

## TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCION .....	1
2. OBJETIVOS .....	2
2.1. OBJETIVO GENERAL.....	2
2.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS .....	2
2.3. ALCANCE.....	2
3. ANTECEDENTES .....	3
3.1. PLASTICO REFORZADO CON FIBRA DE VIDRIO (PRFV).....	3
3.2. RESINA .....	4
3.3. FIBRA DE VIDRIO.....	4
3.3.1. FIBRAS UNIDIRECCIONALES.....	5
3.3.2. FIBRAS BIDIRECCIONALES.....	7
3.3.3. FIBRAS MULTIDIRECCIONALES .....	8
3.4. PROCESOS DE FABRICACION .....	9
3.4.1. PROCESO MOLDEO MANUAL (HLU) .....	9
3.4.2. PROCESO MOLDEO AUTOMÁTICO (FW).....	11
3.4.3. LAMINADO TIPICO .....	13
3.5. MÉTODO ANALÍTICO .....	14
3.5.1. PROPIEDADES FÍSICAS .....	14
3.5.2. CONSTANTES ELÁSTICAS DE FIBRAS UNIDIRECCIONALES.....	15
3.5.3. CONSTANTES ELÁSTICAS DE FIBRAS BIDIRECCIONALES.....	23
3.5.4. CONSTANTES ELÁSTICAS DE FIBRAS MULTIDIRECCIONALES .....	23
3.5.5. ENSAMBLAJE DE LAMINADOS .....	23
4. METODOLOGIA.....	25
4.1. PLACAS DE PRFV.....	25
4.1.1. MÉTODO MANUAL (HLU).....	25
4.1.2. MÉTODO AUTOMÁTICO (FW).....	26
4.2. MÉTODO EXPERIMENTAL .....	26
4.2.1. FUNCIÓN DE RESPUESTAS EN FRECUENCIA (FRF) .....	27

4.2.2.	FRECUENCIAS NATURALES .....	30
4.2.3.	MODOS DE VIBRACION .....	32
4.3.	MÉTODO ANALÍTICO Y COMPUTACIONAL.....	33
4.3.1.	MEDICION DE PLACAS .....	33
4.3.2.	OBTENCION DE CONSTANTES ELASTICAS .....	34
4.3.3.	MATERIAL EN ANSYS .....	35
4.4.	OPTIMIZACION DE CONSTANTES ELASTICAS.....	36
5.	RESULTADOS .....	37
5.1.	PROPIEDADES FISICAS DE PLACAS DE PRFV .....	37
5.1.1.	PLACA VMM .....	38
5.1.2.	PLACA MMM .....	39
5.1.3.	PLACA TTT .....	40
5.1.4.	PLACA MTM .....	41
5.1.5.	PLACA MTMTM .....	42
5.1.6.	PLACA U0.....	43
5.1.7.	PLACA U45.....	44
5.1.8.	PLACA U55.....	45
5.1.9.	PLACA U65.....	46
5.1.10.	PLACA U75 .....	47
5.1.11.	PLACA U80 .....	48
5.2.	CONSTANTES ELASTICAS DE PLACAS DE PRFV .....	49
5.2.1.	PLACA VMM .....	49
5.2.2.	PLACA MMM .....	51
5.2.3.	PLACA TTT .....	52
5.2.4.	PLACA MTM .....	54
5.2.5.	PLACA MTMTM .....	56
5.2.6.	PLACA U0.....	58
5.2.7.	PLACA U45.....	59
5.2.8.	PLACA U55.....	60
5.2.9.	PLACA U65.....	62
5.2.10.	PLACA U75 .....	63
5.2.11.	PLACA U80 .....	64

5.3.	FRECUENCIAS NATURALES Y MODOS DE VIBRACIÓN .....	66
5.3.1.	PLACA VMM .....	66
5.3.2.	PLACA MMM .....	67
5.3.3.	PLACA TTT .....	67
5.3.4.	PLACA MTM .....	68
5.3.5.	PLACA MTMTM .....	68
5.3.6.	U0 .....	69
5.3.7.	U45 .....	69
5.3.8.	U55 .....	70
5.3.9.	U65 .....	70
5.3.10.	U75 .....	71
5.3.11.	U80 .....	71
5.4.	FRECUENCIAS NATURALES Y MODOS DE VIBRACION OPTIMIZADOS .....	72
5.4.1.	PLACA VMM .....	72
5.4.2.	PLACA MMM .....	73
5.4.3.	PLACA TTT .....	73
5.4.4.	PLACA MTM .....	74
5.4.5.	PLACA MTMTM .....	74
5.4.6.	PLACA U0.....	75
5.4.7.	PLACA U45.....	75
5.4.8.	PLACA U55.....	76
5.4.9.	PLACA U65.....	76
5.4.10.	PLACA U75 .....	77
5.4.11.	PLACA U80 .....	77
5.5.	CONSTANTES ELÁSTICAS .....	78
5.5.1.	PLACA VMM .....	78
5.5.2.	PLACA MMM .....	79
5.5.3.	PLACA TTT .....	79
5.5.4.	PLACA MTM .....	80
5.5.5.	PLACA MTMTM .....	80
5.5.6.	PLACA U0.....	81
5.5.7.	PLACA U45.....	81

5.5.8.	PLACA U55.....	82
5.5.9.	PLACA U65.....	82
5.5.10.	PLACA U75 .....	83
5.5.11.	PLACA U80 .....	83
6.	DISCUCIONES Y COMENTARIOS .....	84
6.1.	PLACA VMM.....	84
6.2.	PLACA MMM.....	84
6.3.	PLACA TTT .....	85
6.4.	PLACA MTM.....	85
6.5.	PLACA MTMTM.....	86
6.6.	PLACA U0 .....	87
6.7.	PLACA U45 .....	87
6.8.	PLACA U55 .....	88
6.9.	PLACA U65 .....	88
6.10.	PLACA U75 .....	89
6.11.	PLACA U80 .....	89
6.12.	GENERAL .....	90
7.	CONCLUSIONES.....	91
8.	BIBLIOGRAFIA .....	92

## INDICE DE TABLAS

Tabla N° 3.1: Propiedades y constantes elásticas de la resina palatal A430.....	3
Tabla N° 3.2: Tipos de Fibras de Vidrio a lo largo de la historia.....	3
Tabla N° 3.3: Propiedades y constantes elásticas de la fibra de vidrio tipo E.....	4
Tabla N° 3.4: Propiedades y constantes elásticas de la fibra de vidrio tipo C.....	4
Tabla N° 4.1: Propiedades físicas y constantes elásticas para definir un material.....	34
Tabla N° 5.1: Dimensiones y pesos de placas en estudio.....	37
Tabla N° 5.2: Propiedades físicas de placa VMM.....	38
Tabla N° 5.3: Propiedades físicas de placa VMM.....	38
Tabla N° 5.4: Propiedades físicas de placa MMM.....	39
Tabla N° 5.5: Propiedades físicas de placa MMM.....	39
Tabla N° 5.6: Propiedades físicas de placa TTT.....	40
Tabla N° 5.7: Propiedades físicas de placa TTT.....	40
Tabla N° 5.8: Propiedades físicas de placa MTM.....	41
Tabla N° 5.9: Propiedades físicas de placa MTM.....	41
Tabla N° 5.10: Propiedades físicas de placa MTMTM.....	42
Tabla N° 5.11: Propiedades físicas de placa MTMTM.....	42
Tabla N° 5.12: Propiedades físicas de placa U0.....	43
Tabla N° 5.13: Propiedades físicas de placa U0.....	43
Tabla N° 5.14: Propiedades físicas de placa U45.....	44
Tabla N° 5.15: Propiedades físicas de placa U45.....	44
Tabla N° 5.16: Propiedades físicas de placa U55.....	45
Tabla N° 5.17: Propiedades físicas de placa U55.....	45
Tabla N° 5.18: Propiedades físicas de placa U65.....	46
Tabla N° 5.19: Propiedades físicas de placa U65.....	46
Tabla N° 5.20: Propiedades físicas de placa U75.....	47
Tabla N° 5.21: Propiedades físicas de placa U75.....	47
Tabla N° 5.22: Propiedades físicas de placa U80.....	48
Tabla N° 5.23: Propiedades físicas de placa U80.....	48
Tabla N° 5.24: Módulos de elasticidad y módulos de corte de velo c.....	49
Tabla N° 5.25: Módulos de poisson de velo c.....	49
Tabla N° 5.26: Módulos de elasticidad y módulos de corte de MAT 450.....	50

Tabla N° 5.27: Módulos de poisson de MAT 450.....	50
Tabla N° 5.28: Módulos de elasticidad y módulos de corte de placa VMM.....	50
Tabla N° 5.29: Módulos de poisson de placa VMM.....	51
Tabla N° 5.30: Módulos de elasticidad y módulos de corte de MAT 450.....	51
Tabla N° 5.31: Módulos de poisson de MAT 450.....	51
Tabla N° 5.32: Módulos de elasticidad y módulos de corte de placa MMM.....	52
Tabla N° 5.33: Módulos de poisson de placa MMM.....	52
Tabla N° 5.34: Módulos de elasticidad y módulos de corte de TELA 800.....	53
Tabla N° 5.35: Módulos de poisson de TELA 800.....	53
Tabla N° 5.36: Módulos de elasticidad y módulos de corte de placa TTT.....	53
Tabla N° 5.37: Módulos de poisson de placa TTT.....	53
Tabla N° 5.38: Módulos de elasticidad y módulos de corte de MAT 450.....	54
Tabla N° 5.39: Módulos de poisson de MAT 450.....	54
Tabla N° 5.40: Módulos de elasticidad y módulos de corte de TELA 800.....	55
Tabla N° 5.41: Módulos de poisson de TELA 800.....	55
Tabla N° 5.42: Módulos de elasticidad y módulos de corte de placa MTM.....	55
Tabla N° 5.43: Módulos de poisson de placa MTM.....	55
Tabla N° 5.44: Módulos de elasticidad y módulos de corte de MAT 450.....	56
Tabla N° 5.45: Módulos de poisson de MAT 450.....	56
Tabla N° 5.46: Módulos de elasticidad y módulos de corte de TELA 800.....	57
Tabla N° 5.47: Módulos de poisson de TELA 800.....	57
Tabla N° 5.48: Módulos de elasticidad y módulos de corte de placa MTMTM.....	57
Tabla N° 5.49: Módulos de poisson de placa MTMTM.....	57
Tabla N° 5.50: Módulos de elasticidad y módulos de corte de UNI 500.....	58
Tabla N° 5.51: Módulos de poisson de UNI 500.....	58
Tabla N° 5.52: Módulos de elasticidad y módulos de corte de placa U0.....	59
Tabla N° 5.53: Módulos de poisson de placa U0.....	59
Tabla N° 5.54: Módulos de elasticidad y módulos de corte de UNI 500.....	59
Tabla N° 5.55: Módulos de poisson de UNI 500.....	59
Tabla N° 5.56: Módulos de elasticidad y módulos de corte de placa U45.....	60
Tabla N° 5.57: Módulos de poisson de placa U45.....	60
Tabla N° 5.58: Módulos de elasticidad y módulos de corte de UNI 500.....	61
Tabla N° 5.59: Módulos de poisson de UNI 500.....	61
Tabla N° 5.60: Módulos de elasticidad y módulos de corte de placa U55.....	61

Tabla N° 5.61: Módulos de poisson de placa U55.....	61
Tabla N° 5.62: Módulos de elasticidad y módulos de corte de UNI 500.....	62
Tabla N° 5.63: Módulos de poisson de UNI 500.....	62
Tabla N° 5.64: Módulos de elasticidad y módulos de corte de placa U65.....	63
Tabla N° 5.65: Módulos de poisson de placa U65.....	63
Tabla N° 5.66: Módulos de elasticidad y módulos de corte de UNI 500.....	63
Tabla N° 5.67: Módulos de poisson de UNI 500.....	63
Tabla N° 5.68: Módulos de elasticidad y módulos de corte de placa U75.....	64
Tabla N° 5.69: Módulos de poisson de placa U75.....	64
Tabla N° 5.70: Módulos de elasticidad y módulos de corte de UNI 500.....	65
Tabla N° 5.71: Módulos de poisson de UNI 500.....	65
Tabla N° 5.72: Módulos de elasticidad y módulos de corte de placa U80.....	65
Tabla N° 5.73: Módulos de poisson de placa U80.....	65
Tabla N° 5.74: Correlación modos de vibración y frecuencias naturales de placa VMM.....	66
Tabla N° 5.75: Correlación modos de vibración y frecuencias naturales de placa MMM.....	67
Tabla N° 5.76: Correlación modos de vibración y frecuencias naturales de placa TTT.....	67
Tabla N° 5.77: Correlación modos de vibración y frecuencias naturales de placa MTM.....	68
Tabla N° 5.78: Correlación modos de vibración y frecuencias naturales de placa MTMTM.....	68
Tabla N° 5.79: Correlación modos de vibración y frecuencias naturales de placa U0.....	69
Tabla N° 5.80: Correlación modos de vibración y frecuencias naturales de placa U45.....	69
Tabla N° 5.81: Correlación modos de vibración y frecuencias naturales de placa U55.....	70
Tabla N° 5.82: Correlación modos de vibración y frecuencias naturales de placa U65.....	70
Tabla N° 5.83: Correlación modos de vibración y frecuencias naturales de placa U75.....	71
Tabla N° 5.84: Correlación modos de vibración y frecuencias naturales de placa U80.....	71
Tabla N° 5.85: Optimización modos de vibración y frecuencias naturales de placa VMM.....	72
Tabla N° 5.86: Optimización modos de vibración y frecuencias naturales de placa MMM.....	73
Tabla N° 5.87: Optimización modos de vibración y frecuencias naturales de placa TTT.....	73
Tabla N° 5.88: Optimización modos de vibración y frecuencias naturales de placa MTM.....	74
Tabla N° 5.89: Optimización modos de vibración y frecuencias naturales de placa MTMTM.....	74
Tabla N° 5.90: Optimización modos de vibración y frecuencias naturales de placa U0.....	75
Tabla N° 5.91: Optimización modos de vibración y frecuencias naturales de placa U45.....	75
Tabla N° 5.92: Optimización modos de vibración y frecuencias naturales de placa U55.....	76
Tabla N° 5.93: Optimización modos de vibración y frecuencias naturales de placa U65.....	76
Tabla N° 5.94: Optimización modos de vibración y frecuencias naturales de placa U75.....	77

