

Anexo I. Informes de ensayos.

1. Informe del ensayo de la resistencia a la cizalladura por tracción de juntas pegadas de sustratos rígidos.

a) Norma UNE-EN 1465:1994.

Adhesivos. Determinación de la resistencia a la cizalladura por tracción de juntas pegadas de sustratos rígidos.

Campo de aplicación.

Esta Norma Europea especifica un método para determinar la resistencia a la cizalladura por tracción en juntas pegadas resultantes del solapamiento de sustrato rígido-rígido, cuando se ensayan probetas normalizadas y bajo condiciones específicas de preparación y ensayo.

b) Identificación de los adhesivos.

Tipo de adhesivo	Designación	Marca
Adhesivos de Metacrilato	XD 4662 A/B	VANTICO
	XD 4665 A/B	VANTICO
Adhesivos de Epoxi	Spabond 345	SP
	AV 4076 / HV 5309-1	VANTICO
	RESTERPOX ADH11	RESTER

Proporción de mezcla	Partes en peso	Partes en volumen
Araldite 4662- 2022/A	100	100
Araldite 4662- 2022/B	94	100
Araldite 4665/A	100	100
Araldite 4665/B	18.5	10
Spabond 345 Resina.	100	100
Spabond 345 Endurecedor.	48	50
Araldite AV 4076-1	100	100
Endurecedor HV5309-1	116	100

Uso en cartuchos.

Todos los adhesivos excepto REETERPOX ADH11, se presentan en cartuchos.

Se presenta el producto en cartuchos, con boquillas dispensadoras, se debe desechar la primera longitud de mezcla resina-endurecedor, antes de aplicar el adhesivo al trabajo, para asegurar la correcta mezcla del producto. Se recomienda usar una boquilla nueva para cada aplicación, particularmente cuando el tiempo entre cada aplicación supere el tiempo de trabajo del adhesivo.

RESTERPOX ADH11

Este adhesivo bicomponente se encuentra a granel luego las proporciones de mezcla se realizan con relación al peso de cada uno de los componentes.

La ficha técnica del adhesivo proporciona el valor de la proporción en peso de la mezcla, siendo esta proporción 1:1

Recordamos que antes de realizar la mezcla adhesiva, se deben preparar las herramientas necesarias y los sustratos deben estar también adecuadamente preparados para no sobrepasar el tiempo de trabajo de la mezcla adhesiva.

Se ha estimado una cantidad de 10 gramos de cada componente.

c) Sustratos.

El material de los sustratos es un material compuesto de fibra de vidrio y resina de epoxi.

El espesor del sustrato es de 1.6 mm

Las dimensiones de los sustratos a pegar son 1.6 x 20 x 100 mm.

Preparación superficial.

El sustrato fue laminado con tejido peel plies, esto significa que la superficie mientras no se desmolde del peel plies esta sin contaminar, libre de impurezas. Este tejido peel play también hace que la superficie no sea lisa presentando rugosidad superficial.

Aún así, para conseguir una mayor rugosidad superficial se realiza un lijado de las superficies con papel de lija de tamaño de grano 80.

Después del lijado se soplan las superficies con aire a presión y se limpian con disolvente, acetona. Una vez realizada la limpieza se colocan las placas en bolsas de plástico sin usar para evitar que se contaminen de polvo.

Para conseguir un espesor determinado, de la capa de adhesivo, se han fabricado galgas del mismo material del sustrato, y longitud la recomendada por la norma para el solape.

Las dimensiones de las galgas son 1.0 x 5.0 x 12.5 mm.

El espesor de la galga es 1 mm, tras haber retirado las dos capas de peel plies y haber lijado con papel de lija de tamaño de grano 240, para asegurar el pegado, con el adhesivo instantáneo.

Estas galgas se pegan al sustrato con un adhesivo instantáneo Loctite 406 para pegado de plásticos. La colocación de estas galgas nos proporciona un espesor de la capa de adhesivo determinado de 1.6 mm.

