

**PROTOTIPO DE CONGLOMERADO DE FIBRAS NATURALES Y POLVILLO DE
FIQUE CON PROPIEDADES TERMOACÚSTICAS**

Francisco Gaviria Jiménez

CORPORACIÓN UNIVERSITARIA COMFACAUCA – UNICOMFACAUCA

FACULTAD DE INGENIERÍAS

PROGRAMA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA

POPAYÁN, CAUCA

2023

**PROTOTIPO DE CONGLOMERADO DE FIBRAS NATURALES Y POLVILLO DE
FIQUE CON PROPIEDADES TERMOACÚSTICAS**

Francisco Gaviria Jiménez

PROYECTO DE GRADO PRESENTADO PARA OPTAR AL TÍTULO DE
INGENIERO MECATRÓNICO

DIRECTOR: MSc JOHN GUERRERO

CO DIRECTOR: Ph. D JAVIER ANDRÉS MUÑOZ CHAVES

CORPORACIÓN UNIVERSITARIA COMFACAUCA – UNICOMFACAUCA

FACULTAD DE INGENIERÍAS

PROGRAMA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA

POPAYÁN, CAUCA

2023

Nota de Aceptación

Presidente del Jurado

Jurado

CONTENIDO

1	PLANTEAMIENTO, DESCRIPCIÓN Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	3
2	JUSTIFICACIÓN.....	5
3	OBJETIVOS	7
3.1	OBJETIVO GENERAL.....	7
3.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	7
4	REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....	11
5	ANTECEDENTES	18
6	MARCO DE REFERENCIA TEÓRICO.....	21
6.1	FIQUE.....	21
6.2	MATRICES ORGÁNICA O POLIMÉRICA.....	22
6.3	MOLDEO POR COMPRESIÓN	22
6.4	CÁMARA TERMOGRÁFICA	22
6.5	MÉTODOS DE PROPAGACIÓN DE CALOR	23
6.5.1	CONDUCCIÓN	23
6.5.2	CONVECCIÓN.....	23
6.5.3	RADIACIÓN	23
6.6	AISLANTE TÉRMICO	23
6.7	PROPIEDADES MECÁNICAS	24
6.7.1	Esfuerzo de tracción.....	24
6.7.2	Esfuerzo de compresión	24
6.7.3	Esfuerzo de flexión	24
6.8	DECIBELES.....	25
6.9	PONDERACIONES DE FRECUENCIAS.....	25
6.10	SONÓMETRO SL814	26
6.11	AISLAMIENTO ACÚSTICO.....	26
6.12	LA GEOMETRÍA EN EL AISLAMIENTO ACÚSTICO	27
6.13	ABSORCIÓN ACÚSTICA	27
6.14	ÍNDICE DE AISLAMIENTO ACÚSTICO	28
6.15	ENERGÍA ACÚSTICA TRANSMITIDA POR UNA PARED	29
6.16	POROSIDAD MÁSCA	29
6.17	CÁMARA ANECOICA O ANECOIDE.....	29

7	METODOLOGÍA DE DISEÑO DEL SISTEMA.....	8
7.1	ETAPA 1 – Etapa de antecedentes	8
7.2	ETAPA 2 – Etapa de conformado.....	10
7.3	ETAPA 3 – Etapa de diseño.....	9
7.4	ETAPA 4 – Etapa de construcción.....	9
7.5	ETAPA 5 – Etapa de validación	10
8	DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE PROTOTIPO DE TERMOFORMADORA POR COMPRESIÓN ...	30
8.1	REQUERIMIENTOS DE DISEÑO DE TERMOFORMADORA POR COMPRESIÓN	30
8.1.1	Fuerza de compresión	30
8.1.2	Temperatura.....	30
8.1.3	Tiempo de ciclo	30
8.1.4	Precisión	30
8.1.5	Sistema de sujeción.....	30
8.1.6	Sistema de enfriamiento	31
8.1.7	Seguridad.....	31
8.1.8	Diseño de moldes.....	31
8.2	DISEÑO DE BOSQUEJOS DE PROTOTIPOS DE MÁQUINAS DE TERMOFORMADO POR COMPRESIÓN	31
8.3	DISEÑO MECÁNICO CAD DE PROTOTIPO DE MÁQUINA DE TERMOFORMADO	32
8.4	SIMULACIÓN DE FUERZAS DE COMPRESIÓN DEL PROTOTIPO DE MÁQUINA DE TERMOFORMADORA.....	32
8.5	REQUISICIÓN DE COMPONENTES CONDUCENTES A PROTOTIPO DE TERMOFORMADORA POR COMPRESIÓN.....	33
8.6	SIMULACIÓN DE MOVIMIENTO DEL PROTOTIPO DE MÁQUINA DE TERMOFORMADO ...	34
8.7	DISEÑO DE PLANOS ELÉCTRICO NEUMÁTICOS DE PROTOTIPO DE TERMOFORMADORA POR COMPRESIÓN.....	36
8.8	CONTROL AUTOMÁTICO	37
8.9	DISEÑO DE PROGRAMA GRAFCET DE PROCESO DE AUTOMATIZACIÓN DE PROTOTIPO DE MÁQUINA DE TERMOFORMADO	38
8.10	TIPOS DE AISLAMIENTO ACÚSTICO	39
8.11	REQUERIMIENTOS DE DISEÑO DE MOLDES DE TERMOFORMADO POR COMPRESIÓN ...	39
8.11.1	Material del molde	39
8.11.2	Diseño de cavidades.....	39
8.11.3	Diseño de la superficie	40

8.11.4	Diseño de canales de enfriamiento	40
8.11.5	Diseño de los sistemas de sujeción	40
8.12	DISEÑO CAD DE PLACAS GEOMÉTRICAS ACÚSTICAS PARA MÁQUINA DE TERMOFORMADO	40
8.13	SIMULACIÓN TÉRMICA DE MOLDES DE TERMOFORMADO POR COMPRESIÓN	42
8.14	REQUISICIÓN DE COMPONENTES CONDUCENTES A TERMOFORMADORA.....	43
9	CONSTRUCCIÓN DE LA MÁQUINA DE TERMOFORMADO	43
9.1	CONSTRUCCIÓN DE CHASIS PRINCIPAL METÁLICO R.....	44
9.2	CONSTRUCCIÓN E INTEGRACIÓN DE CIRCUITO NEUMÁTICO	45
9.3	DRIVER CONTROLADOR DE TEMPERATURA.....	45
9.4	CONSTRUCCIÓN DE PLACAS GEOMÉTRICAS DE TERMOFORMADO	46
9.5	IMPLEMENTACIÓN DE PLACAS DE TERMOFORMADO Y CALIBRACIÓN	49
9.6	IMPLEMENTACIÓN DE ESTRATEGIA DE CONTROL MEDIANTE UN PLC (CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMABLE).....	50
9.7	PROTOTIPO DE MAQUINA DE TERMOFORMADO	50
9.8	ENSAYO PRELIMINAR	51
9.8.1	PRUEBAS FAT	51
9.9	PRUEBAS SAT	53
10	DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE AMBIENTES CONTROLADOS.....	54
11	DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE PROTOTIPO DE CÁMARA ANECOICA	54
11.1	DISEÑO DE BOSQUEJOS DE PROTOTIPOS DE CÁMARA DE PRUEBAS ACÚSTICAS -CÁMARA ANECOICA.....	54
11.2	REQUERIMIENTOS DE DISEÑO DE CÁMARA ANECOICA.....	55
11.3	REQUISICIÓN DE COMPONENTES CONDUCENTES DE PROTOTIPO DE CÁMARA ANECOICA. 56	
11.4	DISEÑO ESTRUCTURAL CAD DE PROTOTIPO DE CÁMARA ANECOICA	56
11.5	PLANOS DE CÁMARA ANECOICA	57
11.6	DISEÑO DE PLANOS ELECTRÓNICOS CÁMARA ANECOICA	57
11.7	CONSTRUCCIÓN DE PROTOTIPO DE CÁMARA ANECOICA R	58
11.8	INTEGRACIÓN ELECTRÓNICA DE CÁMARA ANECOICA.....	59
11.9	ENSAYO PRELIMINAR (CÁMARA ANECOICA)	60
11.10	PRUEBAS FAT	60
12	DISEÑO Y EXPERIMENTACIÓN DE PRUEBAS TÉRMICAS.....	62

12.1	DISEÑO DE BOSQUEJOS DE EXPERIMENTO DE VALIDACIÓN TÉRMICA DE LAS PLACAS DE CONGLOMERADO A BASE DE POLVILLO Y FIBRA DE FIQUE	62
12.2	REQUISICIÓN DE ELEMENTOS CONDUCENTES A LA FABRICACIÓN DE EXPERIMENTO DE PRUEBAS TÉRMICAS	63
12.3	CONSTRUCCIÓN DE EXPERIMENTO DE VALIDACIÓN TÉRMICA	63
12.4	ENSAYO PRELIMINAR DE FUNCIONAMIENTO DEL EXPERIMENTO DE VALIDACIÓN TÉRMICA.....	64
13	RESULTADOS	65
13.1	EXPERIMENTACIÓN PLACAS DE CONGLOMERADO A BASE DE POLVILLO Y FIBRA DE FIQUE	65
13.1.1	PRIMERA RECETA	65
13.1.2	SEGUNDA RECETA	65
13.2	CONGLOMERADO DE FIBRAS NATURALES Y POLVILLO DE FIQUE CON PROPIEDADES TERMOACÚSTICAS.....	66
13.3	EXPERIMENTACIÓN	68
13.3.1	PRIMERAS OBSERVACIONES.....	69
13.3.2	PRUEBA 1 EXITOSA	70
13.3.3	PRUEBA 4 EXITOSA	71
13.3.4	PRUEBAS 6 EXITOSA	72
14	PROTOTIPO DE CONGLOMERADO DE POLVILLO DE FIQUE CON PROPIEDADES TERMOACÚSTICAS.....	73
15	INTEGRACIÓN DE PLACAS GEOMÉTRICAS EN LA TERMOFORMADORA	74
15.1	OBTENCIÓN DE PLACAS PIRAMIDALES.....	74
15.2	OBTENCIÓN DE PLACAS PLANAS	74
16	PRUEBAS DE AISLAMIENTO ACÚSTICO	75
16.1	AISLAMIENTO ACÚSTICO PLACAS PLANAS.....	77
16.2	AISLAMIENTO ACÚSTICO PLACAS PIRAMIDALES	80
17	PRUEBAS DE AISLAMIENTO TÉRMICO	82
17.1	AISLAMIENTO TÉRMICO PLACAS PLANAS	82
17.2	AISLAMIENTO TÉRMICO PLACAS PIRAMIDALES.....	84
18	PRUEBAS MECÁNICAS	87
18.1	ENSAYOS DE FLEXIÓN.....	89
18.2	ENSAYOS DE TENSIÓN (TRACCIÓN).....	90
19	CARACTERIZACIÓN MICROESTRUCTURAL.....	91
19.1	ANÁLISIS DE LA ESTRUCTURA.....	93

20	PRUEBAS DE POROSIDAD MÁSCA	95
21	CONCLUSIONES	98
22	RECOMENDACIONES FUTURAS	100
23	PRESUPUESTO	101
23.1	PRESUPUESTO PROTOTIPO DE MÁQUINA DE TERMOFORMADO	101
23.2	PRESUPUESTO CAJA DE ANECOICA	102
23.3	PRESUPUESTO PARA PROTOTIPO DE PRUEBAS TÉRMICAS.....	102
23.4	RESUMEN GENERAL PRESUPUESTO	103

ÍNDICE DE FIGURAS Y TABLAS

FIGURA 1: PROCESO DE SELECCIÓN PARA OBTENER ESTUDIOS PRIMARIOS.[8].....	13
FIGURA 2: A. PLANTA FIQUE-B. FURCRAEA SP-C. ROLLO ATADO DE FIQUE-SACO DE FIQUE [7]	21
FIGURA 3: TEORÍA MOLDEO POR COMPRESIÓN. RECUPERADO DE: HTTPS://TECNOLOGIADELOSPLASTICOS.BLOGSPOT.COM/2011/10/MOLDEO-POR-COMPRESION.HTML 22	
FIGURA 4: CÁMARA TERMOGRÁFICA FLUKEPTIL20. FUENTE DE: [13]	23
FIGURA 5: GRAFICA DE ESCALA DE DECIBELES. FUENTE: HTTPS://WWW.KNAUF.COM.CO/INDEX.PHP?R=BENEFIT/VIEW&ID=2	25
FIGURA 6 :NIVELES DE PONDERACIÓN DE FRECUENCIA A, C Y Z. FUENTE:[22]	26
FIGURA 7: SONOMETROSL814.FUENTE: HTTPS://VIZYONINDUSTRIAL.COM/SONOMETROS/	26
FIGURA 8: GEOMETRÍA DE AISLANTES ACÚSTICOS COMERCIALES: LINEAL, CÓNICA, TRIANGULAR LINEAL FUENTE: HTTPS://WWW.MUSYCOM.COM.AR/MLA-1167894591-10-PANELES-ACUSTICOS-DECORATIVOS-COLORES-Y-MEDIDAS-MUSYCOM-_JM	27
FIGURA 9 : ENERGÍA ACÚSTICA TRANSMITIDA POR UNA PARED. FUENTE:[24]	29
FIGURA 10: CÁMARA ANECOICA. FUENTE: HTTPS://WWW.ABC.ES/CIENCIA/ABCI-LUGAR-SILENCIOSO-MUNDO-LLEVA-201206190000_NOTICIA.HTML	29
FIGURA 11: MODELO EN V DE LA METODOLOGÍA DE DISEÑO MECATRÓNICO[35]	8
FIGURA 12: BOSQUEJO INICIAL DE PROTOTIPO DE MÁQUINA DE TERMOFORMADO. FUENTE: PROPIA	31
FIGURA 13 : SIMULACIÓN CAD DE PARTES MÁQUINA DE TERMOFORMADO (SOLIDWORKS ®). FUENTE: PROPIA.	32
FIGURA 14: SIMULACIÓN CAD Y TABLA DE PROPIEDADES DE FUERZA MECÁNICA CHASIS PRINCIPAL METÁLICO (SOLIDWORKS ®) (HIERRO FUNDIDO). FUENTE PROPIA.....	33
FIGURA 15: SIMULACIÓN CAE MÁQUINA DE TERMOFORMADO CONSTRUIDA. FUENTE: PROPIA	35
FIGURA 16: CHASIS 2D (CAD) MÁQUINA DE TERMOFORMADO. FUENTE: PROPIA	35
FIGURA 17 : CHASIS 3D (CAD) MÁQUINA DE TERMOFORMADO CON CHASIS. FUENTE: PROPIA	36
FIGURA 18: CIRCUITO ELECTRONEUMÁTICO DE MÁQUINA DE TERMO FORMADORA CAD FLUID SIM. FUENTE: PROPIA.....	37
FIGURA 19: DIAGRAMA DE CONTROL PI DE TEMPERATURA RECUPERADO DE: HTTPS://CONTROLAUTOMATICOEDUCACION.COM/CONTROL-REALIMENTADO/CONTROLADOR-PI-POR-ASIGNACION-DE-POLOS/	38
FIGURA 20: DISEÑO DE PROCESO DE CONTROL (GRAFCET). FUENTE: PROPIA.	38
FIGURA 21:PLACA MACHO PLANA. FUENTE: PROPIA.	40
FIGURA 22:PLACA HEMBRA PLANA. FUENTE: PROPIA.	41
FIGURA 23:PLACA HEMBRA TRIANGULAR. FUENTE: PROPIA.	41
FIGURA 24:PLACA HEMBRA PIRAMIDAL. FUENTE: PROPIA.....	41
FIGURA 25:SIMULACIÓN DE PROCESO DE FABRICACIÓN CNC CAM. FUENTE: PROPIA.....	42
FIGURA 26: FRESADORA CNC MÁSTER CNC 1060	42
FIGURA 27:SIMULACIÓN TÉRMICA DE MOLDES DE TERMOFORMADO POR COMPRESIÓN	43
FIGURA 28: DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROCESO DE CONSTRUCCIÓN. FUENTE PROPIA.....	44
FIGURA 29: CHASIS PRINCIPAL METÁLICO.	44
FIGURA 30:INTEGRACIÓN DE CIRCUITO NEUMÁTICO CON PISTONES.....	45
FIGURA 31: A DRIVER CONTROLADOR DE TEMPERATURA: (MAXTHERMO ® MC5853) – B DIAGRAMA DE CONEXIONES DRIVER DE CONTROLADOR DE TEMPERATURA (MAXTHERMO ® MC5853). FUENTE MAXTHERMO ®	46
FIGURA 32:PROCESO FABRICACIÓN CAM MDF (FRESA CNC). FUENTE PROPIA.....	47
FIGURA 33: A FABRICACIÓN CAM (FRESA CNC) - B MOLDES DE TERMOFORMADO FABRICADAS EN MDF: FUENTE PROPIA.	47
FIGURA 34:PLACAS DE TERMOFORMADO FABRICADAS EN ALUMINIO.....	48

