

Índice

| | |
|--|----|
| CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN..... | 1 |
| 1.1. ANTECEDENTES Y MOTIVACIÓN..... | 2 |
| 1.2. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA..... | 2 |
| 1.3. SOLUCIÓN PROPUESTA..... | 2 |
| 1.4. OBJETIVOS..... | 3 |
| 1.4.1. Objetivo general..... | 3 |
| 1.4.2. Objetivos específicos..... | 3 |
| 1.5. ALCANCES DEL PROYECTO..... | 3 |
| 1.6. METODOLOGÍAS Y HERRAMIENTAS UTILIZADAS..... | 3 |
| 1.7. RESULTADOS ESPERADOS..... | 3 |
| 1.8. ORGANIZACIÓN DEL DOCUMENTO..... | 4 |
| CAPÍTULO II: MATERIALES COMPUESTOS..... | 5 |
| 2.1. GENERALIDADES..... | 6 |
| 2.2. DEFINICIÓN..... | 6 |
| 2.3. CARACTERÍSTICAS EN LA UTILIZACIÓN DEL MATERIAL..... | 7 |
| 2.4. INTRODUCCIÓN AL MÉTODO DE LOS ELEMENTOS FINITOS..... | 8 |
| 2.5. CLASIFICACIÓN..... | 8 |
| 2.5.1. Materiales compuestos reforzados con partículas..... | 9 |
| 2.5.2. Materiales compuestos estructurales..... | 9 |
| 2.5.3. Materiales compuestos reforzados con fibras..... | 10 |
| 2.5.4. Materiales compuestos con fibras discontinuas y orientadas al azar..... | 11 |
| 2.6. ESCALAS DE ANÁLISIS..... | 12 |
| 2.7. LEY DE HOOKE EN SÓLIDOS ELÁSTICOS..... | 14 |
| 2.7.1. Caso tridimensional isótropo..... | 16 |
| 2.7.2. Caso tridimensional ortótropo..... | 17 |
| 2.8. MÉTODOS DE HOMOGENEIZACIÓN..... | 18 |
| 2.8.1. Método de Voigt..... | 20 |
| 2.8.2. Método de Reuss..... | 21 |
| 2.8.3. Método de Hill..... | 24 |
| 2.8.4. Método de Homogeneización Periódica..... | 24 |

| | |
|--|----|
| CAPÍTULO III: LA FIBRA DEL PINO RADIATA COMO REFUERZO DEL PLÁSTICO PET | 28 |
| 3.1. COMPUESTOS DE PLÁSTICO MADERA | 29 |
| 3.2. CARACTERÍSTICAS DEL PLÁSTICO PET | 29 |
| 3.3. CARACTERÍSTICAS DEL PINO RADIATA..... | 31 |
| 3.4. RELACIÓN DE COMPORTAMIENTO | 32 |
| 3.5. DIMENSIONES DE LAS PARTÍCULAS DE ASERRÍN | 32 |
| 3.6. COEFICIENTE DE ESBELTEZ DEL ASERRÍN | 32 |
| CAPÍTULO IV: METODOLOGÍA | 36 |
| 4.1. HOMOGENEIZACIÓN PERIÓDICA | 37 |
| 4.1.1. Composición del VER..... | 37 |
| 4.1.2. Geometría y creación del VER..... | 37 |
| 4.1.3. Condiciones de borde | 42 |
| CAPÍTULO V: RESULTADOS Y DISCUSIÓN | 45 |
| 5.1. RESULTADOS DE LA HOMOGENEIZACIÓN | 46 |
| 5.2. PROPIEDADES DEL MATERIAL AL VARIAR SU CONTENIDO..... | 47 |
| 5.2.1. Módulo de elasticidad..... | 47 |
| 5.2.2. Módulo de corte..... | 51 |
| 5.2.3. Coeficiente de Poisson | 54 |
| 5.2.4. Densidad..... | 57 |
| CAPÍTULO VI: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES | 58 |
| 6.1. CONCLUSIONES | 59 |
| 6.2. RECOMENDACIONES..... | 61 |
| REFERENCIAS | 62 |
| ANEXOS | 65 |
| ANEXO 1 | 66 |
| ANEXO 2 | 72 |
| ANEXO 3 | 78 |
| ANEXO 4..... | 79 |
| ANEXO 5..... | 93 |