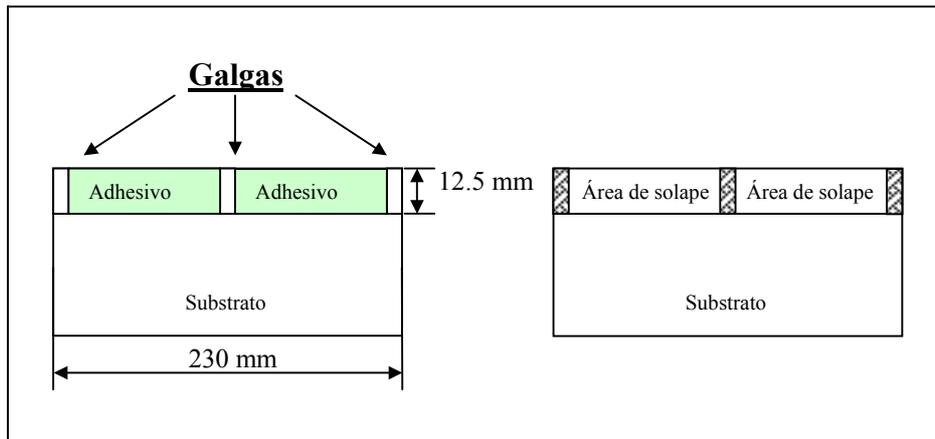


Figura 1: Substratos para ensayos de cizalla.

Una vez son colocadas las galgas se comprueba visualmente que la calidad de la superficie a pegar es la adecuada y se vuelve a limpiar con acetona, para asegurar que durante la manipulación de las planchas, la superficie no se haya contaminado.

Una vez la superficie libre de disolvente se protege con plástico nuevo, para evitar su contaminación (es muy importante que el plástico este totalmente limpio y sin usar, para asegurarlo se ha usado plástico doble por su cara interior, y así evitamos cualquier suciedad que pueda haberle caído en la superficie exterior del mismo).

d) Descripción del proceso de pegado. Aplicación del adhesivo.

Herramientas:

Para la aplicación del adhesivo y realización de la unión se precisa de:

- Espátulas para el mezclado y aplicación.
- Boquillas mezcladoras.
- Peso electrónico “Gram” MM-5000 de sensibilidad de 2 gr y máximo 5000 gr.
- Gatos de sujeción.
- Regles.

Proceso de aplicación del adhesivo:

Con ayuda de dos espátulas se realiza la mezcla, hay que asegurarse de que la mezcla es correcta y que no queda material sin mezclar en las espátulas o superficie sobre la que se realiza la mezcla.

Se aplica adhesivo sobre la superficie del sustrato sin poner sobre las galgas y no rebasando la línea que delimita el área de solape.

En la otra parte del sustrato a pegar también se aplica adhesivo igualmente respetando la línea de solape y las marcas de la posición de las galgas en el sustrato, para no aumentar en espesor de la línea de adhesivo.

Hay que aplicar adhesivo suficiente para cuando se realice la unión y se ejerza presión, sobre la misma, el adhesivo que expulse sea sobrante y no deje huecos en el interior de la unión.

Realización de la unión:

Una vez aplicado el adhesivo se realiza la unión con cuidado de posicionarla correctamente. Seguidamente con dos reglas encintadas (para que no se peguen al adhesivo sobrante) se colocan en las dos caras de la unión y con dos gatos de sujeción se realiza el apriete y así se ejerce también la presión necesaria, mientras el adhesivo esta curando.

Se dejan transcurrir 10 minutos y se retira el sobrante de la unión, con ayuda de una espátula y con mucha cuidado de no crear discontinuidades en el adhesivo. El retirar ahora el adhesivo sobrante, evita posteriores operaciones para retirar el adhesivo ya curado, que pueden dar lugar a fallos en el sustrato y con ello a debilitar la resistencia del conjunto.

Se colocan unos calzos, como se muestra en la figura, para evitar que la pieza vuelque.

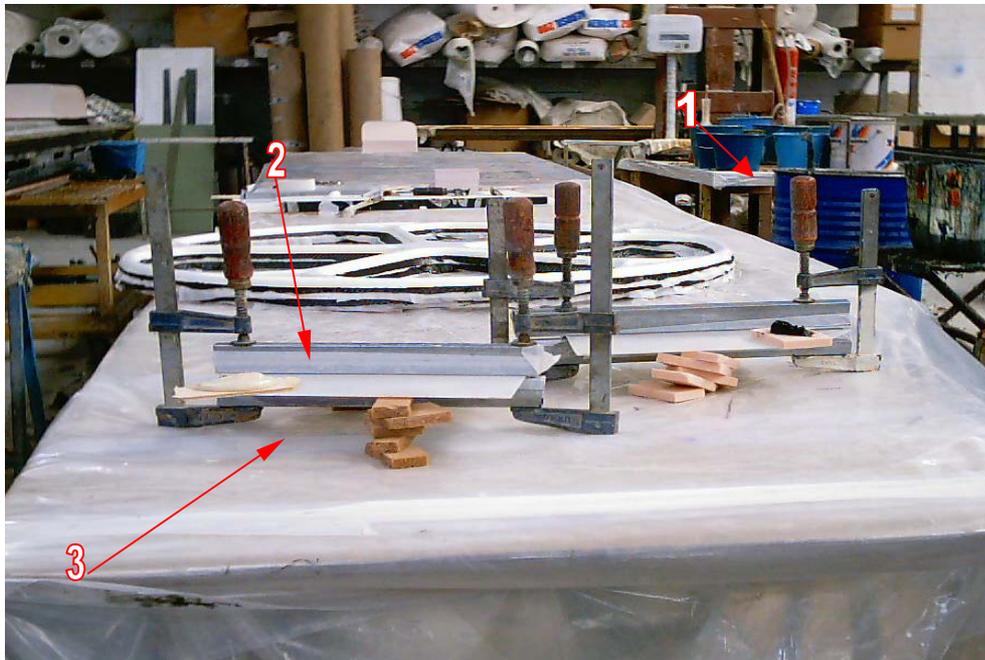


Figura 2: Elementos de posicionamiento y sujeción, una vez realizada la unión de sustratos para las probetas del ensayo de cizalladura. 1- Gatos de sujeción. 2-Reglas. 3-Apoyos.

Curado del adhesivo.

Los adhesivos de ensayo son de diferente composición química y por ello requieren de diferentes tiempos y temperaturas de curado.

Para uniformar las propiedades de curado de los cinco adhesivos, todos han sido curados a temperatura ambiente (25° C), durante 24 horas, sin retirar los elementos de sujeción y presión.

Una vez curado el adhesivo a temperatura ambiente, se retiran los gatos y reglas de la unión.

Se realiza una inspección visual de la unión para ver si es aceptable para continuar o tiene algún fallo derivado del proceso de pegado.

Post-curado del adhesivo.

Para estar seguros de que los adhesivos están totalmente curados y en similares condiciones, se dejan transcurrir 3 días a temperatura ambiente antes de proceder al corte de las probetas de ensayo. Una vez cortadas las probetas se introducen durante 5 horas a 50° C, en un horno.

Durante el corte de las probetas debido a la herramienta utilizada se calientan los materiales y esto hipotéticamente puede generar tensiones internas en el adhesivo debido a los diferentes coeficientes de expansión térmica entre adhesivo y sustrato.

e) Proceso de corte de probetas.

Para cortar las probetas se probaron varios métodos, hasta que lo más idóneo fue la fabricación de una mesa de corte adaptada a las dimensiones de las probetas, ya que debido a las pequeñas dimensiones resultaba inadecuado cortarlas con una mesa de carpintero.

Para marcar las líneas de corte se realiza con un rotulador grueso de medio centímetro aproximadamente, que permita obtener una línea de dos o tres milímetros, que se compensaran con los milímetros que se pierden debido al corte con disco de diamante.

Se realiza el marcado con una plantilla de dimensiones iguales a las de la probeta final, figura siguiente.

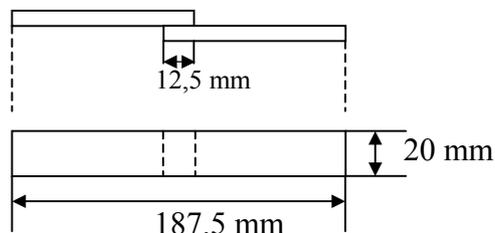


Figura 3: Dimensiones de las probetas unidas a solape.

Una vez cortadas las probetas se desechan las tres probetas que tienen la galga de espesor.

Nos restan 8 probetas para ensayo, estas se lijan hasta conseguir las dimensiones ajustadas.

Para conseguir la línea recta durante el lijado manual se realiza con tacos de lija rectos que permiten adaptar papel de lija del tamaño de grano adecuado y tras una pequeña práctica son muy útiles.

Una vez cortadas y repasadas las probetas se comprueban las dimensiones y se mide el espesor del adhesivo.

f) Espesor medio de la película de adhesivo.

El espesor medio de la capa de adhesivo, una vez curado es de 1,2 mm.

g) Resultados de ensayos.