FIGURA 35 : A IMPLEMENTACIÓN DE RESISTENCIA A PLACA DE TERMOFORMADO – B IMPLEMENTACIÓN DE TERMOCUPLA	49
FIGURA 36:IMPLEMENTACIÓN DE PLACAS A MÁQUINA DE TERMOFORMADO	49
FIGURA 37: INTERFAZ GRÁFICA DE PROCESO DE CONTROL (GRAFCET). (SIMATIC HMI SIEMENS). FUENTE: PROPIA.....	50
FIGURA 38:PROTOTIPO DE TERMO FORMADORA POR COMPRESIÓN. FUENTE: PROPIA.	51
FIGURA 39:PRUEBA DE COMPRESIÓN. FUENTE: PROPIA.....	52
FIGURA 40:TEMPERATURA TOMADA CON TERMÓMETRO.....	52
FIGURA 41 :PRUEBAS DE TEMPERATURAS.....	53
FIGURA 42: TIEMPOS DE COMPRESIÓN INTERFAZ GRÁFICA Y TIEMPOS OBTENIDOS EN CRONOMETRO.	53
FIGURA 43: BOCETO DE PROTOTIPO DE CÁMARA ANECOICA. FUENTE: PROPIA.....	55
FIGURA 44: DISEÑO SECCIONADO DEL EXPERIMENTO “CAJA DE PRUEBAS SONORAS”. FUENTE: PROPIA.	56
FIGURA 45:CÁMARA ANECOICA DXF. FUENTE: PROPIA.	57
FIGURA 46:DIAGRAMA CIRCUITO DE AMPLIFICACIÓN CÁMARA ANECOICA FRITZING ®. FUENTE: PROPIA... 58	
FIGURA 47 : A: PARTES SECCIONADAS EN ACRÍLICO DE LA CÁMARA ANECOICA, B: CÁMARA ANECOICA CONSTRUIDO. FUENTE: PROPIA.....	59
FIGURA 48: CAJA CON PARLANTES POSICIONADOS Y AMPLIFICADORES PAM 8403.....	59
FIGURA 49: CÁMARA ANECOICA TERMINADA CON SIMULACIÓN DE ESPACIO DE AISLAMIENTO	60
FIGURA 50: CÁMARA ANECOICA VACÍA	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.
FIGURA 51: BOCETOS DE EXPERIMENTO DE PRUEBAS TÉRMICAS.....	62
FIGURA 52:DIAGRAMA DE MODIFICACIÓN PARA EXPERIMENTO DE PRUEBAS TÉRMICAS	63
FIGURA 53 :TERMOGRAFÍA ESTÁNDAR DE TEMPERATURA DE EMISIÓN BASE	64
TABLA 9: PRIMERA RECETA “ECOWOODS”. FIGURA 54: PLACA COMPACTADA RECETA # 1.....	65
TABLA 10: SEGUNDA RECETA “ECO WOODS”. FIGURA 55: SEGUNDA RECETA A VALIDAR.....	66
FIGURA 56: DESECHOS DE PRODUCCIÓN DE SACOS DE FIQUE	67
FIGURA 57:TAMIZ METÁLICO. POLVILLO Y FIBRA DE FIQUE USADO EN EL CONGLOMERADO	67
FIGURA 58 :DIAGRAMA DE EXPERIMENTACIÓN DE CONGLOMERADO A BASE DE POLVILLO Y FIBRA DE FIQUE	69
FIGURA 59: PRIMERAS IMPRESIONES	70
TABLA 11:RECETA PLACA PRUEBA 1 EXITOSA. FIGURA 60: PRUEBA 1 EXITOSA: CONGLOMERADO DE POLVILLO DE FIQUE.....	71
TABLA 12: RECETA PLACA PRUEBA 4 EXITOSA. FIGURA 61: PRUEBA 4	72
TABLA 13: RECETA 4 PLACA PRUEBA 6 EXITOSA. FIGURA 62: PRIMERA PLACA UNIFORME Y RECETA	73
FIGURA 63: PLACAS DE CONGLOMERADO Y POLVILLO DE FIQUE CON GEOMETRÍA(PIRAMIDAL).....	74
FIGURA 64:PLACAS DE CONGLOMERADO Y POLVILLO DE FIQUE SIN GEOMETRÍA(PLANAS)	75
FIGURA 65: PROCESO DE PRUEBAS ACÚSTICAS.....	75
FIGURA 66: PRUEBA PLACAS PLANAS	77
FIGURA 67: GRAFICA DE IAA DE PLACAS PLANAS FUENTE: PROPIA.....	79
FIGURA 68 : PRUEBAS ACÚSTICAS EN ACAMARA ANECOICA (PLACAS PIRAMIDALES)	80
FIGURA 69: GRAFICA DE IAA DE PLACAS TRIANGULARES FUENTE: PROPIA	81
FIGURA 70: TEMPERATURA DE ESTÁNDAR DE PLACA PLANA.....	82
FIGURA 71.: TEMPERATURA PLACA PLANA A LOS 5 MINUTOS.....	83
FIGURA 72:TEMPERATURA PLACA PLANA A LOS 10 MINUTOS	84
FIGURA 73: TEMPERATURA DE ESTÁNDAR DE PLACA TRIANGULAR.....	85
FIGURA 74: TEMPERATURA PLACA TRIANGULAR A LOS 5 MINUTOS.....	85
FIGURA 75: TEMPERATURA TRIANGULAR A LOS 10 MINUTOS.....	86
FIGURA 76: PALETA DE PRUEBAS MECÁNICAS.....	88
FIGURA 77: PROBETAS DE PRUEBAS MECÁNICAS.....	88

FIGURA 78 : MAQUINA UNIVERSAL DE ENSAYOS (MUE)	89
FIGURA 79: ENSAYO DE FLEXIÓN PROBETAS A BASE DE POLVILLO Y FIBRA DE FIQUE	89
FIGURA 80 : A). GRAFICA DE ESFUERZO Y DEFORMACIÓN PLACA A BASE DE POLVILLO Y FIBRA DE FIQUE. B). FOTOGRAFÍA ENSAYO DE TENSIÓN. FUENTE PROPIA	90
FIGURA 81: MICROSCOPIA DE POLVILLO DE FIQUE	92
FIGURA 82: (MEB) MICROFIBRAS DE FIQUE	92
FIGURA 83: PARTÍCULAS DE ALMIDÓN DE YUCA	93
FIGURA 84:GRÁNULOS DE ALMIDÓN CORTE TRANSVERSAL CONGLOMERADO DE POLVILLO DE FIQUE	93
FIGURA 85: POROS EN PLACAS DE CONGLOMERADO Y POLVILLO DE FIQUE	94
FIGURA 86: AGLUTINACIONES CON POROS Y ALMIDÓN SE YUCA	94
 TABLA 1:CADENAS DE BÚSQUEDA UTILIZADAS. FUENTE PROPIA.....	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.
TABLA 2:RESULTADOS ARROJADOS POR LAS FUENTES BIBLIOGRÁFICAS. FUENTE: PROPIA.....	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.
TABLA 3.RESULTADOS DE CADA ESTUDIO PRIMARIO CON RESPECTO A LOS CRITERIOS DE EVALUACIÓN DE CALIDAD. FUENTE PROPIA.....	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.
TABLA 4 : COMPONENTES DE IMPLEMENTACIÓN DE PROTOTIPO DE MÁQUINA DE TERMOFORMADO	34
TABLA 5:ENTRADAS Y SALIDAS PLC. FUENTE: PROPIA.	39
TABLA 6: COMPONENTES CONDUCENTES A LA CONSTRUCCIÓN DE PROTOTIPO DE CÁMARA ANECOICA.....	56
TABLA 7: PRUEBAS SAT EN DECIBELES DE CÁMARA VACÍA. FUENTE: PROPIA .	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.
TABLA 8: MATERIALES DE EXPERIMENTO DE PRUEBAS TÉRMICAS	63
TABLA 9: PRIMERA RECETA “ECOWOODS”. FIGURA 54: PLACA COMPACTADA RECETA # 1.....	65
TABLA 10: MATERIALES PRINCIPALES PLACAS A BASE DE POLVILLO Y FIBRA DE FIQUE	68
TABLA 11:RECETA PLACA PRUEBA 1 EXITOSA. FIGURA 60: PRUEBA 1 EXITOSA: CONGLOMERADO DE POLVILLO DE FIQUE	71
TABLA 12: RECETA PLACA PRUEBA 4 EXITOSA. FIGURA 61: PRUEBA 4	72
TABLA 13: RECETA 3 PLACA PRUEBA 6 EXITOSA. FIGURA 62: PRIMERA PLACA UNIFORME Y RECETA	73
TABLA 14: RETA BASE “PLACAS DE POLVILLO Y FIBRA DE FIQUE CON PROPIEDADES TERMOACÚSTICA”	73
TABLA 15 : ESTUDIOS ACÚSTICOS GENERADOS POR EMPRESA CONTRATADA POR EMPAQUES DEL CAUCA S.A.....	76
TABLA 16: DATOS DE IAA DE PLACAS PLANAS FUENTE: PROPIA	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.
TABLA 17: IAA DE PLACAS TRIANGULARES FUENTE: PROPIA.....	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.
TABLA 18: CARACTERÍSTICAS DE TERMOGRAFÍA FIGURA 70.....	82
TABLA 19: CARACTERÍSTICAS DE TERMOGRAFÍA FIGURA 72	83
TABLA 20: CARACTERÍSTICAS DE TERMOGRAFÍA FIGURA 72.....	84
TABLA 21 : CARACTERÍSTICAS DE TERMOGRAFÍA FIGURA 73.....	85
TABLA 22: CARACTERÍSTICAS DE TERMOGRAFÍA FIGURA 74	86
TABLA 23: CARACTERÍSTICAS DE TERMOGRAFÍA FIGURA 75	86
TABLA 24:DATOS DE PRUEBAS TÉRMICAS.....	87
TABLA 25: ENSAYOS DE TRACCIÓN PLACAS A BASE DE POLVILLO Y FIBRA DE FIQUE	91
TABLA 26: MEDIDAS DE PLACAS	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.
TABLA 27: MEDIDAS PLACAS TRIANGULARES.....	96
TABLA 28: MEDIDAS PLACAS PLANAS HÚMEDA	96
TABLA 29: MEDIDAS PLACAS TRIANGULARES HÚMEDAS.....	97
TABLA 30: PRESUPUESTO DE PROTOTIPO DE MÁQUINA DE TERMOFORMADO	101
TABLA 31: PRESUPUESTO DE PROTOTIPO DE CAJA ANECOICA	102
TABLA 32: PRESUPUESTO DE PROTOTIPO DE CAJA DE PRUEBAS TÉRMICAS	102
TABLA 33: PRESUPUESTO RESUMEN GENERAL DE PRESUPUESTO	103

RESUMEN

La empresa Empaques del Cauca S.A durante el proceso productivo en la fabricación de sacos de fique, evidencia la generación de niveles altos de ruido ambiental acorde a un estudio privado de caracterización de ruido realizado con anterioridad por una empresa externa especializada; además, también se genera grandes toneladas de un residuo biodegradable no aprovechado. La presente investigación detalla el diseño, construcción y estudio de validación de un prototipo de conglomerado biodegradable a base de polvillo y fibras de fique, sustentado bajo la metodología de diseño mecatrónico, obteniendo el procesamiento y la caracterización de la matriz del material biodegradable conformado, la generación CAD-CAM de un molde de termoformado, la creación de un prototipo de máquina de termoformado por compresión junto con sus componentes de instrumentación, control e integración de los elementos hardware y software. Lo expuesto, tiene como resultado la obtención de placas de conglomerado a base de polvillo y fibras de fique, con la validación de propiedades termoacústicas y mecánicas que podrán contribuir con el aislamiento del ruido y de las condiciones térmicas en una nave industrial.

Para este fin, se analizan los estudios de ruido y temperatura generados en el proceso productivo de sacos de fique en la empresa Empaques del Cauca S.A, los cuales sirven de base para la validación del prototipo de la placa termoacústica en ambientes controlados, mediante la implementación de un prototipo de cámara anecoica y un experimento de validación térmica. En paralelo se estudian las propiedades mecánicas, propiedades termoacústicas y la nanoestructura del material por medio de microscopía electrónica de barrido del prototipo de material biodegradable generado.

Palabras clave: Fibras de fique, polvillo de fique, acústica, insonorización, conglomerado, termoformado.

ABSTRACT

The company Empaques del Cauca S.A during the production process in the manufacture of fique bags, the generation of high levels of environmental noise is evident according to a private noise characterization study carried out previously by a specialized external company; In addition, large tons of unused biodegradable waste are also generated. The present investigation details the design, construction and validation study of a biodegradable conglomerate prototype based on dust and fique fibers, supported by the mechatronic design methodology, obtaining the processing and characterization of the matrix of the biodegradable material formed, the CAD-CAM generation of a thermoforming mold, prototyping of a compression thermoforming machine in its instrumentation, control and integration components of hardware and software elements. The above results in obtaining conglomerate plates based on dust and fique fibers, with the validation of thermoacoustic and mechanical properties that may contribute to the insulation of noise and thermal conditions in an industrial warehouse.

For this purpose, the noise and temperature studies generated in the production process of fique bags in the company Empaques del Cauca S.A are analyzed, which serve as the basis for the validation of the prototype of the thermoacoustic plate in controlled environments, through the implementation of a prototype anechoic chamber and a thermal validation experiment. In parallel, the mechanical properties, thermoacoustic properties and the nanostructure of the material are studied by means of scanning electron microscopy of the generated biodegradable material prototype.

1 PLANTEAMIENTO, DESCRIPCIÓN Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

La contaminación auditiva en los centros urbanos de todo el mundo es un gran problema para la salud humana. Según la organización mundial de la salud (OMS) se estima que actualmente 1500 millones de personas presentan algún grado de pérdida auditiva que podría elevarse para 2050 a casi 2500 millones, de las cuales al menos 700 millones necesitarán servicios de rehabilitación (Organización Mundial de la salud & Organización Panamericana de la salud, 2021b).[1]

En este sentido, se considera que la exposición a sonidos intensos pone a niños y a adultos en riesgo no solo de pérdida de audición. si no, de numerosos problemas de salud causados por el ruido e insomnio. Según el informe mundial sobre la audición, la exposición a sonidos superiores a 80dB durante periodos superiores a 40 horas a la semana, provoca pérdida de audición al dañar las células ciliadas sensoriales del oído interno. Cuanto mayor sea el sonido y duración mayor será la pérdida auditiva (Organización Mundial de la salud & Organización Panamericana de la salud, 2021a).[1]

En entornos laborales los ruidos siguen siendo un problema en todas las regiones del mundo, tanto que, solo en Estados Unidos más de 30 millones de trabajadores están expuestos a niveles peligrosos de ruido. La agencia europea para la seguridad y salud en el trabajo, estima que el alrededor del 30% de los trabajadores en Europa están expuestos a un nivel alto de ruido. En otras partes del mundo hay pocos datos sobre la perdida de la audición causada por el ruido, pero la información suministrada indica niveles de ruido superiores a los recomendados. Adicionalmente, se afirma que la creciente industrialización da la posibilidad que los casos aumenten, ya que en estos lugares no siempre son acompañados con la protección necesaria (Organización Mundial de la salud & Organización Panamericana de la salud, 2021a)[1]

En Colombia existe la resolución 8321 del 4 de agosto de 1983, en la cual se plantean una serie de normas para la protección y conservación de la audición y bienestar de las personas, a causa de la producción y emisión de ruidos inicialmente, (Ministerio de Salud, 1983)[2]. Aquí se resalta el capítulo II “DEL RUIDO AMBIENTAL Y SUS MÉTODOS DE MEDICIÓN” donde en el artículo 17 se muestran los niveles sonoros máximos permitidos en distintas zonas receptoras, así en la zona III industrial, durante el periodo diurno y nocturno, se permite un nivel de presión sonora de 75 dB (A), por otro lado también el CAPITULO V “ PROTECCIÓN Y CONSERVACIÓN DE LA AUDICIÓN, POR LA EMISIÓN DE RUIDO EN LOS LUGARES DE TRABAJO”(Ministerio de Salud, 1983)[2], iniciando desde el artículo 41, se plantean los valores de ruido diario a los cuales no debe ser sometidos los trabajadores. Donde Iniciando desde los 15 minutos o menos se tiene una presión sonora de 115 dB (A) y descendiendo gradualmente hasta las 8 horas con 90 dB (A) (Felipe & Domínguez, 2018)[3].

En el caso de estudio de la empresa Empaques del Cauca S.A., el proceso productivo para la fabricación de sacos de fique presenta una necesidad y problemática identificada en un estudio previo contratado por la misma empresa, esta problemática se relaciona con los niveles mínimos permitidos de ruido en Colombia, según lo establecido en la Resolución 8321 [3], la cual busca proteger y conservar la audición y el bienestar de las personas. Adicionalmente, durante el proceso productivo se genera un subproducto de polvillo de fique, el cual actualmente es considerado un residuo no aprovechable y es desechado sin generar un valor agregado para la empresa.