Índice de Figuras

| | |
|--|----|
| Figura 2.1- Fases de un material compuesto. | 6 |
| Figura 2.2- Propiedades mecánicas de la matriz, del refuerzo y del material compuesto obtenido a partir de la combinación de ambos. | 7 |
| Figura 2.3- Representaciones esquemáticas de compuestos reforzados con fibras (a) continuas y alineadas, (b) discontinuas y alineadas y (c) discontinuas y orientadas al azar. | 11 |
| Figura 2.4- Niveles de observación y tipos de análisis para materiales compuestos de fibra discontinua. | 13 |
| Figura 2.5- Estructura a niveles macro-micro y un volumen elemental representativo del nivel micro. | 14 |
| Figura 2.6- Hipótesis de Voigt aplicada en un VER. | 20 |
| Figura 2.7- Hipótesis de Reuss aplicada en un VER. | 22 |
| Figura 2.8- Gráfico representativo para métodos de Voigt y Reuss. | 23 |
| Figura 2.9- Gráfico representativo para métodos de Voigt, Reuss y Hill. | 24 |
| Figura 2.10- Vista superior del VER esquematizando los dos desplazamientos (vertical y horizontal) que debe ser aplicado a los bordes para imponer la deformación de corte (ver puntos A, B, C y D en la figura). | 26 |
| | |
| Figura 3.1- Mediciones realizadas en microscopio Leica EZ4E. | 34 |
| | |
| Figura 4.1- Representación esquemática de las dimensiones de un elipsoide. | 38 |
| Figura 4.2- Cuerpo del VER. | 39 |
| Figura 4.3- Dimensiones del cubo. | 40 |
| Figura 4.4- Mallado del VER. | 40 |
| Figura 4.5- Líneas de división de los nodos y mallado del VER. | 41 |
| Figura 4.6- Mallado de las partículas de Pino radiata. | 41 |
| Figura 4.7- Condiciones de borde actuando en el VER. | 42 |
| Figura 4.8- Desplazamiento en dirección x | 43 |
| Figura 4.9- Desplazamiento en dirección xy | 43 |
| Figura 4.10- Esfuerzos en dirección x | 44 |
| Figura 4.11- Esfuerzos en dirección xy | 44 |
| | |
| Figura 5.1- Resultado de homogeneización en E_{xx} | 48 |
| Figura 5.2- Resultado de homogeneización en E_{yy} | 49 |
| Figura 5.3- Resultado de homogeneización en E_{zz} | 50 |
| Figura 5.4- Resultado de homogeneización en G_{xy} | 51 |
| Figura 5.5- Resultado de homogeneización en G_{xz} | 52 |
| Figura 5.6- Resultado de homogeneización en G_{yz} | 53 |
| Figura 5.7- Resultado de homogeneización en ν_{xy} | 54 |
| Figura 5.8- Resultado de homogeneización en ν_{xz} | 55 |
| Figura 5.9- Resultado de homogeneización en ν_{yz} | 56 |

| | |
|---|----|
| Figura 5.10- Densidad del material compuesto..... | 57 |
| Figura A1.1- Resultado de homogeneización en E_{xx} | 67 |
| Figura A1.2- Resultado de homogeneización en E_{yy} | 67 |
| Figura A1.3- Resultado de homogeneización en E_{zz} | 68 |
| Figura A1.4- Resultado de homogeneización en G_{xy} | 68 |
| Figura A1.5- Resultado de homogeneización en G_{xz} | 69 |
| Figura A1.6- Resultado de homogeneización en G_{yz} | 69 |
| Figura A1.7- Resultado de homogeneización en ν_{xy} | 70 |
| Figura A1.8- Resultado de homogeneización en ν_{xz} | 70 |
| Figura A1.9- Resultado de homogeneización en ν_{yz} | 71 |
| Figura A2.1- Resultado de homogeneización en E_{xx} | 73 |
| Figura A2.2- Resultado de homogeneización en E_{yy} | 73 |
| Figura A2.3- Resultado de homogeneización en E_{zz} | 74 |
| Figura A2.4- Resultado de homogeneización en G_{xy} | 74 |
| Figura A2.5- Resultado de homogeneización en G_{xz} | 75 |
| Figura A2.6- Resultado de homogeneización en G_{yz} | 75 |
| Figura A2.7- Resultado de homogeneización en ν_{xy} | 76 |
| Figura A2.8- Resultado de homogeneización en ν_{xz} | 76 |
| Figura A2.9- Resultado de homogeneización en ν_{yz} | 77 |
| Figura A3.1- SOLID186..... | 78 |

Índice de Tablas

| | |
|---|----|
| Tabla 3.1- Principales características del plástico PET..... | 30 |
| Tabla 3.2- Propiedades mecánicas para PET..... | 30 |
| Tabla 3.3- Propiedades mecánicas utilizadas para PET. | 30 |
| Tabla 3.4- Módulo de elasticidad de Pino radiata | 31 |
| Tabla 3.5- Coeficiente de Poisson de Pino radiata | 31 |
| Tabla 3.6- Densidad de Pino radiata..... | 32 |
| Tabla 3.7- Coeficiente de esbeltez del aserrín por rango de tamaño y proveedor..... | 33 |
| Tabla 3.8- Dimensiones muestras de aserrín | 35 |
| | |
| Tabla 4.1- Formulación de compuestos aserrín-PET | 37 |
| Tabla 4.2- Datos geometría de los elipsoides. | 38 |
| | |
| Tabla 5.1- Resultados de la homogeneización de Voigt | 46 |
| Tabla 5.2- Resultados de la homogeneización de Reuss | 46 |
| Tabla 5.3- Resultados de la homogeneización de Hill | 47 |
| Tabla 5.4- Resultados de la homogeneización periódica | 47 |
| | |
| Tabla A1.1- Resultados método de Voigt. | 66 |
| Tabla A1.2- Resultados método de Reuss. | 66 |
| Tabla A1.3- Resultados método de homogeneización periódica. | 66 |
| | |
| Tabla A2.1- Resultados método de Voigt. | 72 |
| Tabla A2.2- Resultados método de Reuss. | 72 |
| Tabla A2.3- Resultados método de homogeneización periódica. | 72 |

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN