.I-3	7461	-	-	-
U3.1.2.I-4	9014	-	-	-
U3.1.2.I-5	8550	-	-	-
U3.2.1.I-1	12591	-	-	-
U3.2.1.I-2	15153	-	-	-
U3.2.1.I-3	15437	-	-	-
U3.2.1.I-4	14764	-	-	-
U3.2.1.I-5	14793	-	-	-
U3.2.1.I-6	15219	-	-	-
U3.2.1.I-7	15435	-	-	-
U3.2.2.I-1	19859	-	-	-
U3.2.2.I-2	16226	-	-	-
U3.2.2.I-4	20155	-	-	-
U3.2.2.I-5	15992	-	-	-
U3.2.2.I-6	19078	-	-	-
U3.3.1.I-1	2954	-	-	-
U3.3.1.I-2	1549	-	-	-
U3.3.1.I-3	3624	-	-	-
U3.3.1.I-4	3493	-	-	-
U3.3.1.I-5	3164	-	-	-
U3.4.2.I-1	6781	-	-	-
U3.4.2.I-2	6452	-	-	-
U3.4.2.I-3	5673	-	-	-
U3.4.2.I-4	5156	-	-	-

2. Recopilación de resultados experimentales

Probeta	Rotura (N)	Áng. inicial (°)	Áng. final (°)	Torque (Nmm)
U3.4.2.I-5	6435	-	-	-
U3.5.1.I-1	4703	-	-	-
U3.5.1.I-2	4993	-	-	-
U3.5.1.I-3	4328	-	-	-
U3.5.1.I-4	4003	-	-	-
U3.5.1.I-5	3985	-	-	-
U3.5.2.I-1	10369	-	-	-
U3.5.2.I-2	11092	-	-	-
U3.5.2.I-4	10693	-	-	-
U3.5.2.I-5	9967	-	-	-
U3.6.1.I-1	6429	-	-	-
U3.6.1.I-2	6890	-	-	-
U3.6.1.I-3	6838	-	-	-
U3.6.1.I-4	5782	-	-	-
U3.4.1.I.B-1	2154	7	-9,7	14979
U3.4.1.I.B-2	1410	10,2	-3,9	15461
U3.4.1.I.B-3	1179	12,3	5	20231
U3.4.1.I.B-4	1694	7	-7	14933
U3.4.1.I.B-5	1487	7	-5,1	15066
U3.4.2.I.B-1	-2438	0	15,3	-59032
U3.4.2.I.B-2	-2174	-0,3	15,1	-52347
U3.4.2.I.B-3	-2323	0,2	18,3	-60895
U3.4.2.I.B-4	-2241	0	19,1	-59929
U3.4.2.I.B-5	-2291	-0,1	15,3	-55473
U3.5.1.I.B-1	-1309	-1,4	7,7	-24908
U3.5.1.I.B-2	-1437	0	9,5	-29126
U3.5.1.I.B-3	-1396	0,2	9,4	-28199
U3.5.1.I.B-4	-1455	2	9,3	-29290
U3.5.1.I.B-5	-1378	-0,1	8,9	-27361
U3.6.1.I.B-1	-2334	-0,1	9,5	-47306,37635
U3.6.1.I.B-2	-2236	0	7,3	-41929,84104
U3.6.1.I.B-3	-2580	-0,1	10	-53178,15493
U3.6.1.I.B-4	-2328	0	8	-44780,27157
U3.6.2.I.B-1	-3960	-0,1	8,9	-78628,68763
U3.6.2.I.B-2	-3915	0	9,8	-80157,36521
U3.6.2.I.B-3	-4108	0	10,1	-84954,6271
U3.6.2.I.B-4	-3909	0,1	9,5	-79229,05962
U3.6.2.I.B-5	-3899	0	10	-80364,97134
U3.4.1.I.C-1	-3091	-	-	-
U3.4.1.I.C-2	-2806	-	-	-
U3.4.1.I.C-3	-2762	-	-	-
U3.4.1.I.C-4	-2945	-	-	-
U3.4.1.I.C-5	-3124	-	-	-
U3.4.1.I.TB-1	2085	-	-	-
U3.4.1.I.TB-2	2178	-	-	-
U3.4.1.I.TB-3	2108	-	-	-

Probeta	Rotura (N)	Áng. inicial (°)	Áng. final (°)	Torque (Nmm)
U3.4.1.I.TB-4	1929	-	-	-
U3.4.1.I.TB-5	1823	-	-	-
U3.4.2.I.TB-1	6163	-	-	-
U3.4.2.I.TB-2	6858	-	-	-
U3.4.2.I.TB-3	6151	-	-	-
U3.4.2.I.TB-4	6093	-	-	-
U3.4.2.I.TB-5	6032	-	-	-
U3.5.1.I.TB-1	3654	-	-	-
U3.5.1.I.TB-2	3751	-	-	-
U3.5.1.I.TB-3	3884	-	-	-
U3.5.1.I.TB-4	4205	-	-	-
U3.5.1.I.TB-5	4506	-	-	-
U3.6.1.I.TB-2	6689	-	-	-
U3.6.1.I.TB-3	5292	-	-	-
U3.6.1.I.TB-4	5532	-	-	-
U3.6.1.I.TB-5	5920	-	-	-
U3.6.2.I.TB-1	12512	-	-	-
U3.6.2.I.TB-2	10176	-	-	-
U3.6.2.I.TB-3	13094	-	-	-
U3.6.2.I.TB-4	13652	-	-	-
U3.6.2.I.TB-5	12275	-	-	-
U3.6.2.I.TB-6	13227	-	-	-
U3.6.1.I.CB-1	-13109	-	-	-
U3.6.1.I.CB-2	-13737	-	-	-
U3.6.1.I.CB-3	-13660	-	-	-
U3.6.1.I.CB-4	-12888	-	-	-

Tabla 17: Resultados experimentales de las probetas en T

2.3. Selección de los resultados a emplear en los siguientes análisis

Como se comentó previamente los cálculos de los ensayos ILTS servirán para probar la validez de los métodos de cálculo que posteriormente se intentarán desarrollar para los rigidizadores con perfil en T. Realmente los ensayos ILTS nos permiten determinar el admisible S_{33} , la cual es razonable pensar que debe ser próxima al valor de S_{22} proporcionado por la correspondiente normativa AIMS (Airbus Material Specification).

Por lo tanto en primer lugar se obtendrán los admisibles S_{33} con los ensayos ILTS con objeto de posteriormente emplearlos en los ensayos en T junto con los criterios de rotura apropiados para estimar la carga de rotura comparando con la que se ha obtenido experimental. Ésto sólo se puede realizar si el material en los ensayos en T y en los ensayos ILTS es el mismo. Comparando ambos ensayos se observa que el único material en común en dichos ensayos es IMA/M21E (194 g/m²) en condiciones AR/RT, por lo que al desarrollar los cálculos para los ensayos ILTS se comparará principalmente con las probetas que usen dicho material, las cuales son las probetas 4PT1, 4PT2, 4PT5, 4PT6, 4PT7, 4PT8 y 4PT9.

El principal problema radica es que en los ensayos para los perfiles en T sólo se ha usado dicho material en las tres probetas 169UNF, por lo que en el resto de probetas habrá que realizar alguna estimación sobre el valor de S_{33} o bien realizar nuevos ensayos ILTS con estas probetas.

Por último, el estudio de los rigidizadores con perfil en T cae fuera del alcance de este proyecto.