

## **Tabla de contenido**

|                                                                                                                                          |           |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>Tabla de Figuras .....</b>                                                                                                            | <b>3</b>  |
| <b>Tabla de Gráficas .....</b>                                                                                                           | <b>5</b>  |
| <b>Tabla de tablas.....</b>                                                                                                              | <b>6</b>  |
| <b>1. INTRODUCCIÓN.....</b>                                                                                                              | <b>7</b>  |
| 1.1. Los materiales compuestos y sus procesos de unión .....                                                                             | 7         |
| 1.2. Tipos de adhesivos y ensayos de caracterización de adhesivos .....                                                                  | 10        |
| 1.3. Objetivos del proyecto .....                                                                                                        | 18        |
| 1.4. Definiciones previas.....                                                                                                           | 20        |
| <b>2. Procesado del material y preparación de las muestras ....</b>                                                                      | <b>25</b> |
| 2.1. Descripción de los adherentes y de los adhesivos.....                                                                               | 27        |
| 2.1.1. Adherente para el estudio de los primeros cinco parámetros (Tipo “A”).....                                                        | 28        |
| 2.1.2. Adhesivo para el estudio de los primeros cinco parámetros (Tipo “A”) .....                                                        | 32        |
| 2.1.3. Adherente para el estudio del efecto del sistema de desmolde y tipo de pelable sobre la resistencia del encolado (Tipo “B”) ..... | 33        |
| 2.1.4. Adhesivo para el estudio del efecto del sistema de desmolde y tipo de pelable sobre la resistencia del encolado (Tipo “B”) .....  | 37        |
| 2.2. Proceso de encolado .....                                                                                                           | 38        |
| 2.3. Parámetros a controlar .....                                                                                                        | 43        |
| 2.3.1. Efecto de la humedad .....                                                                                                        | 45        |
| 2.3.2. Efecto del espesor de adhesivo.....                                                                                               | 47        |
| 2.3.3. Ciclo de curado del adhesivo.....                                                                                                 | 48        |
| 2.3.4. Efecto del vacío en el ciclo de curado .....                                                                                      | 51        |
| 2.3.5. Tiempo transcurrido desde que se elimina el pelable de los adherentes hasta que se efectúa la unión .....                         | 52        |
| 2.3.6. Tipo de pelable y sistema de desmolde .....                                                                                       | 53        |
| 2.4. Preparación de los especímenes.....                                                                                                 | 55        |
| 2.5. Precauciones relativas a la preparación de las probetas .....                                                                       | 57        |
| <b>3. Realización de ensayos de cortadura .....</b>                                                                                      | <b>60</b> |
| 3.1. El ensayo de solape simple, generalidades.....                                                                                      | 60        |
| 3.2. Descripción del ensayo a realizar .....                                                                                             | 66        |

**3.3. Resultado de los ensayos y estudio comparativo de la influencia de los parámetros**  
**69**

|          |                                                                |     |
|----------|----------------------------------------------------------------|-----|
| 3.3.1.   | Efecto de la humedad .....                                     | 71  |
| 3.3.1.1. | Efecto de la humedad del ambiente .....                        | 73  |
| 3.3.1.2. | Efecto del tiempo de exposición .....                          | 75  |
| 3.3.2.   | Efecto del espesor de adhesivo.....                            | 81  |
| 3.3.3.   | Efecto del ciclo de curado .....                               | 84  |
| 3.3.4.   | Efecto del vacío .....                                         | 87  |
| 3.3.5.   | Efecto de la exposición al ambiente.....                       | 94  |
| 3.3.6.   | Influencia del tipo de pelable y del sistema de desmolde ..... | 97  |
| 3.3.7.   | Comprobación del curado completo del adhesivo .....            | 101 |

**4. Conclusiones ..... 105**

|      |                                                        |     |
|------|--------------------------------------------------------|-----|
| 4.1. | Efecto de la humedad .....                             | 105 |
| 4.2. | Influencia del espesor de adhesivo .....               | 107 |
| 4.3. | Efecto del ciclo de curado.....                        | 109 |
| 4.4. | Efecto del vacío.....                                  | 110 |
| 4.5. | Efecto del tiempo sin pelable .....                    | 111 |
| 4.6. | Efecto del tipo de pelable y sistema de desmolde ..... | 112 |
| 4.7. | Resumen de conclusiones .....                          | 113 |
| 4.8. | Recomendaciones.....                                   | 114 |