A continuación se muestran los resultados elegidos como válidos, para cada adhesivo ensayado, Fuerza de rotura en Newtons, tabla 1. ΔL en mm, y ϵ en %, tabla 2.

Fuerza de rotura (N)				
4076/5309- Epoxi	Sp345- Epoxi	Resterpox ADH11 Epoxi	4662 A/B Metacrilato	4665 A/B Metacrilato
3143,33	3343,33	2263,33	3083,33	2697,00
3123,33	3140,83	2027,50	3037,50	2691,67
2995,50	3328,33	2387,50	2997,17	2806,67
3002,50	3215,83	2031,67	2999,17	2798,33
3159,17	3174,00	2042,50	3124,17	2810,00
3049,17	3294,17	2233,30	2986,67	2753,33

Tabla 1: Fuerzas de rotura en N.

4076/5309 Epoxi		Sp345 Epoxi		ResterpoxADH11 Epoxi		4662 A/B Metacrilato		4665 A/B Metacrilato	
ΔL mm	ϵ (%)	ΔL mm	ϵ (%)	ΔL mm	ϵ (%)	ΔL mm	ϵ (%)	ΔL mm	ϵ (%)
2,19	2,04	3,62	2,59	2,24	1,54	2,57	1,81	4,13	2,99
3,30	1,88	3,20	2,32	1,49	1,74	2,58	1,84	3,97	2,86
2,92	2,29	2,59	1,85	1,82	1,61	2,59	1,85	4,20	3,05
2,61	2,10	3,54	2,56	2,24	1,07	2,49	1,75	6,03	6,56
3,21	1,58	3,41	2,47	2,11	1,61	2,36	1,69	4,43	3,05
2,86	2,35	3,40	2,41	2,39	1,31	2,48	1,76	4,20	3,19

Tabla 2: Deformación nominal en tracción.

2. Informe del ensayo de tracción de probetas unidas a tope.

a) Norma UNE EN 26922:1993.

Adhesivos. Determinación de la resistencia a la tracción de uniones a tope.

Campo de aplicación.

Esta Norma Internacional especifica un método de determinación de la resistencia a la rotura de una unión a tope con adhesivos, cuando esta sometida a un esfuerzo de tracción.

El método puede ser aplicado a todo tipo de adhesivos. Aunque en principio esta destinado para ser utilizado bajo condiciones ambientales normales, el método de base puede ser aplicado para efectuar ensayos bajo un amplio rango de temperaturas y de otras condiciones ambientales. El método requiere adherentes rígidos que pueden ser mecanizados a las tolerancias dimensionales requeridas y así mismo soportar los esfuerzos aplicados sobre ellos durante toda la duración del ensayo.

b) Identificación de los adhesivos.

Los adhesivos son los mismos que los del apartado 1.b), del presente capítulo.

c) Substratos.

El material de los substratos, es un material compuesto de fibra de vidrio y resina de epoxi.

La geometría del substrato, es conforme indica la Norma Española UNE-EN 26922 en el apartado 5.1.2, para secciones cuadradas, estas dimensiones son:

-Longitud de lado (sección): $10 \text{ mm} \pm 0,1 \text{ mm}$.

-Longitud del lado del prisma: $30 \text{ mm} \pm 0,1 \text{ mm}$.

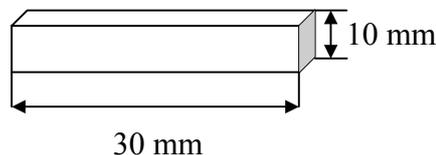


Figura 4: Geometría de los substratos para los ensayos de tracción de uniones a tope.

Preparación superficial.

Una vez son cortadas las planchas, se comprueban las dimensiones y se realiza el lijado de la superficie a pegar, con papel de lija de tamaño de grano 80. El lijado se realiza con

tacos de lija, y hay que tener un cuidado especial, de guardar el correcto alineamiento de la superficie.

A continuación, se limpian con disolvente de evaporación rápida, acetona, y se colocan en plásticos, sin usar, para evitar que se contaminen de polvo o cualquier otra impureza, que hubiera en el ambiente, o por el roce, con otros materiales.

Para conseguir un espesor determinado, de la capa de adhesivo, se han fabricado galgas del mismo material del sustrato. Las dimensiones de las galgas son 0.5 x 5.0 x 10 mm.

El espesor de la galga es 0.5 mm, tras haber retirado las dos capas de peel plies y haber lijado con papel de lija de tamaño de grano 240, para asegurar el pegado, con el adhesivo instantáneo.

Estas galgas se pegan al sustrato con un adhesivo instantáneo Loctite 406 para pegado de plásticos. La colocación de estas galgas nos proporciona un espesor de la capa de adhesivo determinado de 0.5 mm.

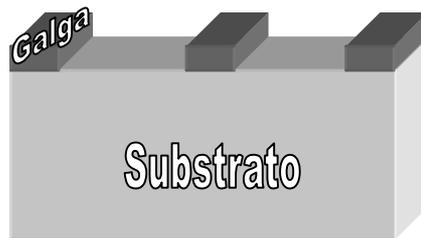


Figura 5: Substratos para ensayos de tracción de uniones a tope.

d) Descripción del proceso de pegado. Aplicación del adhesivo.

Las herramientas, y el proceso seguido para la aplicación del adhesivo sobre los sustratos, es el descrito en el apartado 1.d), del presente capítulo.

Realización de la unión:

Una vez aplicado el adhesivo, se posicionan los adherentes y se realiza la unión. Se posiciona un regle fijo, se coloca las planchas unidas, con mucho cuidado y con un segundo regle, se fija la posición final, de los sustratos. A continuación, se colocan los gatos, que actuarán de elementos de sujeción y presión para la correcta realización de la unión.

En la figura siguiente se puede observar la situación final, en la que se realizará el curado del adhesivo.



Figura 6: Substratos unidos a tope.

Una vez es realizada la unión se dejan transcurrir 10 minutos, y se retira el sobrante de adhesivo, con ayuda de una espátula y con mucho cuidado de no crear discontinuidades en la capa de adhesivo. Este mismo sobrante se utilizará después como guía para observar el proceso de curado del adhesivo.

Curado y post- curado del adhesivo.

El proceso de curado y post-curado del adhesivo es el explicado en el apartado 1.d) del presente capítulo.

e) Proceso de corte de probetas.

Antes de proceder al corte de las probetas individuales, se elimina el sobrante del adhesivo, existente sobre la superficie, esto se realiza con una devastadora pulidora. El corte de las probetas individuales, se realiza con una tronzadora con disco de diamante.

f) Espesor medio de la película de adhesivo.

El espesor medio de la capa de adhesivo, una vez curado es de 0.5 mm.

g) Resultados de ensayos.

A continuación se muestran los resultados elegidos como válidos, para cada adhesivo ensayado, Fuerza de rotura en Newtons, tabla 3.

Fuerza de rotura (N)				
4076/5309- Epoxi	Sp345- Epoxi	Resterpox ADH11 Epoxi	4662 A/B Metacrilato	4665 A/B Metacrilato
1545,83	2835,83	2247,5	1788,33	2350,83
1395,23	2823,33	2023,33	1723,33	2345
1427,93	2755,83	2214,17	1840,83	2309,17
1500	2794,17	2231,67	1746,67	2295,17
1438,33	2742,5	2157,33	1720,83	2237,83

Tabla 3: Fuerzas de rotura en N.

3. Informe del ensayo de pelado en juntas pegadas de alta resistencia.

a) Norma UNE-EN 1464:1994.

Adhesivos. Determinación de la resistencia al pelado en juntas pegadas de alta resistencia. Método del rodillo móvil.

Campo de aplicación.

Esta norma especifica un método de rodillo móvil para la determinación de la resistencia al pelado de juntas pegadas de alta resistencia, entre un substrato rígido y otro flexible. El utilización de este sistema (de un rodillo móvil), produce datos numéricos más constantes que otros métodos de pelado, como el método de pelado en T u otros.

b) Identificación de los adhesivos.

Los adhesivos son los mismos que los del apartado 1.b), del presente capítulo.

c) Substratos.

Substrato rígido: Plancha de $1,6 \pm 0,1$ mm de espesor, de material compuesto de fibra de carbono y resina de epoxi.



Figura 7: Substrato rígido.

Substrato flexible: Plancha de $0,5 \pm 0,02$ mm de espesor, de material compuesto de fibra de vidrio y resina de epoxi.

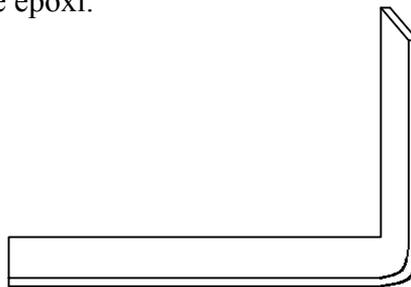


Figura 8: Substrato flexible.

Preparación superficial.

Una vez son cortadas las planchas, se comprueban las dimensiones y se realiza el lijado de la superficie a pegar, con papel de lija de tamaño de grano 80. El lijado se realiza con tacos de lija, y hay que tener un cuidado especial, de guardar el correcto alineamiento de la superficie.

A continuación, se limpian con disolvente de evaporación rápida, acetona, y se colocan en plásticos, sin usar, para evitar que se contaminen de polvo o cualquier otra impureza, que hubiera en el ambiente, o por el roce, con otros materiales.

d) Descripción del proceso de pegado. Aplicación del adhesivo.

Las herramientas, y el proceso seguido para la aplicación del adhesivo sobre los substratos, es el descrito en el apartado 1.d), del presente capítulo.



Figura 9: Aplicación del adhesivo sobre el substrato flexible.

Realización de la unión:

Una vez aplicado el adhesivo, se posicionan los adherentes y se realiza la unión de los mismos.



Figura 10: Unión de los substratos para ensayo de pelado.

Una vez es realizada la unión se dejan transcurrir 10 minutos, y se retira el sobrante de adhesivo, con ayuda de una espátula y con mucho cuidado de no crear discontinuidades en la capa de adhesivo. Este mismo sobrante se utilizará después como guía para observar el proceso de curado del adhesivo.

Curado y post- curado del adhesivo.

El proceso de curado y post-curado del adhesivo es el explicado en el apartado 1.d) del presente capítulo.

e) Proceso de corte de probetas.

El corte de las probetas fue mas complicado que en el caso de las probetas de solape o probetas unidas a tope, debido a la geometría final de la unión. Primero se realizó el corte de la parte unida de los substratos rígido y flexible, mediante una pequeña mesa de carpintero fabricada en el Astillero especialmente para este trabajo, y a continuación se cortó el substrato flexible con ayuda de una sierra de mano. Este proceso fue lento ya que hubo que realizar el proceso de corte descrito diez veces por adhesivo. A continuación se muestran las dos fases de corte de las probetas para ensayos de pelado:



Figura 11 a): Corte de la zona unida de los substratos.



Figura 11.b): Detalle del corte de la zona unida de los substratos.



Figura 11.c): Corte del substrato flexible.

Figura 11): Corte de las probetas para ensayo de pelado.

f) Espesor medio de la película de adhesivo.

El espesor medio de la capa de adhesivo, una vez curado es de 0.5 mm.

g) Resultados de ensayos.

A continuación se muestran los resultados elegidos como válidos, para cada adhesivo ensayado.

Fuerzas de rotura medias (N)				
4076/5309-Epoxi	Sp345-Epoxi	Resterpox ADH11 Epoxi	4662 A/B Metacrilato	4665 A/B Metacrilato
117,689	78,075	112,814	77,5	48,125
81	89,125	83,625	76,25	66
84,833	99,004	74	75	74,25
87,656	92,656	78,75	122,5	53,625
91,544	103,782	75,469	61,25	41,25
47,469	41,563	45,313	43,75	34,375
51,876	64,875	51	37,5	28,188
39,319	62,388	35,625	30	33,688
44,999	39,938	41,813	42,5	25,438
44,891	47,925	53,281	35	26,125

Tabla 4: Valores de crestas y valles, para el cálculo de las fuerzas medias de rotura.

Fuerzas de rotura máximas (N)				
4076/5309-Epoxi	Sp345-Epoxi	Resterpox ADH11 Epoxi	4662 A/B Metacrilato	4665 A/B Metacrilato
340	164,17	197,5	338,33	215
293,33	219,17	274,17	367,5	127,5
170	218,33	189,17	240	257,5
245,83	186,67	229,17	268,5	120,5
243,061	260	186,67	148,33	186,67

Tabla 5: Fuerzas máximas de inicio de rotura.

Fuerzas de rotura mínimas (N)				
4076/5309-Epoxi	Sp345-Epoxi	Resterpox ADH11 Epoxi	4662 A/B Metacrilato	4665 A/B Metacrilato
168,44	104,45	114,065	91,25	48,125
101,94	91,563	110,63	42,5	110,69
84,378	96,313	61,875	53,906	76,875
76,19	78,125	99,375	63,02	90,39
88,281	94,5	81,25	53,594	82,813

Tabla 6: Fuerzas mínimas de rotura final de la probeta.