Tabla N° 5.95: Optimización modos de vibración y frecuencias naturales de placa U80.....	77
Tabla N° 5.96: Constantes elásticas Computacionales y experimentales de placa VMM.....	78
Tabla N° 5.97: Constantes elásticas Computacionales y experimentales de placa MMM.....	79
Tabla N° 5.98: Constantes elásticas Computacionales y experimentales de placa TTT.....	79
Tabla N° 5.99: Constantes elásticas Computacionales y experimentales de placa MTM.....	80
Tabla N° 5.100: Constantes elásticas Computacionales y experimentales de placa MTMTM.....	80
Tabla N° 5.101: Constantes elásticas Computacionales y experimentales de placa U0.....	81
Tabla N° 5.102: Constantes elásticas Computacionales y experimentales de placa U45.....	81
Tabla N° 5.103: Constantes elásticas Computacionales y experimentales de placa U55.....	82
Tabla N° 5.104: Constantes elásticas Computacionales y experimentales de placa U65.....	82
Tabla N° 5.105: Constantes elásticas Computacionales y experimentales de placa U75.....	83
Tabla N° 5.106: Constantes elásticas Computacionales y experimentales de placa U80.....	83



## INDICE DE FIGURAS

Figura N° 3.1: Estanques de PRFV.....	3
Figura N° 3.2: Formato refuerzo Roving Tex 2200.....	6
Figura N° 3.3: Formato refuerzo UNI 500.....	7
Figura N° 3.4: Formato refuerzo de TELA 800.....	8
Figura N° 3.5: Formato refuerzo MAT 450.....	8
Figura N° 3.6: Formato refuerzo VELO C.....	9
Figura N° 3.7: Ejemplo de “Fittings” de PRFV con el método HLU.....	10
Figura N° 3.8: Ejemplo de “Fittings” de PRFV con el método HLU.....	10
Figura N° 3.9: Ejemplo de Tapa Bombeada con el método HLU.....	11
Figura N° 3.10: Matriz de Filament Winding.....	12
Figura N° 3.11: Máquina de Filament Winding.....	12
Figura N° 3.12: Ductos creados por el proceso Filament Winding.....	12
Figura N° 3.13: Laminado típico de PRFV.....	13
Figura N° 3.14: Ley de Mezclas, caso paralelo a las fibras.....	16
Figura N° 3.15: Ley de Mezclas, caso perpendicular a las fibras.....	17
Figura N° 3.16: Coordenadas en y fuera de ejes principales.....	20
Figura N° 4.1: Esquema general de experimento modal.....	27
Figura N° 4.2: Placa TTT reticulada con 15 nodos.....	27
Figura N° 4.3: Placa TTT en atril de estudio.....	28
Figura N° 4.4: Placa con elásticos y acelerómetro instalado en nodo 4.....	28
Figura N° 4.5: Martillo modal golpeando a placa experimental.....	29
Figura N° 4.6: Detección de un golpe aceptable del martillo modal.....	29
Figura N° 4.7: Detección de un golpe inaceptable del martillo modal.....	30
Figura N° 4.8: FRF entregadas por “Modal Data Acquisition”.....	30
Figura N° 4.9: Esquema de placa en “Femtools”.....	31
Figura N° 4.10: Función de respuesta en frecuencia en “Femtools”.....	31
Figura N° 4.11: Diagrama de estabilidad.....	32
Figura N° 4.12: Ejemplos de modos de vibración de una placa.....	33
Figura N° 4.13: Modo de vibración.....	35
Figura N° 4.14: Modo de vibración experimental y computacional.....	36