## Tabla de Figuras

|                                                                                                        |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 1. Esquema de los remaches más utilizados .....                                                 | 9  |
| Figura 2. Tipología de las uniones adhesivas más comunes a solape .....                                | 9  |
| Figura 3. Sistema de emisión acústica.....                                                             | 15 |
| Figura 4. Ultrasonidos, pulso eco .....                                                                | 16 |
| Figura 5. Métodos térmicos .....                                                                       | 16 |
| Figura 6. Radiografía .....                                                                            | 17 |
| Figura 7. Ensayo de “Coin-Tap” .....                                                                   | 17 |
| Figura 8. Muestra de pelable .....                                                                     | 20 |
| Figura 9. Muestra de Tejido aireador.....                                                              | 23 |
| Figura 10. Esquema descriptivo del sistema de calidad de T.E.A.M.S. ....                               | 26 |
| Figura 11. Esquema de los paneles suministrados.....                                                   | 29 |
| Figura 12. Esquema del proceso de fabricación de los paneles.....                                      | 29 |
| Figura 13. Muestra de uno de los paneles recibidos para la realización del estudio .....               | 30 |
| Figura 14. Muestra de la base y del endurecedor, por ese orden .....                                   | 32 |
| Figura 15. Muestra de adhesivo .....                                                                   | 37 |
| Figura 16. Esquema del corte de los paneles. ....                                                      | 38 |
| Figura 17. Semi-paneles con los tacones pegados.....                                                   | 40 |
| Figura 18. Delimitación de la zona de encolado .....                                                   | 40 |
| Figura 19. Líneas para asegurar el correcto alineamiento.....                                          | 41 |
| Figura 20. Comprobación de la longitud de la zona de solape y semi-panel preparado para<br>pegar ..... | 41 |
| Figura 21. Montaje para el curado del adhesivo.....                                                    | 42 |
| Figura 22. Conjunto que se introduce en la cámara climática y se expone a ambiente húmedo<br>.....     | 46 |
| Figura 23. Distintas condiciones de humedad relativa y temperatura .....                               | 46 |
| Figura 24. Tiras para control de espesor .....                                                         | 47 |
| Figura 25. Horno donde se curó el adhesivo.....                                                        | 50 |
| Figura 26. Autoclave donde se curaron las series de estudio del efecto del vacío.....                  | 51 |
| Figura 27. Resumen del conjunto de series para el estudio del pelable y agente de desmolde             | 53 |
| Figura 28. Esquema de la probeta acotado .....                                                         | 55 |
| Figura 29. Ejemplos de serie .....                                                                     | 56 |
| Figura 30. Propagación de la grieta cuando el adhesivo trabaja a cortadura.....                        | 60 |
| Figura 31. Eficiencia de la unión respecto al espesor de adherente.....                                | 61 |
| Figura 32. Efecto de la excentricidad en las uniones a solape simple y a solape doble .....            | 62 |
| Figura 33. Efecto de la transmisión de la carga por cortadura .....                                    | 64 |
| Figura 34. Efecto de la excentricidad de la carga en función del material de los adherentes....        | 64 |
| Figura 35. Montaje del ensayo .....                                                                    | 67 |
| Figura 36. Detalle del dispositivo de ensayo.....                                                      | 67 |
| Figura 37. Dimensiones de la probeta .....                                                             | 70 |
| Figura 38. Distintas condiciones de humedad relativa y temperatura .....                               | 71 |
| Figura 39. Resumen de los resultados con la dispersión incluida .....                                  | 92 |
| Figura 40. Resumen de resultados con la dispersión incluida .....                                      | 95 |

|                                                                                         |     |
|-----------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Figura 41. Esquema de la numeración de las probetas en función del orden de mecanizado. | 101 |
| Figura 42. Esquema de transmisión de las tensiones .....                                | 107 |
| Figura 43. Comparación de los sistemas de desmolde .....                                | 112 |

## Tabla de Gráficas

|                                                                                                       |     |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Gráfica 1. Ciclo de curado de los paneles.....                                                        | 35  |
| Gráfica 2. Ciclo de curado estándar usado con el adhesivo PU 709014 .....                             | 49  |
| Gráfica 3. Los ciclos de curado para el efecto del ciclo de curado.....                               | 49  |
| Gráfica 4. Ciclo de curado para el adhesivo Arathane 3427/3304.....                                   | 53  |
| Gráfica 5. Resistencia función de la humedad para un tiempo en cámara de 55 min. ....                 | 73  |
| Gráfica 6. Resistencia función de la humedad para un tiempo en cámara de 60 min. ....                 | 73  |
| Gráfica 7. Resistencia función de la humedad para un tiempo en cámara de 70 min. ....                 | 74  |
| Gráfica 8. Resistencia del material en función del tiempo de exposición. ....                         | 75  |
| Gráfica 9. Resistencia de la unión en función del tiempo de exposición.....                           | 75  |
| Gráfica 10. Resistencia de la unión en función del tiempo de exposición.....                          | 76  |
| Gráfica 11. Conjunto completo de series de estudio de efecto de la humedad.....                       | 77  |
| Gráfica 12. Conjunto completo de series con la dispersión incluida .....                              | 77  |
| Gráfica 13. Resultados con la serie 02 corregida .....                                                | 78  |
| Gráfica 14. Diagramas Carga-desplazamiento de las probetas más representativas.....                   | 79  |
| Gráfica 15. Diagramas Carga-desplazamiento de las probetas más representativas.....                   | 80  |
| Gráfica 16. Diagramas Carga-desplazamiento de las probetas más representativas.....                   | 80  |
| Gráfica 17. Comparación de los resultados en función del espesor. ....                                | 82  |
| Gráfica 18. Comparativa de resultados con la dispersión incluida .....                                | 82  |
| Gráfica 19. Diagramas Carga-desplazamiento de las probetas más representativas.....                   | 83  |
| Gráfica 20. Resistencia media de cada serie .....                                                     | 85  |
| Gráfica 21. Resumen de resultados con la dispersión incluida.....                                     | 85  |
| Gráfica 22. Diagramas Carga-desplazamiento de las probetas más representativas.....                   | 86  |
| Gráfica 23. Evolución de la presión con el tiempo para el ciclo de curado con vacío de -10 mbar ..... | 88  |
| Gráfica 24. Evolución de la presión con el tiempo para el ciclo de curado con vacío de -20 mbar ..... | 89  |
| Gráfica 25. Evolución de la presión con el tiempo para el ciclo de curado con vacío de -30 mbar ..... | 90  |
| Gráfica 26. Evolución de la temperatura para el ciclo de -30 mbar.....                                | 91  |
| Gráfica 27. Resumen de resultados con la dispersión incluida.....                                     | 92  |
| Gráfica 28. Diagramas Carga-desplazamiento de las probetas más representativas.....                   | 93  |
| Gráfica 29. Resumen de resultados .....                                                               | 95  |
| Gráfica 30. Diagramas Carga-desplazamiento de las probetas más representativas.....                   | 96  |
| Gráfica 31. Comparativa de resultados.....                                                            | 98  |
| Gráfica 32. Resumen de resultados con la dispersión incluida.....                                     | 98  |
| Gráfica 33. Diagramas Carga-desplazamiento de las probetas más representativas.....                   | 99  |
| Gráfica 34. Diagramas Carga-desplazamiento de las probetas más representativas.....                   | 100 |
| Gráfica 35. Conjunto completo de resultados de la serie-18.....                                       | 103 |
| Gráfica 36. Conjunto completo de resultados de la serie-12.....                                       | 104 |

## Tabla de tablas

|                                                                                                  |     |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Tabla 1. Estructura química de algunos usados como adhesivos. ....                               | 11  |
| Tabla 2. Distintos tipos de ensayos sobre adhesivos-1.....                                       | 12  |
| Tabla 3. Distintos tipos de ensayos sobre adhesivos-2.....                                       | 13  |
| Tabla 4. Distintos tipos de ensayos sobre adhesivos-3.....                                       | 13  |
| Tabla 5. Distintos tipos de ensayos sobre adhesivos-4.....                                       | 14  |
| Tabla 6. Distintos tipos de ensayos sobre adhesivos-5.....                                       | 14  |
| Tabla 7. Identificación de los materiales de los adherentes.....                                 | 28  |
| Tabla 8. Orden de apilado del laminado .....                                                     | 28  |
| Tabla 9. Ciclo de curado del material de los adherentes .....                                    | 30  |
| Tabla 10. Materiales usados para la fabricación de los paneles del último de los estudios.....   | 33  |
| Tabla 11. Orden de apilado de los paneles del último estudio.....                                | 34  |
| Tabla 12. Configuración de los paneles.....                                                      | 34  |
| Tabla 13. Componentes de los sistemas de desmolde .....                                          | 35  |
| Tabla 14. Condiciones estándar del estudio de los primeros cinco parámetros .....                | 44  |
| Tabla 15. Condiciones estándar del estudio del efecto del pelable y del sistema de desmolde..... | 44  |
| Tabla 16. Distintas condiciones de exposición a humedad.....                                     | 45  |
| Tabla 17. Resumen del plan de ensayos .....                                                      | 54  |
| Tabla 18. Resumen de resultados del estudio del efecto de la humedad .....                       | 72  |
| Tabla 19. Fallo cohesivo medio de cada serie en % .....                                          | 76  |
| Tabla 20. Resultados del estudio del efecto de adhesivo .....                                    | 81  |
| Tabla 21. Fallo cohesivo medio de cada serie en % .....                                          | 83  |
| Tabla 22. Resumen de resultados con los distintos ciclos de curado .....                         | 84  |
| Tabla 23. Fallo cohesivo en cada serie en % .....                                                | 86  |
| Tabla 24. Resumen de resultados del efecto del vacío en el ciclo de curado.....                  | 91  |
| Tabla 25. Fallo cohesivo en cada serie en % .....                                                | 93  |
| Tabla 26. Resumen de resultados del efecto del tiempo sin pelable .....                          | 94  |
| Tabla 27. Fallo cohesivo en cada serie en % .....                                                | 96  |
| Tabla 28. Resumen de resultados del conjunto de ensayos.....                                     | 97  |
| Tabla 29. Resumen del % de fallo cohesivo de la unión .....                                      | 99  |
| Tabla 30. Resumen de la serie 18.....                                                            | 102 |
| Tabla 31. Resumen de la serie 15.....                                                            | 104 |