Teniendo en cuenta los problemas anteriormente mencionados, es importante desarrollar una solución ingenieril que permita aprovechar de manera eficiente el residuo de polvillo de fique del proceso productivo de sacos de fique. Teniendo en cuenta estudios sobre posibles propiedades termoacústicas de desechos biodegradable (Rozo Restrepo et al., 2018) (Muñoz Muñoz & Gerardo Cabrera, 2007)[4], [5], se ha orientado la investigación a la reducción del ruido y aprovechamiento del material particulado. Por esta razón, se propone generar un material de conglomerado biodegradable a base de polvillo de fique con propiedades termoacústicas, que contribuya al cumplimiento de las normas nacionales de seguridad y salud en el trabajo para el proceso productivo de sacos de fique en la empresa empaques del cauca S.A de la ciudad de Popayán.

Considerando los planteamientos anteriores, surge la siguiente pregunta de investigación ¿Cómo generar un material conglomerado biodegradable a base de polvillo de fique con propiedades termoacústicas que contribuya a la mitigación del ruido y aprovechamiento de los subproductos industriales derivados del proceso productivo de la transformación del fique en la empresa Empaques del Cauca S.A?

2 JUSTIFICACIÓN

La cabuya es la fibra natural por excelencia en Colombia, esta proviene de la hoja de fique la cual tiene su origen en la América tropical. Según CORPOICA ahora AGROSAVIA”, desde 1995 el interés de los países desarrollados por el uso de los recursos naturales renovables y su aplicación en productos de etiqueta verde, ha girado de nuevo a el uso de fibras naturales” donde países como Alemania y Canadá trabajan arduamente en subproductos a base de fibras naturales, remplazando los materiales a base de polímeros y contribuyendo con el cuidado del medio ambiente (Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial & Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, 2006)[6].

En el proceso de fabricación de costales de fique, se producen muchos residuos tanto sólidos como líquidos. La materia prima usada es la planta de fique la cual consiste en 30% de fibrilla y un 70% de pulpa vegetal; del proceso de desfibrado queda un 96% de residuos (bagazo) y subproductos, que generalmente son desaprovechados. En Colombia se estima una producción de 18.326 toneladas de cabuya de fique donde en el departamento del Cauca, primero en producción a nivel nacional con un 40%, se producen 7.338 toneladas de cabuya de fique al año, estimando unas 176.111 toneladas de bagazo desechado y desperdiciado. (Echeverri E et al., 2015)[7]

Al lavar la cabuya de fique se presentan combinaciones fisicoquímicas observadas en los jugos residuales, donde en su mayoría generan muchas consecuencias negativas para la biodiversidad de las regiones en que se ejecuta este proceso, más adelante, la cabuya de fique se procesa a más profundidad, donde solo se usan las fibras más largas y fuertes. En el proceso de tratado, cocido e hilado se generan kilos de residuos mezclados entre fibras de fique y polvillo de fique, este residuo es considerado un desecho industrial y por su pequeña carga química que aún posee, es clasificado como un residuo biológico que no puede ser desechado como un objeto común, generando costos grandes en sus procesos de recolección y desecho. (Echeverri E et al., 2015; Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial & Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, 2006)[6], [7]

Esta problemática no es ajena a los procesos productivos en el interior de la empresa Empaques del Cauca S.A, donde adicionalmente se ha identificado, en la fabricación de sacos de fique altos niveles de ruido y material particulado nocivos para los funcionarios y operarios de la empresa.

Por lo tanto, se busca generar ideas donde se aproveche cualquier residuo generado en el proceso, como es el caso del polvillo de fique, este se genera en grandes cantidades y así mismo es desechado sin mayor análisis de sus propiedades o algún proceso de transformación.

Según la “guía ambiental del subsector fiquero” (Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial & Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, 2006)[6], en la actualidad el polvillo de fique no tiene muchos usos secundarios y mucho menos se

usa en procesos que permitan un aislamiento termoacústico. Fundamentado en la necesidad de controlar el sonido en sectores industriales o uso del bien común, se plantea generar placas de conglomerado biodegradable a base del polvillo de fique con características termoacústicas, en primera instancia para atenuar el ruido al interior de la empresa, que lleven al cumplimiento de la norma 8321. Adicionalmente, a futuro se espera generar un nuevo producto en el portafolio de la empresa Empaques del Cauca S.A que contribuya al sector de la construcción o acondicionamiento de la infraestructura física de las empresas del sector productivo de la región.

3 OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GENERAL

- ✓ Desarrollar un prototipo de pieza de conglomerado y/o material aislante termoacústico con base en residuos de polvillo y fibra de fique generados en el proceso productivo de sacos de fique en la empresa Empaques del Cauca S.A.

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- ✓ Obtener un prototipo de material conglomerado a partir de polvillo y fibra de fique.
- ✓ Conformar placas del material conglomerado a partir de un sistema de termoformado por compresión con moldes geométricos usando polvillo y fibra de fique.
- ✓ Validar las propiedades termoacústicas y mecánicas del prototipo de material conglomerado en un ambiente controlado mediante una cámara acústica, una cámara térmica y una máquina universal de ensayos.

4 METODOLOGÍA DE DISEÑO DEL SISTEMA

El desarrollo del prototipo de máquina termoformadora por compresión, está basado en la metodología de diseño mecatrónico, la cual comprende un proceso iterativo y colaborativo, que involucra la definición de los requisitos del sistema, la identificación de los componentes hardware y software, la selección de materiales, la realización de análisis detallados, la creación de prototipos y pruebas, y la integración de los componentes en un sistema funcional, considerando factores como la eficiencia energética, la seguridad y la fiabilidad del sistema [34]. La figura 11, presenta el modelo en V para el diseño de sistemas mecatrónicos [35]

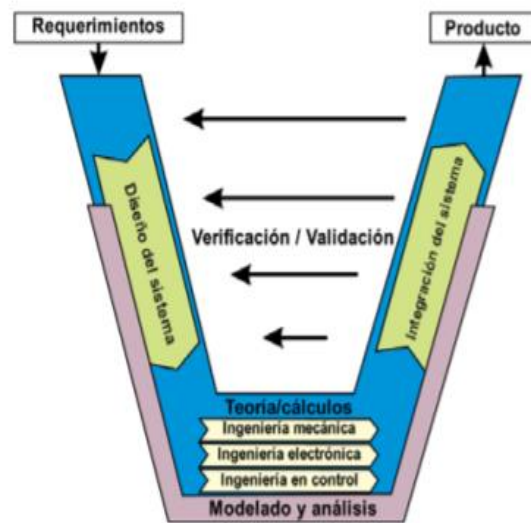


FIGURA 1: Modelo en V de la metodología de diseño mecatrónico[35]

4.1 ETAPA 1 – Revisión bibliográfica y antecedentes

Actividad 1: Investigar antecedentes

- **Método:** Consulta en bases de datos científicas como: Google Scholar, Scopus, Science Direct, etc
- **Producto a obtener:** Creación de repositorio digital con documentos de interés clasificados

Actividad 2: Clasificación y ponderación en diagrama comparativo de la información de interés clasificada.

- **Método:** Consulta en bases de datos de patentes de innovaciones e investigaciones relacionadas al polvillo de fique.
- **Producto a obtener:** Creación de repositorio digital con documentos de interés clasificados

4.2 ETAPA 2 – Etapa de diseño

Actividad 1: Bosquejos de los prototipos (termo formadora por compresión, cámara anecoica, cámara de pruebas térmicas)

- **Método:** Dibujo de ingeniería
- **Producto a obtener:** Modelado grafico del prototipo de termoformadora acorde con los requerimientos termoacústicos a ser evaluados

Actividad 2: Diseño CAD de prototipos

- **Método:** Uso de programas CAD (SolidWorks)
- **Producto a obtener:** Modelado físico de los prototipos

Actividad 3: Movimiento y fiabilidad estructural

- **Método:** Análisis por elementos finitos (CAE)
- **Producto a obtener:** Simulación CAE de ingeniería de precisión

4.3 ETAPA 3 – Etapa de construcción

Actividad 1: Diseño de proceso de automatización (termoformadora por compresión)

- **Método:** Diseño y simulación de programa (Grafcet) de proceso de automatización
- **Producto a obtener:** Estrategia de control mediante un PLC (controlador lógico programable)

Actividad 2: Construcción de prototipos (termoformadora por compresión, cámara anecoica, cámara de pruebas térmicas)

- **Método:** Identificar, simular y ensamblar componentes hardware y software
- **Producto a obtener:** Prototipos funcionales

Actividad 3: Construcción de prototipos de moldes geométricos para máquina de termoformado

- **Método:** Identificar geometrías de placas termoacústicas y simular componente hardware
- **Producto a obtener:** Moldes de termoformado por compresión

4.4 ETAPA 4 – Etapa de conformado

Actividad 1: Materia prima

- **Método:** Recolección
- **Producto a obtener:** Residuos de proceso de construcción de sacos de fique

Actividad 2: Tamizado de residuos de fique

- **Método:** Tamiz
- **Producto a obtener:** Polvillo de fique

Actividad 3: Matriz de conglomerado

- **Método:** Técnicas de manejo de conglomerado
- **Producto a obtener:** Ruta de síntesis del conglomerado
-

4.5 ETAPA 5 – Etapa de validación

Actividad 1: Caracterización de propiedades mecánicas (placas a base de conglomerado de polvillo de fique)

- **Método:** Estudio en máquina universal de ensayos mecánicos
- **Producto a obtener:** Curvas de esfuerzo-deformación

Actividad 2: Caracterización de propiedades acústicas de las placas a base de conglomerado de polvillo de fique

- **Método:** Estudio en prototipo de cámara anecoica
- **Producto a obtener:** Datos cuantificables acerca de las propiedades acústicas del material

Actividad 3: Caracterización de propiedades térmicas de las placas a base de conglomerado de polvillo de fique

- **Método:** Estudio en prototipo de cámara de pruebas térmicas
- **Producto a obtener:** Datos cuantificables acerca de las propiedades térmicas del material

5 REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

En este apartado, se lleva a cabo una búsqueda en diversas bases de datos bibliográficas para encontrar artículos en inglés y español publicados entre el año 2000 y 2022 que trataran sobre estrategias o propuestas para aprovechar de manera secundaria el fique y sus derivados, prestando especial atención a las posibles propiedades acústicas, térmicas y mecánicas que pudieran presentar.

Así, para este fin se utiliza la base de datos de Google Scholar. Cabe resaltar que el motor Google Scholar recopila estudios que pueden ser encontrados en diversas bases de datos bibliográficas, es sencilla y precisa, arrojando resultados de búsqueda más eficaces. La lista de palabras clave usadas para encontrar relación con la pregunta problema de investigación propuesta son: “fique”, “aislamiento térmico”, “aislamiento acústico”, “conglomerados”.

Tomando la lista de palabras claves como punto de partida y haciendo combinaciones de conectores lógicos como “AND” y “OR”, se generaron 2 cadenas de búsqueda, ver tabla 1.

La primera cadena de búsqueda permite encontrar investigaciones que se centran en las formas de producir y utilizar la cabuya de fique. La segunda cadena de búsqueda, por su parte, permite encontrar estudios o proyectos que se enfocan en el uso del fique y sus residuos para fines termoacústicos.

Tabla 1: Cadenas de búsqueda utilizadas. Fuente propia.

Numero	Cadena de búsqueda
1	usos de bagazo” OR “usos y producción de fibra de fique”) AND (“” OR “conglomerados a base de fique ”)
2	(“”fique” AND “ thermal isolation ” AND “ acoustic isolation ” AND “ conglomerates ””)

La selección de artículos para la revisión se lleva a cabo siguiendo el diagrama de la figura 1, el cual está compuesto por seis fases que se detallan a continuación:

Búsqueda en las bases de datos

Al establecer las fuentes bibliográficas necesarias, se crean secuencias de búsqueda que incluyen palabras clave y sus equivalentes sinónimos, y posteriormente se aplican estas secuencias a cada motor de búsqueda de fuentes bibliográficas.

Eliminar estudios repetidos

Después de realizar la búsqueda de estudios, puede haber resultados repetidos o redundantes, por lo que es necesario eliminarlos. Una vez eliminados, los estudios se almacenan en un gestor de referencias bibliográficas.

Selección de estudios primarios

Se aplicaron los criterios de inclusión y exclusión mencionados en la sección "Criterios de selección" (se leyó el título, resumen, introducción y conclusión si es necesario) para extraer el artículo principal de entre los encontrados. Los estudios principales fueron guardados posteriormente.

Selección final

Después de haber guardado cada estudio principal, se procede a leerlos por completo.

Eliminar inquietudes

Si existen preguntas o preocupaciones después de la lectura de los estudios, se busca la ayuda de un especialista en el tema para tratar de aclarar cualquier discrepancia.

Evaluación de calidad.

Se evalúan y clasifican los estudios primarios según los criterios de evaluación de calidad que se describirán en la sección de Criterios de evaluación de calidad, para garantizar una evaluación adecuada de los estudios primarios.

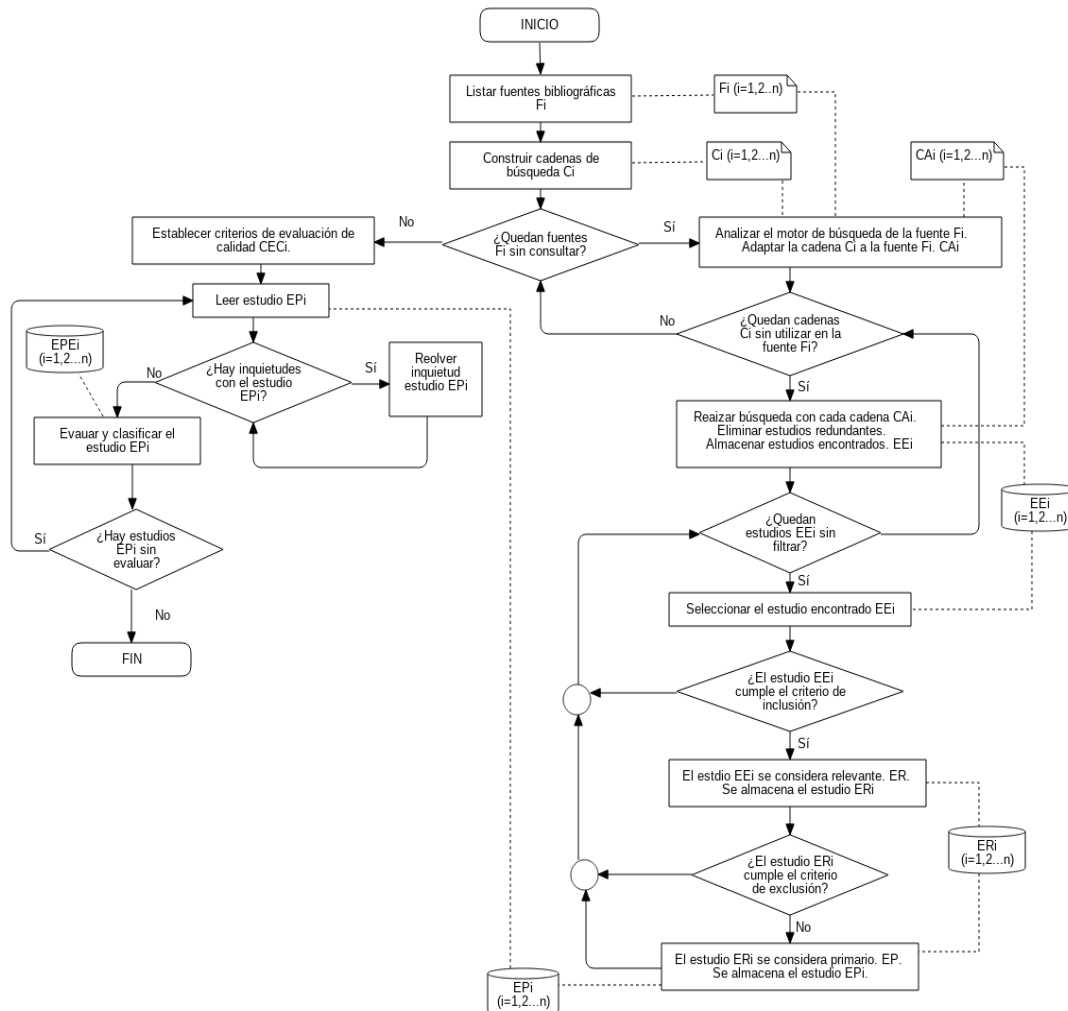


FIGURA 2:Proceso de selección para obtener estudios primarios.[8]

Criterios de selección

Durante la etapa de planificación de esta investigación, una actividad fundamental es la determinación de los criterios de inclusión y exclusión. Estos criterios son esenciales para ayudar a los investigadores a seleccionar los artículos adecuados y, además, se emplean para limitar el número de artículos a analizar.

El proceso de selección de estudios relevantes está basado en el análisis del título, resumen y palabras clave de los artículos obtenidos en la búsqueda, con el objetivo de determinar si están relacionados con el "Prototipo de conglomerado de fibras naturales y polvillo de fique con propiedades termoacústicas ", siguiendo así el criterio de inclusión establecido.

En la selección de estudios primarios, se aplica el criterio de exclusión para descartar aquellos artículos que no cumplen con ciertos aspectos. En este caso, se

excluyeron aquellos artículos que no incluyen información relevante sobre sistemas de termoformado o investigación fibra de fique en las palabras clave y el resumen.

Criterios de evaluación de calidad

El propósito de los criterios de evaluación de calidad es garantizar una evaluación adecuada de cada estudio primario. Estos criterios de evaluación incluyen:

CEC 1. ¿El estudio propone o aporta algún tipo de valor añadido en términos de metodología, técnica, herramienta, enfoque, modelo, método, estrategia o marco conceptual?

CEC 2. ¿El estudio incluye algún tipo de enfoque de investigación que involucre análisis y descripción, como, por ejemplo: estudio empírico, estudio experimental, pruebas de concepto, teórico o estudio de caso?

CEC 3. ¿El estudio hace referencia y utiliza la metodología, técnica, herramienta, enfoque, modelo, método, estrategia o framework propuesto como contribución?

CEC 4. ¿El estudio lleva a cabo una evaluación de los resultados logrados?

Para cada uno de los criterios de evaluación de calidad, se aplica la siguiente valoración: S (sí) = 1, P (parcialmente) = 0.5, N (no) = 0. De esta manera, el resultado total para la evaluación de cada estudio (CEC1 + CEC2 + CEC3 + CEC4) puede resultar de la siguiente manera: 0, 0.5 y 1 (incompleto) 1,5 y 2 (regular), 2,5 (bueno), 3 (muy bueno) y 3,5 y 4 (excelente).

Se establecen normas para cada criterio de evaluación de los estudios primarios, con el objetivo de complementar la evaluación cualitativa con una evaluación cuantitativa.

CEC 1.S, el estudio propone el uso o una nueva metodología, Framework, modelo, técnica o herramienta; P, la contribución está presente pero no se describe claramente; N, la contribución no puede ser identificada o no está establecida.

CEC 2.S, el estudio menciona que ha aplicado explícitamente algún método de investigación; P, el estudio presenta información relevante pero no especifica el método de investigación; N, el método de investigación no puede ser identificado o no está descrito.

CEC 3.S, el estudio presenta de forma detallada el tipo de contribución que ha sido llevado a cabo; P, el tipo de contribución llevado a cabo es representado de forma breve; N, el estudio no describe claramente el tipo de contribución llevado a cabo.

CEC 4.S, El estudio proporciona un análisis completo para explicar los resultados obtenidos; si es así, se clasifica como "P". Si los resultados se explican de manera breve, se clasifica como "P". En caso de que no se puedan identificar o no se describan los resultados, se clasifica como "N".

Estudio de evaluación de calidad

Se encuentran inicialmente 45 estudios en la base de datos, los cuales fueron considerados como encontrados. Después de eliminar los estudios redundantes, se obtuvieron 32 estudios no repetidos. Luego, se aplica el criterio de inclusión para seleccionar los estudios relevantes, basándose en el título, resumen y palabras clave, obteniendo 26 estudios. Posteriormente, se aplica el criterio de exclusión para eliminar los estudios que no cumplen con los criterios establecidos, obteniendo finalmente 11 estudios primarios que se muestran en la tabla 2. Es importante destacar que el criterio de exclusión es un conjunto de criterios definidos por una entidad para determinar qué elementos no serán considerados en el alcance del proyecto o programa, y estos criterios pueden variar dependiendo de la entidad o del proyecto, pero generalmente incluyen aspectos como el presupuesto o el tiempo.

Tabla 2: Resultados arrojados por las fuentes bibliográficas. Fuente: Propia.

Base de datos	Encontrados	No repetidos	Relevantes	Primarios
Google Scholar	45	32	26	11

Nota. Obtención de las 11 fuentes bibliográficas como antecedentes de investigación.

La tabla 3, presenta el resultado de la evaluación de calidad aplicada a los estudios primarios. Las columnas identificadas como CEC (Criterio de Evaluación de Calidad) muestran la calificación obtenida por cada criterio de evaluación. Las columnas Cuantitativo y Cualitativo presentan el resultado final de cada criterio.

Tabla 3. Resultados de cada estudio primario con respecto a los criterios de evaluación de calidad. Fuente Propia.

ID	Nombre del estudio	Año de publicación	CEC				Calidad	
			1	2	3	4	Cuantitativo	Cualitativo
1	Guía ambiental del subsector fiquero	2006	P	P	S	P	3	MB
2	Compuestos de matrices poliméricas con fibra de fique	2002	P	P	S	P	4	MB

ID	Nombre del estudio	Año de publicación	CEC				Calidad	
			1	2	3	4	Cuantitativo	Cualitativo
3	Ecolaminados de pead-fibras de fique	2021	P	P	S	P	4	MB
4	Desarrollo de un material para empaques de alimentos a partir de harina de yuca y fibra de fique basó	2011	S	S	S	P	3	MB
5	El fique como aislante térmico	2007	S	p	S	p	4	E
6	Estudio para determinar las fuerzas existentes entre la fibra de fique y el mortero	2018	S	S	P	P	3.5	E
7	Elaboración de un material con matriz de yeso y reforzado con fibra de fique	2017	S	S	P	P	3.5	E
8	Fibras de fique como refuerzo a los muros de adobe	2016	S	S	p	p	3.5	MB
9	Caracterización acústica de materiales no tejidos como fibra de	2018	S	P	S	P	4	MB

ID	Nombre del estudio	Año de publicación	CEC				Calidad	
			1	2	3	4	Cuantitativo	Cualitativo
	coco, fique y fique-coco							
10	Aglomerados a base del residuo de fique	2017	P	P	S	P	4	MB
11	Rendimiento acústico y térmico de la fibra de fique como panel para revestimiento de paredes	2018	P	S	P	P	4.5	MB

Nota: sí; N: no; P: parcialmente; CEC: Criterio de evaluación de calidad; E: excelente; MB: muy bueno; B: bueno; R: regular; I: incompleto.

Para definir ciertos aspectos del proceso de revisión de la literatura, se hace hincapié en el año de publicación del estudio para señalar que en los últimos años se han estado desarrollando procesos de innovación e investigaciones alrededor de los residuos de fique y desechos biodegradables generados en empresas industriales a gran escala. Además, las palabras clave, los conceptos y el contexto de la investigación proporcionan una comprensión más detallada de cada estudio seleccionado, identificando aspectos como usos secundarios de estos materiales y propiedades termoacústicas y mecánicas del fique y sus derivados.

La mayoría de los estudios primarios elegidos fueron clasificados y descritos como estudios experimentales. Este resultado sugiere que generalmente las investigaciones se enfocan en áreas específicas. Se observa que los estudios seleccionados se centran en dos o tres escenarios de búsqueda particulares, relacionados con los conglomerados o usos secundarios y el análisis de sus propiedades mecánicas o acústicas o térmicas, ya sea en fique y sus derivados o en otros desechos biodegradables como lo es la cascara de arroz y fibra de coco.

Es importante resaltar que uno de los principales riesgos identificados que puede poner en peligro la validez de los estudios primarios durante el proceso de selección es el sesgo de selección de los estudios relevantes. Esto se debe a que algunos estudios podrían haber sido descartados, ya que el análisis se basó únicamente en el título, resumen y palabras clave de los artículos obtenidos en la búsqueda.

6 ANTECEDENTES

En el proceso de investigación bibliográfica con relación a algún proceso referente a un material termoacústico hecho a base de fique o sus derivados cabe destacar algunos trabajos como:

En la “guía ambiental del subsector fiquero” (Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial & Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, 2006), se habla acerca de todo el proceso de relaciones con la industria fiquera en Colombia, donde se enfatiza en el proceso por el cual pasa el fique. Así, se especifica los residuos generados en el proceso de construcción de costales de fique, dando a entender las diferentes ramas que se especializan en el uso de los residuos de este proceso. Donde se destacan usos de la fibra de fique como: sacos, artesanías, sogas, hilos, telas tejidas de fique y estopas. En fibras cortas como: papel de fique (con la pulpa de la celulosa), aislantes térmicos (con sus conglomerados) y como material de reforzado de vigas, columnas, tejas etc; también en residuos sólidos como: abono orgánico, concentrado para animales, cultivo de hongos comestibles, biorremediación, agro textil, curado de cemento, alimentación de rumiantes, abonos orgánicos, insecticidas, sustancias sapogenitas y minuciosas compuestos de plásticos reforzados con fibra de fique destacando también en aplicaciones automotrices del propileno con fibra de fique.

Con todo ello también se enfatiza en “compuestos de matrices poliméricas con fibra de fique”, observando que en la facultad de ingeniería mecánica de la “Universidad Politécnica del Valle de México” UPVM en el año 2002, se establece un nuevo tratamiento de la fibra de fique, construyendo una matriz con resina epoxi, generando un compuesto de matriz polimérica con fibra de fique. Aquí se destaca el uso de la fibra de fique por su morfología, economía y propiedades mecánicas aptas para ser utilizada en nuevos materiales como refuerzo (Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial & Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, 2006)[6].

En el artículo “ecolaminados de pead-fibras de fique” de (Delvasto Arjona et al., 2001) y colaboradores, se realiza un estudio donde se usa el polvillo de fique para formar mezclas con polietileno de alta densidad en su estado puro y reciclado, que junto con el carbonato de calcio buscan darle rigidez. Todo esto mediante prensado en caliente transformándolo así en un sustituto para la madera o donde se requieran laminados [9]

En la tesis “desarrollo de un material para empaques de alimentos a partir de harina de yuca y fibra de fique basó” (Navia Porras, 2011) usan harina nativa de yuca y fibra de fique para desarrollar un material bioplástico semirrígido con propiedades mecánicas, térmicas y de adsorción de humedad. Usando el proceso de moldeo por compresión sometido al calor, el material se presenta como una alternativa para el disminuir el uso del poliestireno expandido aplicado en empaques de alimentos.[10]

Por otro lado, en el artículo de la revista biotecnológica titulado “el fique como aislante térmico” de (Muñoz Muñoz & Gerardo Cabrera, 2007) tienen resultados de estudio del fique como aislante térmico. Donde procedieron a hacer experimentación que les permitió sacar su índice de aislamiento térmico, probando que este material tiene propiedades térmicas relevantes que ayudarían a contribuir y solucionar el deterioro por temperatura. Dando a entender que puede competir con diferentes materiales actuales en el mercado.[5]

En la tesis nombrada “elaboración de un material con matriz de yeso y reforzado con fibra de fique” de (Parra et al., 2017), realizan un estudio donde buscan crear materiales para la construcción a base de la fibra de hoja de fique, estas junto con una matriz adicionada de yeso comercial. Obtienen un material mediante el proceso de extrusión, donde adicionando arcilla expandible les otorgan propiedades higroscópicas a los materiales.[11]

En el documento de (Gaona Patiño & Soler Camargo, 2016), realizan una investigación para implementar las fibras de fique como refuerzo a los muros de adobe, con esto buscan igualar la resistencia que se obtiene por otros métodos ya conocidos disminuyendo los costos de elaboración. El método refuerzo con el fique consiste en realizar un tejido de las fibras con alambre y reforzarlo con una mezcla de mortero y cemento.[12]

El documento de (Rozo Restrepo et al., 2018), habla acerca de la caracterización acústica de materiales no tejidos como fibra de coco, fique y fique-coco. Analizando los conglomerados les permitió encontrar que los materiales no tejidos evaluados tienen buena absorción en alta frecuencia, Teniendo el mejor resultado con las fibras de fique. Comparando con materiales comerciales y proponiendo su uso para el acondicionamiento acústico en espacios laborales y académicos. [4]

En la tesis de (Escobar Galvis & Quira Bolaños, 2017), realizan una investigación para elaborar aglomerados a base del residuo de fique y determinar sus parámetros físicos y mecánicos comparándolos con las diferentes normas de calidad existentes. Para obtener el desecho se realiza un trabajo en campo donde se obtiene la materia prima, luego la misma es pesada, después se hace la separación del licor verde y por último pasa por un secado, para así obtener el bagazo seco con el cual se realizan los aglomerados por medio de un prensado durante dos horas.[13]

En la tesis de (Huamani Arango & Monge Hurtado, 2018), realizan un estudio para determinar las fuerzas existentes entre la fibra de fique y el mortero, que por medio de ensayos de compresión, tensión y flexión buscan conocer las propiedades mecánicas del mortero normal y el mortero con fique. Con dichos ensayos aseguran que el mortero reforzado con fibra de fique aumenta la resistencia a la tensión y genera un ahorro en el uso del mortero.[14]

En la tesis de Katherine Cicibel, realizan el estudio del rendimiento acústico y térmico de la fibra de fique como panel para revestimiento de paredes. Para ello realizaron pruebas acústicas dentro de una caja cubierta en el interior con la fibra de fique, y usando dos sonómetros ubicados en el interior y exterior de la caja capturaban información cada 5 minutos y las pruebas térmicas las realizaron con temperatura ambiente e inducción de calor. [15]

7 MARCO DE REFERENCIA TEÓRICO

7.1 FIQUE

El fique es una planta originaria de Colombia conocida científicamente con el nombre de *furcraea sp*, de la cual se extrae una fibra natural, denominada (cabuya), cuya producción se remonta a las épocas indígenas. Estas fibras han sido tradicionalmente utilizadas para elaborar materiales de amarre y para confeccionar telas de embalaje y sacos de empaque[7]. En la figura 2-A, se observa la planta de fique, 2-B la cabuya extraída y 2-C el saco de fibra de fique.



FIGURA 3: A. Planta fique- *furcraea sp*-B. rollo atado de fique-C.saco de fique [7]

La fibra de fique está compuesta principalmente por macromoléculas como celulosa (42,1% en peso), hemicelulosa (13% en peso) y lignina (18,2% en peso). El contenido extractivo fue del 15,3% en peso. La degradación térmica muestra una temperatura máxima de degradación de 360 °C. En general, los informes describen la fibra de fique como un conjunto de fibras de celulosa elementales unidas por hemicelulosa y lignina, con una morfología heterogénea de la superficie, que proporciona muchos canales sin poros y cavidades. [16]

[17]hipotetizaron que los materiales híbridos o compuestos a partir de fibras tienen mejoradas sus propiedades en comparación con las fibras crudas, debido a un efecto similar a la "vulcanización", en la cual las nanopartículas reemplazan la lignina y la hemicelulosa y actúan como una "cola" entre las hebras individuales de microfibras. [17]

7.2 MATRICES ORGÁNICA O POLIMÉRICA

Su obtención se denomina polimerización, la cual ocurre a través de enlaces covalentes de miles de pequeñas moléculas orgánicas llamadas monómeros o meros. Este proceso se lleva a cabo en dos etapas, la primera es una polimerización parcial que forma cadenas lineales y el segundo proceso involucra el entrelazamiento de moléculas usando el calor y la presión que se usa en el proceso de moldeo; las matrices son las que le otorgan las propiedades de rigidez y le permiten volverse insoluble e infusible al mezclarse con otros elementos para lograr compuestos de alto desempeño.[18]

7.3 MOLDEO POR COMPRESIÓN

El moldeo por compresión es un método de moldeo en el que el material, en general es precalentado y colocado en la cavidad del molde abierto. El molde se cierra, se aplica calor y presión para forzar al material a entrar en contacto con todas las áreas del molde, mientras que el calor y la presión se mantiene hasta que el material de moldeo se ha curado [19]. En la figura 3, se muestra un diagrama grafico de los pasos en el proceso de termoformado por compresión.

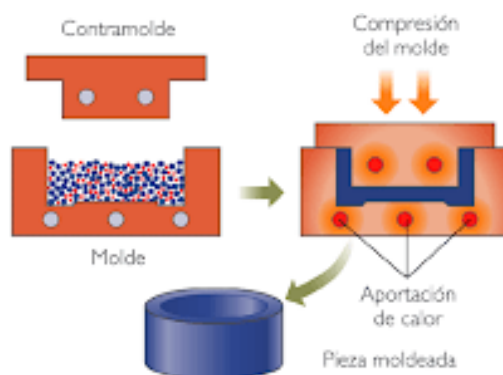


FIGURA 4: Teoría moldeo por compresión. Recuperado de:
<https://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com/2011/10/moldeo-por-compresion.html>

7.4 CÁMARA TERMOGRÁFICA

Una cámara infrarroja o termográfica, es un dispositivo que permite capturar imágenes que muestran la distribución de temperatura de una superficie o un objeto. A diferencia de una cámara convencional que utiliza la luz visible para capturar imágenes, una cámara térmica detecta la radiación infrarroja emitida por los objetos y la convierte en una imagen visible que muestra las diferentes temperaturas en diferentes colores. Estas cámaras se utilizan en una amplia variedad de aplicaciones, desde la detección de fugas de calor en edificios hasta la localización de animales en la oscuridad, y en la industria para control de calidad en la producción y mantenimiento predictivo[20]. En la figura 4, se muestra una fotografía de la cámara flukePtil20 instrumento a usar para la validación térmica.



FIGURA 5: Cámara termográfica flukePTi20. FUENTE de: [20]

7.5 MÉTODOS DE PROPAGACIÓN DE CALOR

7.5.1 CONDUCCIÓN

La conducción es el proceso por el cual el calor se transfiere de una zona a otra sin que haya movimiento macroscópico de las partículas en el material. Este proceso ocurre cuando las moléculas de un material se agitan y transfieren su energía térmica a las moléculas vecinas. En los sólidos, la conducción es la principal forma de transferencia de calor, ya que las moléculas están muy cercanas entre sí.[21]

7.5.2 CONVECCIÓN

La convección es el proceso por el cual el calor se transfiere mediante el movimiento de fluidos, como líquidos o gases. Este proceso ocurre cuando un fluido se calienta, lo que provoca que se expanda y disminuya su densidad. La porción menos densa del fluido se eleva, mientras que la porción más densa se hunde. Este movimiento produce la transferencia de calor. [22]

7.5.3 RADIACIÓN

La radiación es el proceso por el cual el calor se transfiere en forma de ondas electromagnéticas, como la luz. Este proceso ocurre sin necesidad de un medio físico, ya que las ondas electromagnéticas pueden propagarse a través del vacío. La radiación es responsable de la mayor parte del calor que recibe la Tierra del Sol.[23]

La conductividad térmica es la constante positiva λ en la expresión de la Ley de Fourier de conducción de calor: $L A T q \Delta = - \lambda$ donde q es el flujo de calor, A el área transversal, L el espesor del espécimen en la dirección de flujo de calor y ΔT la diferencia de temperatura a la que se somete el espécimen.[24]

7.6 AISLANTE TÉRMICO

Un aislante térmico es un material que se utiliza para reducir o controlar la transferencia de calor entre dos medios que tienen temperaturas diferentes. Un buen aislante térmico tiene una baja conductividad térmica, lo que significa que es difícil para el calor pasar a través de él. Esto puede ayudar a mantener una temperatura constante en un espacio, como una casa o un edificio, y puede reducir

los costos de energía al disminuir la cantidad de energía necesaria para calentar o enfriar un espacio. Los aislantes térmicos se utilizan comúnmente en paredes, techos, pisos, tuberías y otros componentes de construcción para mejorar la eficiencia energética y reducir la pérdida de calor.[25]

7.7 PROPIEDADES MECÁNICAS

Las propiedades mecánicas son aquellas que describen el comportamiento de un material ante cargas o fuerzas externas, incluyendo la deformación, la resistencia y la capacidad de absorción de energía. Estas propiedades pueden incluir la resistencia a la tracción, la compresión, la flexión, la torsión, la dureza, la tenacidad, la ductilidad, la fragilidad, la fatiga, la rigidez, la plasticidad, entre otras. Las propiedades mecánicas son importantes en la selección y diseño de materiales para aplicaciones específicas, ya que permiten determinar si un material será capaz de soportar las fuerzas y cargas que se le aplicarán en su uso previsto.[26]

7.7.1 Esfuerzo de tracción

El esfuerzo de tracción se refiere a la fuerza aplicada a un material para estirarlo o alargarlo. Es decir, es la resistencia que presenta un material a ser estirado o alargado antes de fracturarse. Se mide en unidades de fuerza dividida por unidad de área, como Newtons por metro cuadrado (N/m^2), que se conoce como Pascal (Pa) en el Sistema Internacional de Unidades (SI). El esfuerzo de tracción es una de las propiedades mecánicas importantes de los materiales y se utiliza en el diseño y la evaluación de estructuras y componentes. [26]

7.7.2 Esfuerzo de compresión

El esfuerzo de compresión es una medida de la fuerza que se ejerce sobre un material para comprimirlo o reducir su tamaño. Se trata de una medida de la resistencia del material a ser comprimido y es importante en la ingeniería mecánica, especialmente en el diseño de estructuras y maquinaria que están sujetas a cargas de compresión. El esfuerzo de compresión se expresa en unidades de fuerza por unidad de área, como Newtons por metro cuadrado (N/m^2) o libras por pulgada cuadrada (psi).[27]

7.7.3 Esfuerzo de flexión

El esfuerzo de flexión es un tipo de esfuerzo mecánico que se produce en una viga o elemento estructural similar cuando se aplica una carga transversal o de flexión. El esfuerzo de flexión causa una tensión en la parte superior del elemento y una compresión en la parte inferior, lo que puede llevar al agrietamiento o al colapso del material si se excede su límite de elasticidad. El esfuerzo de flexión se expresa en unidades de fuerza por unidad de área, como el pascal o la psi. [27]

7.8 DECIBELES

Este parámetro es usado principalmente para medir la intensidad del sonido y se utiliza para expresar la relación entre dos potencias acústicas o eléctricas (no es una unidad de medida). En realidad, la unidad es el bel o belio de símbolo B [28]. En la figura 5 se muestra la escala de decibeles con respecto a la intensidad del sonido.

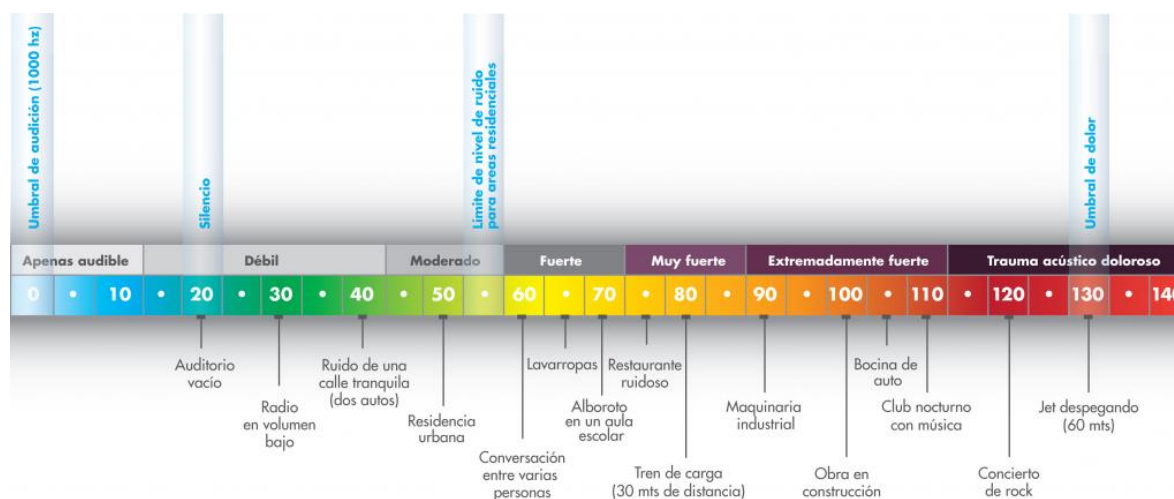


FIGURA 6: Grafica de escala de decibeles. Fuente: <https://www.knauf.com.co/index.php?r=benefit/view&id=2>

7.9 PONDERACIONES DE FRECUENCIAS

Ponderaciones de frecuencia A, C y Z se usan en la clasificación de frecuencias audibles. La ponderación A es la estándar ya que tiene rangos de audición capaces de ser captados por el oído humano ante el ruido comprendido entre 20 Hz a 20.000 Hz, en esta ponderación las mediciones se representan como dB(A) o dBA. Por otro lado, la ponderación de frecuencia C está enfocada en los sonidos de baja frecuencia comprendido entre 31,5Hz y 8kHz, las mediciones se representan en dB(C) o Dbc. Finalmente, la ponderación de frecuencia Z es plana y comprende los 8Hz a 20kHz, con una variación no mayor a ± 1.5 dB y se representa como dB(Z) o dBZ [29]. En la figura 6, se observa la curva de respuesta en decibeles del ruido con los filtros de ponderación A, C y Z.

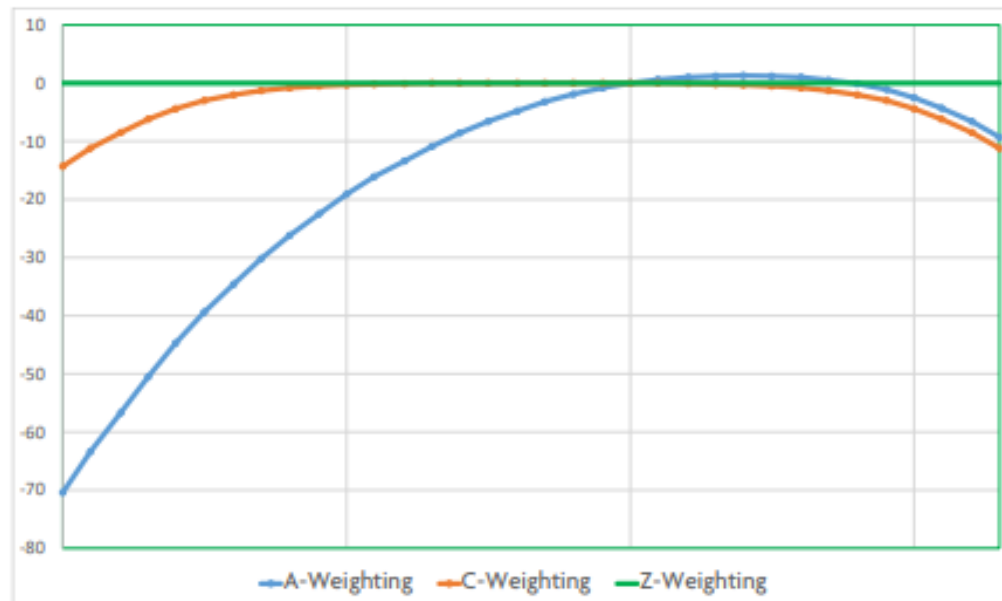


FIGURA 7 :Niveles de ponderación de frecuencia A, C Y Z. Fuente:[29]

7.10 SONÓMETRO SL814

Un sonómetro es un instrumento, normalmente portátil, diseñado para medir niveles sonoros de forma normalizada. Este responde al sonido aproximadamente del modo que el oído humano y proporciona medidas relativas y reproducibles de los niveles de presión sonora [30]. En la figura 7 muestra una fotografía del sonómetro SL814 instrumento a usar para la validación acústica.



FIGURA 8: sonometroSL814.Fuente: <https://vizyonindustrial.com/sonometros/>

7.11 AISLAMIENTO ACÚSTICO

La protección de un recinto contra la penetración de sonido se conoce como aislamiento acústico. Se trata de reducir tanto el ruido aéreo como el estructural que llega al receptor a través del obstáculo. Un buen aislamiento acústico busca minimizar la energía transmitida, lo cual implica un aumento de la energía disipada y/o reflejada, sin importar la distribución entre ellas.

Los materiales adecuados para el aislamiento acústico son aquellos que tienen la propiedad de reflejar o absorber una parte importante de la energía de la onda incidente. Estos materiales suelen ser más rígidos y densos, y pueden ser utilizados en paredes, techos, suelos, ventanas, puertas y otros elementos de construcción para reducir la transmisión del sonido. [31]

7.12 LA GEOMETRÍA EN EL AISLAMIENTO ACÚSTICO

Esta se refiere a la forma y diseño del recinto o ambiente que se desea proteger contra la penetración de sonido. La geometría puede influir en la propagación de las ondas sonoras, pudiendo amplificar, reflejar o absorber el sonido dependiendo de la forma y características del recinto. Por ejemplo, una habitación con paredes planas y suelos duros y lisos puede tener una acústica más reverberante, lo que significa que el sonido se reflejará y rebotará más en las superficies y tardará más en desaparecer. Por otro lado, una habitación con paredes curvas, materiales absorbentes de sonido y superficies rugosas puede tener una acústica más seca, con menos reverberación y un sonido más claro. Por lo tanto, la geometría del espacio puede ser un factor importante en el diseño de un buen aislamiento acústico. Además, se pueden utilizar elementos geométricos específicos, como paneles acústicos o difusores, para mejorar el aislamiento acústico y lograr un ambiente más confortable acústicamente [32]. En la figura 8 se observan 3 de los aislamientos acústicos más usados en el mercado.



FIGURA 9: geometría de aislantes acústicos comerciales: lineal, cónica, triangular lineal
Fuente: https://www.musycom.com.ar/MLA-1167894591-10-paneles-acusticos-decorativos-colores-y-medidas-musycom-_JM

7.13 ABSORCIÓN ACÚSTICA

La absorción del sonido es un fenómeno esencial en la reducción del ruido no deseado en diferentes entornos. Los materiales con capacidad de absorción acústica se destacan por su habilidad para disipar la energía sonora que incide sobre ellos, en lugar de reflejarla, lo que resulta en una disminución significativa del ruido y la reverberación. Estas características son especialmente útiles en espacios donde se busca crear ambientes más silenciosos, como en salas de conciertos, estudios de grabación, oficinas, salas de conferencias y otros lugares donde la claridad y la calidad del sonido son fundamentales.

La porosidad es una de las principales características que permiten a estos materiales absorber el sonido. Los poros y estructuras celulares presentes en estos materiales proporcionan una amplia superficie interna que disipa la energía sonora al convertirla en calor a medida que las ondas sonoras penetran y viajan a través de la estructura. La rigidez también juega un papel importante, ya que una estructura rígida permite una mayor eficiencia en la disipación de la energía acústica.

La densidad del material también influye en su capacidad de absorción acústica. En general, los materiales más densos tienen una mayor eficiencia en la absorción de frecuencias más bajas, mientras que los materiales menos densos tienden a absorber mejor las frecuencias más altas. Esto permite adaptar los materiales a diferentes entornos y necesidades específicas de aislamiento acústico.

Además, la geometría y configuración de las celdas en la estructura interna de estos materiales también desempeñan un papel relevante en su capacidad de absorción del sonido. Diseños de celdas bien estudiados y optimizados pueden mejorar la eficiencia acústica y contribuir a una mejor absorción del ruido.

Los materiales considerados aislantes acústicos se dividen en categorías como: Los materiales considerados aislantes acústicos se dividen en:

- **Materiales resonantes:** presentan la máxima absorción a una frecuencia determinada: la propia frecuencia del material.
- **Materiales porosos:** absorben más sonido a medida que aumenta la frecuencia, es decir, absorben con mayor eficacia las altas frecuencias (los agudos), cuanto más poroso es el material, mayor es la absorción. Los materiales porosos más comunes son las lanas minerales (de roca y de vidrio).
- **Absorbentes en forma de panel o membrana:** absorben con mayor eficacia las bajas frecuencias (los graves), que las altas.
- **Absorbente Helmholtz:** es un tipo de absorbente creado artificialmente que elimina un determinado margen de frecuencias.[31]

7.14 ÍNDICE DE AISLAMIENTO ACÚSTICO

Se define como la capacidad de un elemento constructivo en reducir la intensidad acústica de un ruido que se propaga a través de una superficie. Este índice es definido como:

$$R = Lp1 - Lp2$$

ECUACIÓN 1: índice de aislamiento acústico [31]

siendo $Lp1$ Y $Lp2$ los niveles de presión acústica en el emisor y el receptor respectivamente.[31]

7.15 ENERGÍA ACÚSTICA TRANSMITIDA POR UNA PARED

La energía acústica transmitida a través de una pared es la diferencia entre el nivel de presión acústica del sonido incidente y el aislamiento acústico del material[31]. En la figura 9 se muestra el proceso por el cual se mide la energía acústica transmitida por una pared.

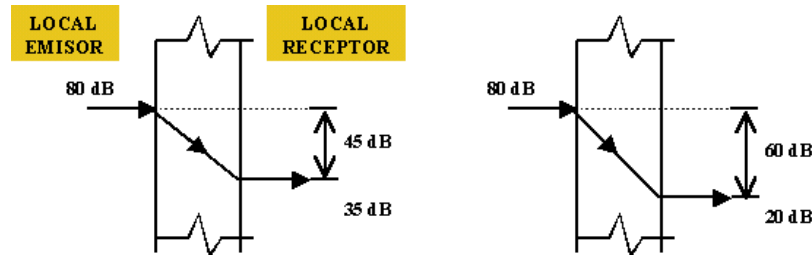


FIGURA 10 : energía acústica transmitida por una pared. Fuente:[31]

7.16 POROSIDAD MÁSCA

La porosidad máscica es una medida de la cantidad de poros o espacios vacíos en un material poroso, expresada como el volumen de los poros dividido por el volumen total del material. Es decir, la porosidad máscica se define como el volumen de los poros de un material dividido por su volumen total, y se expresa típicamente como un porcentaje. La porosidad máscica es una propiedad importante de los materiales porosos ya que afecta directamente sus propiedades físicas, como la densidad, la permeabilidad, la resistencia y la capacidad de absorción.[16]

7.17 CÁMARA ANECOICA O ANECOIDE

Es una sala diseñada para absorber en su totalidad las reflexiones producidas por ondas acústicas o electromagnéticas en cualquiera de las superficies que la conforman (suelo, techo y paredes laterales). Se utilizan para experimentar en el campo de la acústica y poner a prueba el rendimiento de altavoces y micrófonos, entre otros [33]. En la figura 10 se observa un ejemplo acerca del principio de funcionamiento de una cámara anecoica.

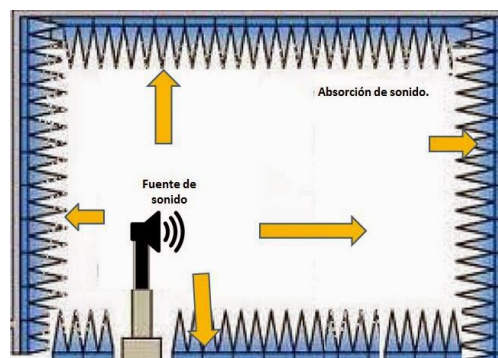


FIGURA 11: Cámara anecoica. Fuente: https://www.abc.es/ciencia/abci-lugar-silencioso-mundo-lleva-201206190000_noticia.html

8 DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE PROTOTIPO DE TERMOFORMADORA POR COMPRESIÓN

Esta consiste en modelar mediante herramientas software CAD/CAM/CAE las partes, piezas, moldes y máquina requeridas para obtener la compactación del conglomerado de polvillo de fique acorde a los requerimientos termoacústicos.

Por lo siguiente, se analiza la tecnología necesaria para generar un proceso de compresión adecuado y crear placas comprimidas a partir de un conglomerado de polvo de fique, se examinan los procesos de termoformado utilizados en la industria para la fabricación de objetos de uso común y se analiza la compresión de cubiertos hechos de polímeros y cualquier objeto fabricado mediante este proceso de termocompresión.

8.1 REQUERIMIENTOS DE DISEÑO DE TERMOFORMADORA POR COMPRESIÓN

El diseño de una termoformadora por compresión requiere de varios elementos clave para asegurar su correcto funcionamiento. A continuación, se presentan algunos de los requerimientos de diseño más importantes[36]:

8.1.1 Fuerza de compresión

La termoformadora debe ser capaz de aplicar la cantidad de fuerza necesaria para conformar el material de termoformado en la forma deseada. Este requerimiento dependerá del material utilizado y del tamaño de la pieza a producir.

8.1.2 Temperatura

El proceso de termoformado implica la aplicación de calor para hacer que el material sea maleable. La termoformadora debe ser capaz de mantener una temperatura constante y controlada durante todo el proceso.

8.1.3 Tiempo de ciclo

El tiempo que tarda la termoformadora en completar un ciclo es un factor crítico en la eficiencia del proceso de producción. Un ciclo demasiado largo puede reducir la capacidad de producción y aumentar los costos.

8.1.4 Precisión

La precisión en el proceso de termoformado es importante para garantizar que las piezas se produzcan con la calidad requerida. La termoformadora debe ser capaz de reproducir la misma forma y tamaño en cada pieza producida.

8.1.5 Sistema de sujeción

La termoformadora debe contar con un sistema de sujeción que mantenga el material de termoformado en su lugar durante todo el proceso de compresión.

8.1.6 Sistema de enfriamiento

Después de aplicar calor al material y darle forma, la termoformadora debe contar con un sistema de enfriamiento que permita que la pieza se solidifique en su forma final.

8.1.7 Seguridad

La termoformadora debe cumplir con los estándares de seguridad requeridos para garantizar la protección del personal que opera la máquina.

8.1.8 Diseño de moldes

Los moldes utilizados en el proceso de termoformado deben ser diseñados de manera precisa para asegurar la correcta conformación del material. El diseño de los moldes debe ser acorde al tamaño y la forma de la pieza que se desea producir.

8.2 DISEÑO DE BOSQUEJOS DE PROTOTIPOS DE MÁQUINAS DE TERMOFORMADO POR COMPRESIÓN

Este proceso permite adquirir los conocimientos necesarios para diseñar un bosquejo de un prototipo de máquina de termoformado que sea adecuado para cumplir con los requerimientos de diseño establecidos. En primer lugar, se debe determinar el tamaño y las dimensiones generales del prototipo, teniendo en cuenta la cantidad y el tamaño de las piezas que se planean producir. En este caso, se fabrica una sola pieza. Además, es importante considerar la capacidad de la máquina para soportar las altas temperaturas y presiones requeridas en el proceso de termoformado. Al investigar las características del proceso, se opta por una estructura en forma de "Y" que pueda resistir las fuerzas de compresión necesarias para una compresión adecuada. En la figura 12 se observan los bosquejos iniciales de diseño del prototipo de termo formadora por compresión.

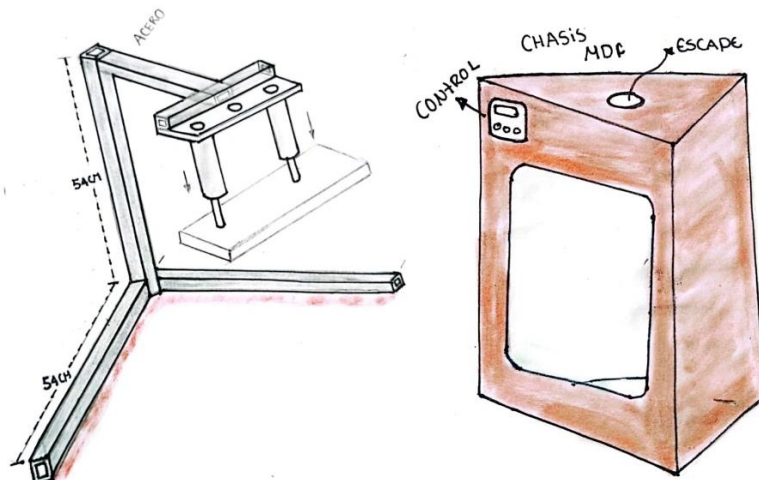
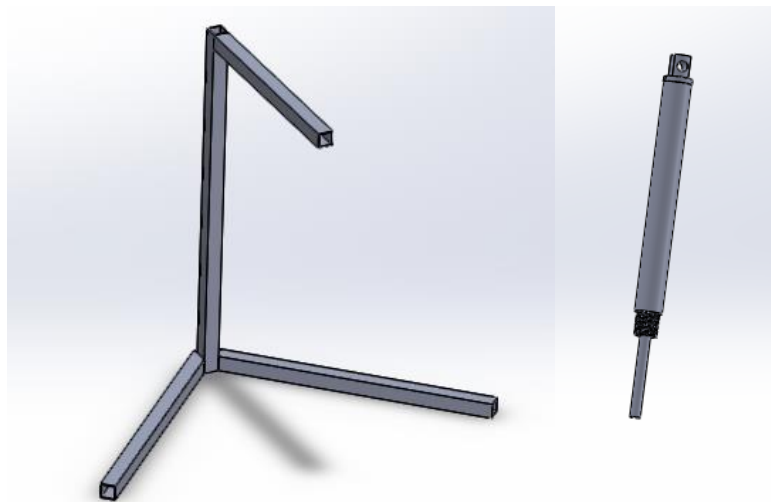


FIGURA 12: Bosquejo inicial de prototipo de máquina de termoformado. Fuente: propia

8.3 DISEÑO MECÁNICO CAD DE PROTOTIPO DE MÁQUINA DE TERMOFORMADO

Siguiendo un proceso adecuado de diseño, se decide simular la estructura principal de la máquina de termoformado por compresión utilizando el software de diseño asistido por computadora- CAD llamado SolidWorks ®. Este software es ampliamente utilizado en la industria y es conocido por su facilidad de uso y herramientas avanzadas para el diseño de objetos tridimensionales.

Con el fin de lograr una estructura lo más eficiente y resistente posible, se diseñan cuidadosamente cada una de las piezas y componentes necesarios para el proceso de termoformado. Se detalla especial atención a las piezas que soportan las fuerzas de compresión durante el proceso, incluyendo la estructura en forma de "Y" y los pistones neumáticos. En la figura 13 se observan los diseños CAD 3D en SolidWorks ® del chasis principal y pistón neumático.



*FIGURA 13 : Simulación CAD de partes máquina de termoformado (SOLIDWORKS ®).
Fuente: propia.*

8.4 SIMULACIÓN DE FUERZAS DE COMPRESIÓN DEL PROTOTIPO DE MÁQUINA DE TERMOFORMADORA

A modo de complemento es importante verificar si la estructura del chasis principal en forma de "Y" es lo suficientemente resistente para soportar las fuerzas de compresión necesarias para un proceso de termoformado adecuado y eficiente, para ello se lleva a cabo una simulación estructural utilizando las propiedades de material compuesto de acero comercial. Se somete la estructura a una fuerza lineal máxima permitida por una máquina de compresión de aire comercial suministrada por la Corporación Universitaria Comfacauca. Lo anterior permite observar su límite de confiabilidad y la cantidad de milímetros de movimiento de la estructura durante

la compresión. En la figura 14 se observa las simulaciones de fuerza y deformación de principal en forma de “Y” del prototipo de termoformadora por compresión.

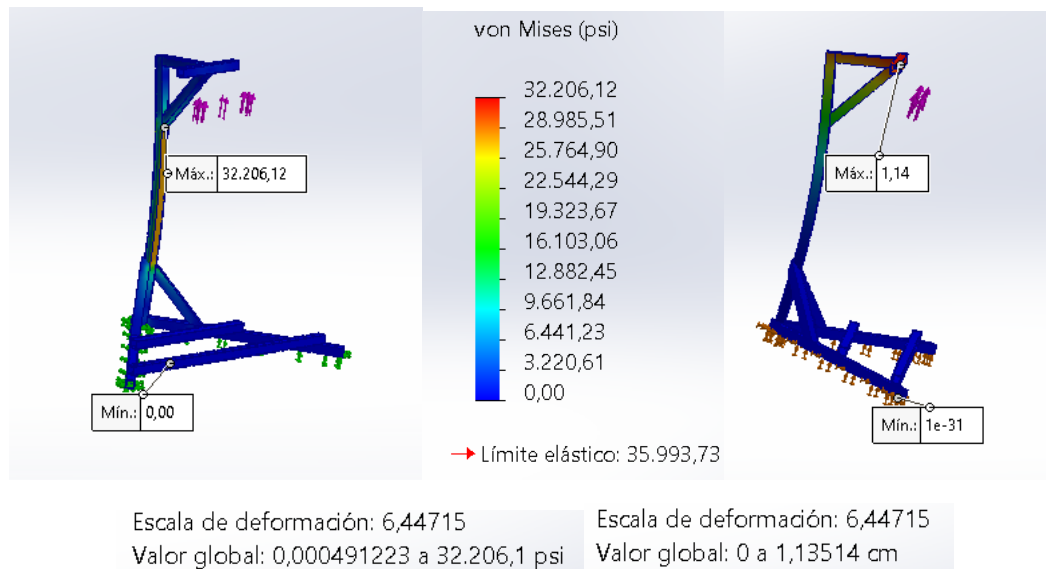


FIGURA 14: Simulación CAD y límite elástico chasis principal metálico (SOLIDWORKS®) (HIERRO FUNDIDO). Fuente propia

De esta forma, es posible observar, con relación a la figura 14, que el punto crítico de la estructura se encuentra en la parte media, cerca de la unión del cuello con la base superior de la termoformadora. Además, la estructura presenta un desplazamiento teórico de 2 cm máximos en la parte superior, lo que genera un movimiento en el cuello del chasis sin llegar a entrar en el régimen plástico. Sin embargo, este movimiento no afecta el proceso de termocompresión, ya que después de generar la fuerza de compresión, el chasis regresa a su forma original. Es importante destacar que esta estructura cuenta con un límite elástico teórico superior a los 36 psi, lo que verifica que puede soportar las fuerzas de compresión máximas emitidas por el compresor de aire de 0,35 lbf lineales máximas llevando a toda la estructura a una deformación de 32 psi máximas soportables.

8.5 REQUISICIÓN DE COMPONENTES CONDUCENTES A PROTOTIPO DE TERMOFORMADORA POR COMPRESIÓN

Con el proceso anterior, se genera de manera eficiente la requisición de los materiales, elementos e insumos necesarios para la automatización y fabricación del prototipo de la máquina de termoformado, estos materiales incluyen:

Tabla 4 : Componentes de implementación de prototipo de máquina de termoformado

MATERIALES PROTOTIPO DE TERMOFORMADORA	
Acero Comercial	Construcción de la estructura y las piezas de la máquina.
Pistones Neumáticos	Dos pistones neumáticos para controlar y aplicar las fuerzas de compresión requeridas durante el proceso de termoformado
Válvulas	Válvulas de control de presión para modificar la presión neumática de compresión
Componentes electrónicos	PLC Siemens S71200 para la automatización del proceso
Placas molde	Placas molde de aluminio para mejorar la distribución del calor y agregar geometría al material afectado
Control	Control de temperatura con el objetivo de mantener la temperatura adecuada durante el proceso
Manguera neumática	Esta se usa para crear conexiones en un circuito neumático
Adhesivos y sellantes	Estos para unir y sellar las piezas y garantizar la integridad estructural del prototipo

8.6 SIMULACIÓN DE MOVIMIENTO DEL PROTOTIPO DE MÁQUINA DE TERMOFORMADO

Siguiendo con lo expuesto anteriormente, se procede a simular el ensamblaje de las partes principales del prototipo de termoformadora por compresión, tal como se detalla en la sección 12.3. Utilizando el software de simulación de Ingeniería Asistida por Computador – CAE de SolidWorks®, se modela la unión del chasis en forma de "Y" con los pistones neumáticos, simulando la resistencia a las fuerzas de compresión necesarias durante el proceso de termoformado. Esto permite verificar la geometría y posición de cada una de las partes, identificando posibles problemas y resolviéndolos antes de iniciar la fabricación real. Como resultado, se logró una planificación detallada y precisa del proceso de fabricación, lo que resultó en la construcción de un prototipo funcional y eficiente en un menor tiempo y a menor costo. En la figura 15 se observa unión del chasis en forma principal del prototipo de termoformado por compresión con 2 pistones neumáticos.

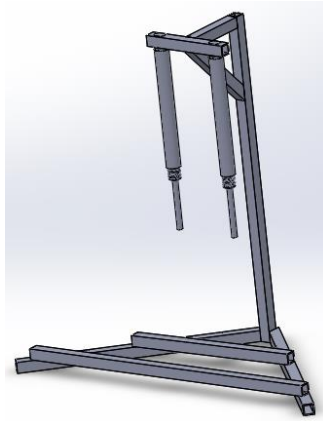


FIGURA 15: Simulación (CAE) “Ensamblado asistido por computador” máquina de termoformado construida. Fuente: propia

Complementando el diseño, se decide crear una caja protectora para el prototipo de termoformadora, esta tiene como objetivo salvaguardar el chasis principal de la máquina de las variables externas y prevenir cualquier tipo de daño. Al mismo tiempo, la caja protectora permite un mejor control de los residuos gaseosos generados durante el proceso de termoformado, proporcionando un sistema de escape para la extracción de los gases residuales. En la figura 16 se observa los planos de ingeniería de precisión exportados a formato DXF de la caja protectora para el prototipo de termoformadora por compresión. En la figura 17 se observa la simulación de la unión de todas las partes que forman la caja protectora para el prototipo de termoformadora por compresión.

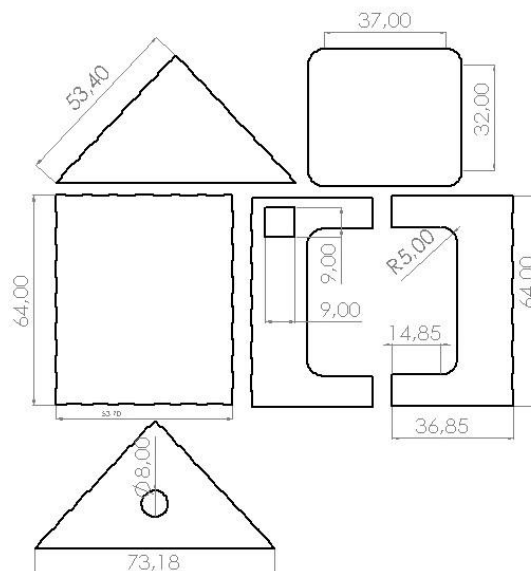


FIGURA 16: chasis 2D (CAD) máquina de termoformado. Fuente: propia

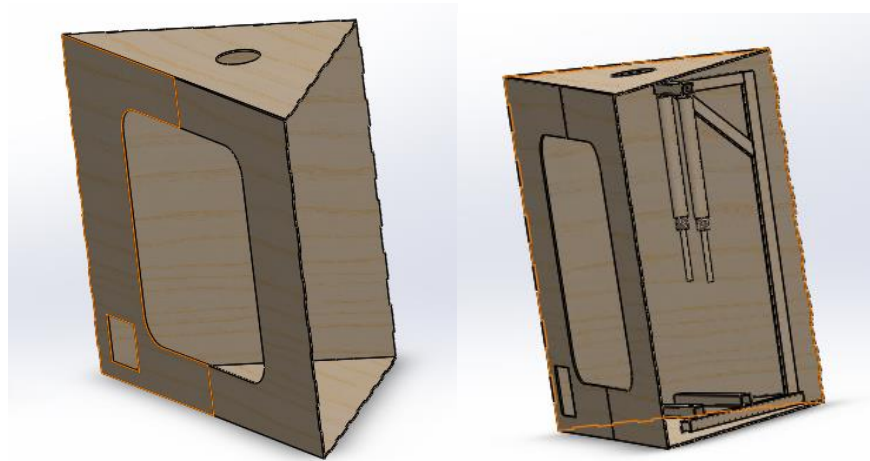


FIGURA 17 : Chasis 3D (CAD) máquina de termoformado con chasis. Fuente: propia

8.7 DISEÑO DE PLANOS ELÉCTRICO NEUMÁTICOS DE PROTOTIPO DE TERMOFORMADORA POR COMPRESIÓN

El diseño de los planos eléctrico-neumáticos es un proceso crucial en la construcción de un prototipo de termoformadora por compresión. Este tipo de máquina requiere un control preciso de la presión y el flujo de aire comprimido para garantizar una compresión uniforme y una calidad constante en los productos termoformados.

Para diseñar los planos eléctrico-neumáticos, es necesario tener en cuenta varios factores importantes. En primer lugar, se debe determinar la capacidad de los compresores de aire, el proceso requiere de una alimentación de aire de 90 MPa para la operación de la máquina, así como el tipo y la capacidad de las válvulas de control de aire necesarias. En este caso, se implementa una electroválvula de solenoide direccional quíntuple de 2 vías, permitiendo así la compresión y descompresión del material.

Con el objetivo de proteger la válvula electroneumática, se procede a hacer un circuito neumático siempre abierto. Este consiste en mantener siempre los pistones activados a menos que la electroválvula esté activada, creando un circuito que mantendrá la válvula electroneumática encendida el menor tiempo posible, protegiendo su solenoide y asegurando un buen funcionamiento durante tiempos prolongados. En la figura 18, se observan los planos electroneumáticos de accionamiento de dos pistones del prototipo de termoformadora por compresión.

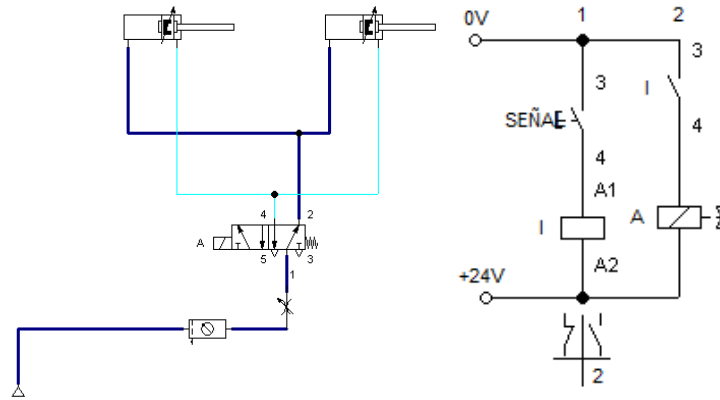


FIGURA 18: Circuito electroneumático de máquina de termo formadora CAD Fluid sim.
Fuente: propia

8.8 CONTROL AUTOMÁTICO

Otro aspecto para considerar es contar con un sistema de control efectivo que permita monitorear, controlar y ajustar la temperatura para garantizar que se mantenga dentro de los parámetros deseados. En este sentido, es recomendable utilizar un controlador de temperatura comercial, el cual está diseñado específicamente para esta función.

El controlador de temperatura comercial se especializa en supervisar en estrategia de control de lazo de cerrado la temperatura del sistema en el que se encuentra instalado, y compara dicha temperatura con un valor de referencia preestablecido. A partir de esta comparación, el controlador realiza los ajustes necesarios para mantener la temperatura dentro de los límites deseados.

Para lograr esto, estos sistemas utilizan un control automático PI (proporcional-integral). Este tipo de control proporciona una respuesta rápida ante las desviaciones del valor deseado, además, combina una acción proporcional, que responde inmediatamente a las variaciones instantáneas, y una acción integral, que corrige los errores acumulados a lo largo del tiempo. Al combinar estas dos acciones, el control PI mejora la precisión y la estabilidad del sistema de control deseado. En la figura 19 se observa el diagrama de un control de temperatura pi industrial.

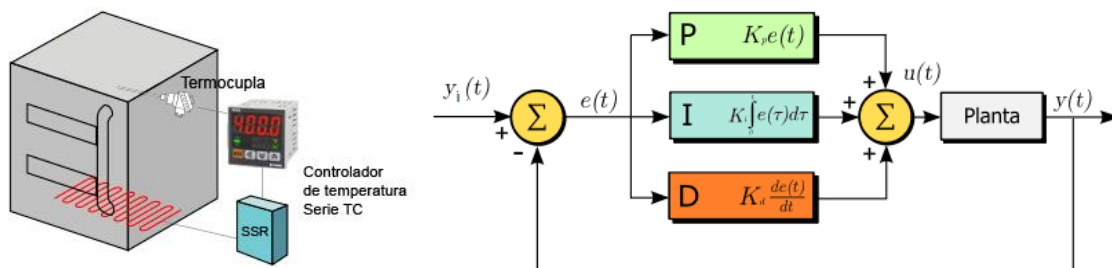


FIGURA 19: Diagrama de control PI de temperatura Recuperado de: <https://controlautomaticoeducacion.com/control-realimentado/controlador-pi-por-asignacion-de-polos/>

8.9 DISEÑO DE PROGRAMA GRAFCET DE PROCESO DE

AUTOMATIZACIÓN DE PROTOTIPO DE MÁQUINA DE TERMOFORMADO

El control del prototipo de la máquina de termoformado, se diseña un proceso de automatización basado en etapas lógicas secuenciales funcionales - GRAFCET I para programar el PLC -SIMENS S7 1200- y su interfaz gráfica- HMI asociada. Para ello, se crean cinco etapas para el proceso, teniendo en cuenta los tiempos configurables de compresión, descompresión y tiempo de golpe. Además, se genera un plano de salidas digitales que se utilizan en el proceso de compresión del material. Este proceso de automatización permite un mayor control y precisión en el proceso de termoformado, asegurando así la calidad y uniformidad de los productos obtenidos.

Además, se considera importante desarrollar un sistema de seguridad para el prototipo de la máquina de termoformado. Se implementa un sistema de paro de emergencia, que permiten detener automáticamente el proceso en caso de que se detecte alguna anomalía o situación de riesgo. De esta manera, se garantiza la seguridad tanto del operador como del equipo, minimizando el riesgo de accidentes y daños a la máquina. En la figura 20, se observa el diagrama de proceso para PLC de manera GRAFCET, Seguido de la tabla 5 donde se observa las entradas y salidas que se usaran en el PLC en el proceso de termocompresión.

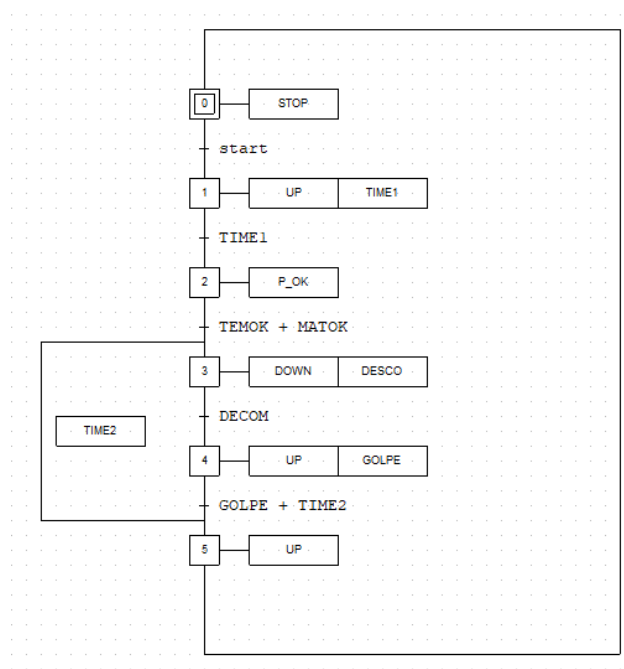


FIGURA 20: Diseño de proceso de control (GRAFCET). Fuente: propia.

Tabla 5: Entradas y salidas PLC. Fuente: propia.

PLC SIEMENS S7 1200 (ENTRADAS Y SALIDAS)		
DIGITALES		ANALÓGICAS
ENTRADA	Alarma de controlador de temperatura. (I1)	No fueron necesaria entradas ni salidas analógicas
SALIDA (1)	Compresión de termoformado, (O1) INPUT	
SALIDA (3)	Pilotos indicadores de proceso (O2,O3,O4) OUTPUT	

8.10 TIPOS DE AISLAMIENTO ACÚSTICO

Para cumplir con el objetivo principal, se realizan investigaciones exhaustivas sobre materiales acústicos que se encuentran actualmente en el mercado y sus capacidades para aislar el sonido. Durante el proceso, se descubre que los materiales acústicos más eficientes en la reducción del ruido poseen ciertas características en su geometría o su estructura que les confieren estas propiedades. Basándose en estos hallazgos, se decide replicar estas formas y estructuras en las láminas compuestas de polvo y fibra de fique que se utilizaran en el proyecto, con el fin de mejorar la capacidad de aislamiento acústico del prototipo.

8.11 REQUERIMIENTOS DE DISEÑO DE MOLDES DE TERMOFORMADO POR COMPRESIÓN

Los requerimientos para el diseño de moldes de termoformado por compresión son una parte crucial del proceso de producción de piezas termoformadas de alta calidad y precisión. Para garantizar que el molde cumpla con las especificaciones y necesidades del producto final, es importante tener en cuenta los siguientes requerimientos de diseño[37]:

8.11.1 Material del molde

El material utilizado para el molde debe ser capaz de soportar las altas temperaturas y presiones involucradas en el proceso de termoformado. Los materiales comunes utilizados para moldes de termoformado por compresión incluyen aluminio, acero inoxidable y materiales compuestos.

8.11.2 Diseño de cavidades

La forma y diseño de las cavidades del molde deben coincidir con las especificaciones del producto final. Es importante tener en cuenta el espesor de la lámina y la forma de la pieza termoformada para asegurar que la cavidad tenga la profundidad y la forma adecuadas.

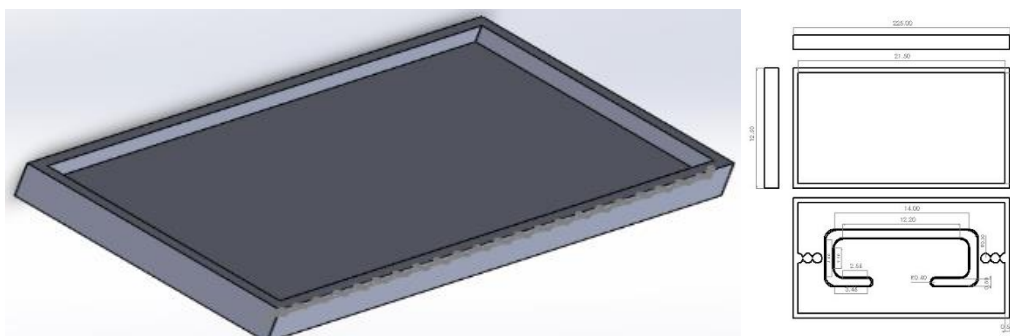


FIGURA 22:Placa hembra plana. Fuente: propia.

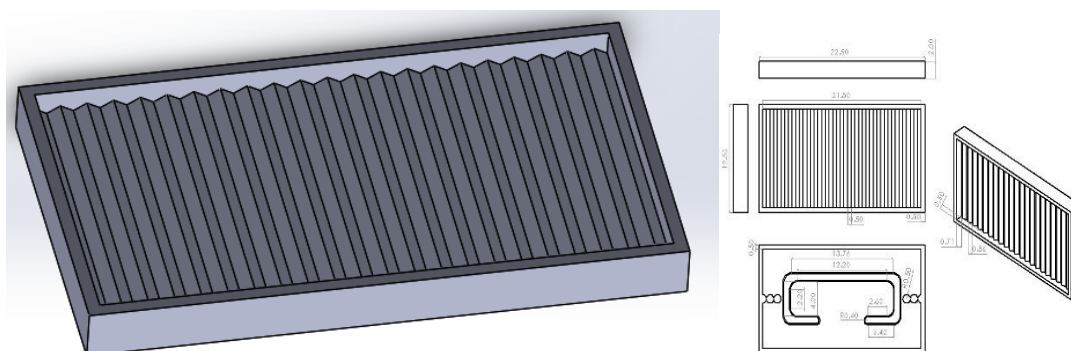


FIGURA 23:Placa hembra triangular. Fuente: propia.

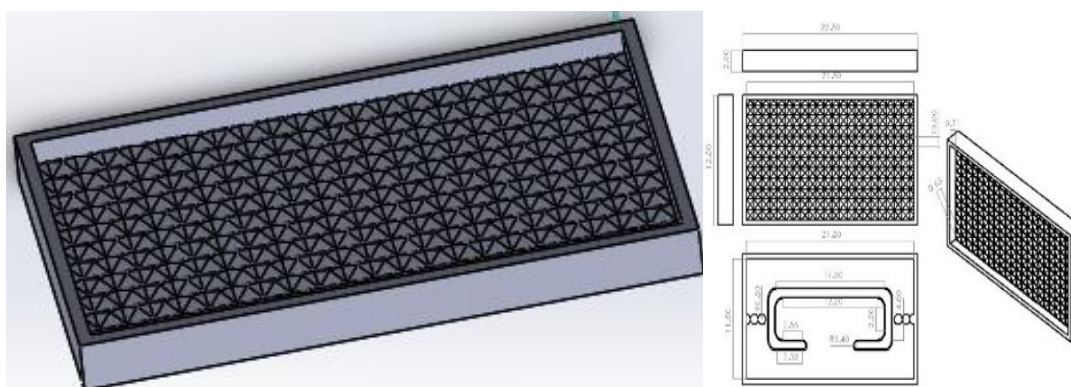


FIGURA 24:Placa hembra piramidal. Fuente: propia.

Se lleva a cabo una simulación del proceso de fabricación de las piezas de los moldes del prototipo de la termoformadora utilizando el software Aspire Vectric ® y como referencia la fresadora CNC MÁSTER CNC STR 1060. Para la fabricación de las piezas de los moldes, se utiliza madera MDF de 2 cm de grosor, lo que permite identificar el código G de control de instrucciones de movimientos de fresado numérico más adecuado para el proceso de Manufactura Asistida por Computador - CAM de los moldes de termoformado observados en los anexos. En la figura 25, se observa 3 fotografías secuenciales acerca del proceso de fabricación CAM EN fresa CNC y en la figura 26 se observa una fotografía de la fresadora CNC a usar en el proceso CAM.

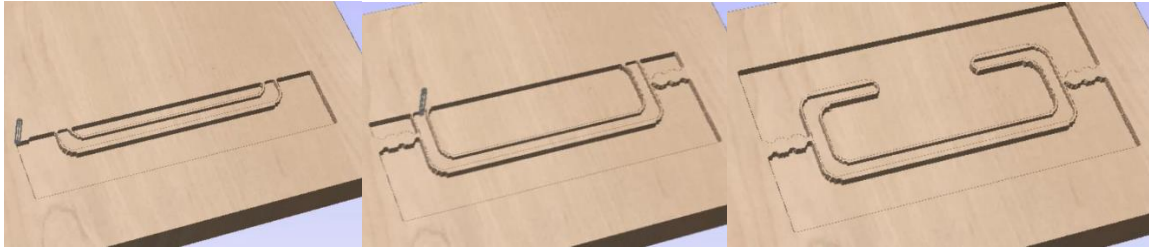


FIGURA 25: Simulación de proceso de fabricación CNC CAM. Fuente: propia.



FIGURA 26: Fresadora CNC MÁSTER CNC 1060

8.13 SIMULACIÓN TÉRMICA DE MOLDES DE TERMOFORMADO POR COMPRESIÓN

Una perspectiva adicional para considerar es la simulación posterior de la distribución de temperatura en los moldes creados en el CAD, los cuales se encuentran detallados en la sección 8.12. El objetivo de esta simulación es encontrar la mejor manera de generar una geometría que permita una distribución uniforme de calor en toda la placa del molde en material aluminio. Para lograrlo, se utiliza la misma geometría y posición encontrada en las sandwicheras comerciales. Se emplea una resistencia calefactora de 60 watts para inducir una temperatura de 140°C y se obtienen imágenes que representan la distribución de temperatura resultante.

Los resultados muestran que esta geometría es altamente precisa para lograr una distribución uniforme de temperatura en los moldes utilizados en el proceso de termoformado por compresión. En la figura 27, se puede observar la distribución de calor generada en las dos caras del molde mediante el uso de una resistencia calefactora.

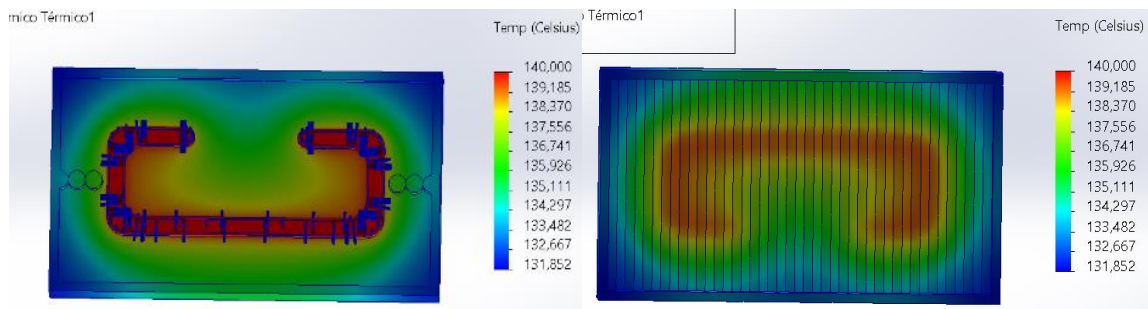


FIGURA 27: Simulación térmica de moldes de termoformado por compresión

8.14 REQUISICIÓN DE COMPONENTES CONDUCENTES A

TERMOFORMADORA

El presupuesto aproximado de materiales para el desarrollo del prototipo de termoformadora, gracias a las anteriores simulaciones, permite planificar de manera más efectiva los recursos necesarios para la construcción del prototipo de la máquina. Con esta información, fue posible determinar cuánto material sería necesario y calcular el costo aproximado de la construcción. De esta manera, se pudo planificar con anticipación y asegurarse de que los recursos estén disponibles antes de comenzar la construcción. La tabla de presupuesto generada en la sección 23 Presupuesto, proporciona información valiosa para este fin.

9 CONSTRUCCIÓN DE LA MÁQUINA DE TERMOFORMADO

El siguiente paso consiste en la fabricación e integración de cada una de las partes previamente diseñadas en el proceso de construcción del prototipo de la máquina de termoformado por compresión y sus moldes geométricos mediante operaciones de mecanizado, metalmecánicas y automatización industrial, con el objetivo de obtener un prototipo funcional y eficiente en el proceso de termoformado.

Con el objetivo de analizar las propiedades del polvillo de fique, se planifico la construcción e integración segmentada de cada una de las partes del prototipo de termoformadora por compresión. Es importante llevar a cabo una planificación detallada para asegurarse de que las partes del prototipo se construyan de manera ordenada y se integren de manera efectiva, lo que permite realizar pruebas y evaluaciones a medida que se avanza en el proceso. Además, una planificación adecuada puede ayudar a identificar cualquier problema o desafío que surja durante el proceso de construcción e integración de las partes del prototipo, y tomar medidas para solucionarlos de manera oportuna. En la figura 28 se observa un diagrama de los pasos de construcción de prototipo de termo formadora por compresión.

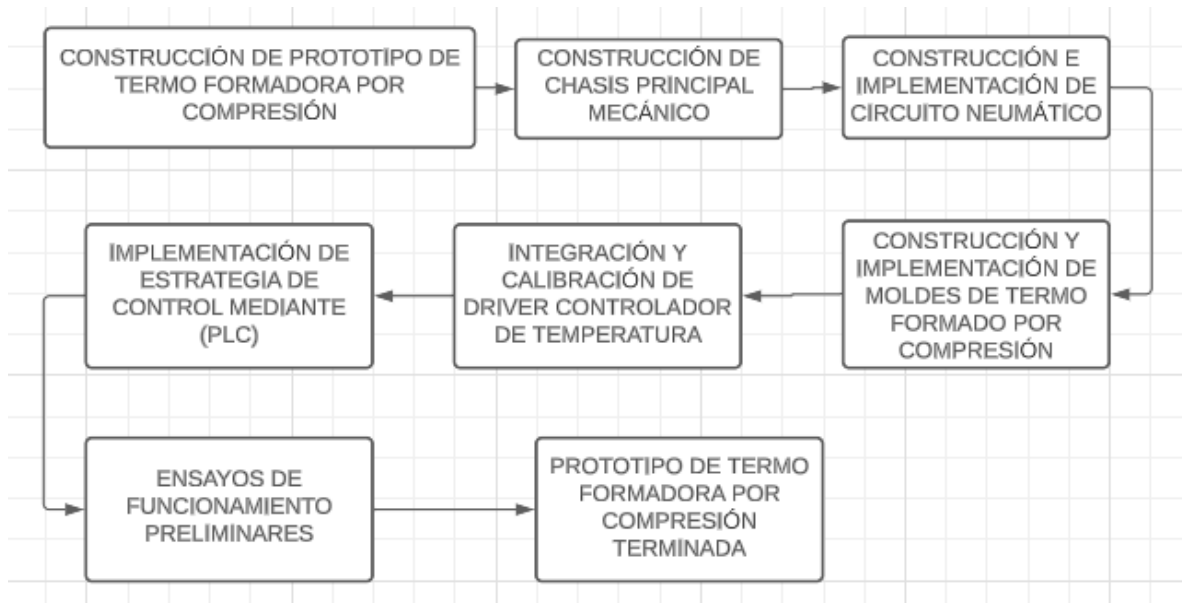


FIGURA 28: Diagrama de flujo del proceso de construcción. Fuente propia

9.1 CONSTRUCCIÓN DE CHASIS PRINCIPAL METÁLICO R

Para comenzar el proceso de construcción, se procede a cortar cada sección del tubo de hierro relacionada con el chasis principal metálico utilizando una pulidora eléctrica. Es importante asegurarse de que cada pieza esté en la medida adecuada para que encaje correctamente en el chasis principal metálico. Una vez que se han cortado todas las secciones de tubo, se procede a soldar cada una de las partes siguiendo los planos diseñados previamente en el software SolidWorks ®. Es fundamental realizar las soldaduras con cuidado y precisión para garantizar la estabilidad y durabilidad del chasis. Una vez que se han soldado todas las partes del chasis, se verifica que estén correctamente alineadas y niveladas antes de continuar con la siguiente etapa de construcción e integración del prototipo de termo formadora por compresión. En la figura 29 se observa la construcción terminada del chasis principal metálico en forma de “Y”



FIGURA 29: Chasis principal metálico.

9.2 CONSTRUCCIÓN E INTEGRACIÓN DE CIRCUITO NEUMÁTICO

Continuando con el objetivo de lograr el resultado deseado, se procede a la construcción e implementación de los componentes que conforman el circuito neumático descrito y realizado en la sección 8.5. Este circuito permite la compresión continua, sincronizada y regulada de dos pistones neumáticos de doble efecto, con el fin de comprimir el material a analizar. En la figura 30 se pueden observar dos fotografías que muestran la construcción e implementación del circuito neumático.

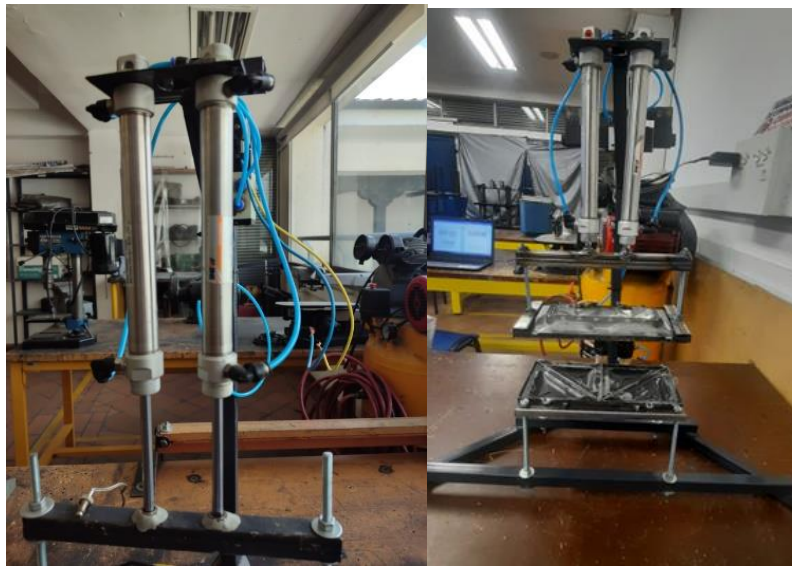


FIGURA 30: Integración de circuito neumático con pistones.

9.3 DRIVER CONTROLADOR DE TEMPERATURA

Siguiendo la secuencia del proceso de construcción del prototipo de termoformado por compresión, se implementa un controlador de temperatura especializado MAXTHERMO ® MC5838 para mantener los parámetros esperados en relación con la temperatura de los moldes de termoformado. Con este dispositivo, se asegura la precisión y la estabilidad de la temperatura de procesamiento del material de termoformado. En la figura 31 se muestra una fotografía del dispositivo implementado en el proceso.



FIGURA 31: A Driver controlador de temperatura: (maxthermo ® MC5853) – **B** Diagrama de conexiones Driver de controlador de temperatura (maxthermo ® MC5853). Fuente MAXTHERMO ®

Siguiendo el diagrama obtenido en el mismo dispositivo y especificado en la figura 29B, este será alimentado por una fuente alterna de 120V AC en la bornera de conexión 1 y 2, y posteriormente conectado a una termocupla tipo J -sensor de temperatura en las secciones de borneras 11 positiva y 12 negativa. La resistencia de 60W será conectada en las secciones de conexión a relés borneras 3 y 4. Posteriormente, se procede a la configuración especificada y descrita como opción AUTOTOOL, calibrando el dispositivo con la configuración PI adecuada para el proceso de control automático. De esta manera, se completa la construcción del circuito electrónico con control de temperatura.

9.4 CONSTRUCCIÓN DE PLACAS GEOMÉTRICAS DE TERMOFORMADO

Una vez completados los diseños digitales de las placas de molde en SolidWorks ® observados en la sección 8.12, se procede al mecanizado de los moldes. Para la fabricación se selecciona una máquina Fresadora CNC. Está permite seguir rutas especificadas utilizando los diseños digitales anteriormente realizados mecanizando la forma de un bloque sólido de un material quitando por desprendimiento de viruta el excedente y dejando así la forma deseada.

Acorde a lo anterior, se usa un software CAM Aspire Vectric ®, descrito en la simulación realizada de la sección 8.12 para generar los caminos de herramienta necesarios para operar la fresadora CNC. Ya analizadas las diversas simulaciones de alternativas para mecanizar los dos lados de los 3 moldes de placas de máquina de termoformado. En la figura 32 se observan las geometrías finales que tendrán las 3 placas al finalizar el mecanizado.

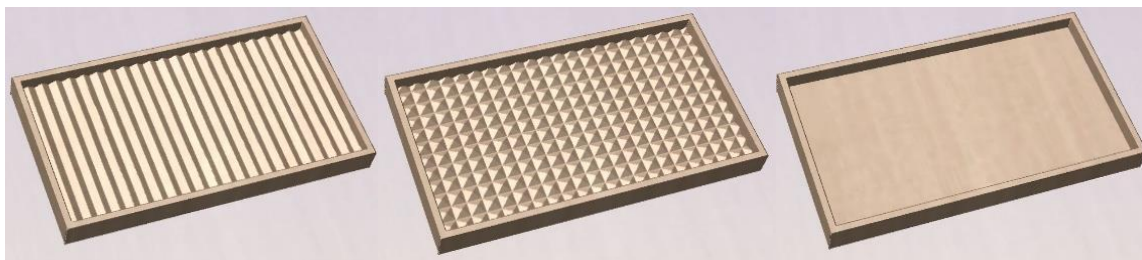


FIGURA 32:Proceso fabricación CAM MDF (FRESA CNC). Fuente propia.

Con las trayectorias de herramienta fresa de madera de 1/8 generados por Aspire Vectric®, se procede a iniciar el proceso de mecanizado en la fresadora CNC. La máquina utilizada fue la Máster CNC STR 1060 suministrada por la Corporación Universitaria Unicomfauca, la cual posee la capacidad de mecanizar con alta velocidad y precisión. El proceso de mecanizado involucra fresar láminas de MDF de 2 cm de grosor, eliminando capa por capa y definiendo la forma deseada. En la figura 33, la imagen A muestra el proceso de fabricación en la fresadora CNC y en la imagen B se observa la fabricación final de los moldes de placas de termoformado en MDF.



FIGURA 33: A Fabricación CAM (fresa CNC) - B Moldes de termoformado fabricadas en MDF: Fuente Propia.

Después de completar el proceso de mecanizado en MDF, se inspeccionaron cuidadosamente las placas del molde en busca de defectos o imperfecciones, realizando algunos ajustes menores y refinamientos para asegurar que los moldes cumplieran con las especificaciones requeridas. Luego se usan los moldes de termoformados fabricados en madera como modelo para fabricar los mismos moldes en material metálico aluminio por medio de la técnica de forjado, esto con el objetivo de otorgar las propiedades características de este material, como la conducción de calor y la rigidez en el proceso de compresión. Finalizando, se permite crear las mismas formas en arcilla y por lo siguiente crear los mismos moldes, pero en el nuevo material de aluminio. En la figura 34, se observa los

prototipos de moldes de placas de termoformado creadas en aluminio por el proceso de forjado.



FIGURA 34: Placas de termoformado fabricadas en aluminio.

En general, el proceso de materializar las placas del molde fue un paso crucial en el desarrollo del prototipo de máquina de termoformado por compresión. Este permite transformar los diseños digitales en objetos físicos que se pudieran utilizar en el proceso de fabricación. Al seleccionar materiales adecuados y utilizar tecnologías avanzadas de CAM y CNC, se puede producir placas de molde de alta calidad que cumplieran con los requisitos del molde.

Siguiendo el diseño anteriormente fabricado en la sección 8.12, se colocan las resistencias calefactoras en la parte trasera de cada una de las placas, por consiguiente, se crea un agujero del diámetro adecuado para la correcta sujeción de la termocupla tipo J, con ella se censura adecuadamente la temperatura de la placa. En la figura 35, se observa la sujeción de la resistencia de 60 W y creación del agujero central para la termocupla.



FIGURA 35 :A Implementación de resistencia a placa de termoformado – B Implementación de termocupla

9.5 IMPLEMENTACIÓN DE PLACAS DE TERMOFORMADO Y CALIBRACIÓN

Una vez que el molde está listo, se procede a montar a el prototipo de máquina de termoformado, se ajusta por medio de tuercas y arandelas sujetas a un tornillo sin fin, ubicado en cada uno de los extremos de la base del chasis en “Y”, ayudándose con un nivel se hacen ajustes para asegurar que este correctamente alineado y calibrado tanto el molde positivo como negativo. Siguiendo con el proceso de cerrado de moldes, se verifica el correcto ajuste de las caras y por lo siguiente el correcto funcionamiento de las resistencias calefactoras. En la figura 36, se observa las placas ya implementadas en el interior del chasis en forma de “Y” de la termoformado por compresión.



FIGURA 36:Implementación de placas a máquina de termoformado

9.6 IMPLEMENTACIÓN DE ESTRATEGIA DE CONTROL MEDIANTE UN PLC (CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMABLE)

Como siguiente paso en el proceso de construcción del prototipo de termoformadora por compresión, es fundamental crear un proceso de control industrial. Para ello, se seguirán los pasos del diagrama GRAFCET descrito en la sección 8.9. Con esto, se implementa un programa en LADDER en el software TIA Portal V13 ® de Siemens. Este programa se evidencia en el anexo.

Además de lo anterior, para mejorar el funcionamiento y manejo del prototipo de termoformadora por compresión, se implementa una interfaz gráfica - HMI con pulsadores gráficos y temporizadores programables. Esta interfaz facilita la experimentación en el proceso de compresión de las placas a base de polvillo y fibra de fique, permitiendo la programación y modificación de los tiempos de compresión y los tiempos de golpe de la máquina de termoformado. En la figura 37, se observan fotografías de la interfaz gráfica implementada en el programa de PLC s71200 utilizado en el prototipo de termoformadora por compresión.



FIGURA 37: Interfaz gráfica del proceso de control (GRAFCET). (SIMATIC HMI SIEMENS). Fuente: propia.

9.7 PROTOTIPO DE MAQUINA DE TERMOFORMADO

Para finalizar la construcción, se coloca el chasis metálico principal con todos los componentes previamente diseñados, fabricados e instalados dentro de la caja protectora, fijándolo firmemente en el contorno y asegurando la correcta calibración del molde positivo y negativo de las placas termoformadas, así como la conexión adecuada de los componentes electrónicos. Posteriormente, se llevó a cabo pruebas preliminares para garantizar que el prototipo de termoformadora funcione correctamente y cumpla con los requisitos de diseño. En la figura 38, se observa una fotografía del prototipo de termoformadora por compresión completada.



FIGURA 38: Prototipo de termo formadora por compresión. Fuente: propia.

9.8 ENSAYO PRELIMINAR

Después de la construcción de la máquina de termoformado, se procede a realizar pruebas para verificar su correcto funcionamiento. Para ello, se realizan pruebas de control industrial FAT ("Factory Acceptance Test") y SAT ("Site Acceptance Test"), que consisten en verificar que el rendimiento, la calidad y la seguridad de la máquina sean adecuados, tanto en la fábrica donde se construyó como en el sitio donde se instalará.

9.8.1 PRUEBAS FAT

Con el objetivo de asegurar el correcto funcionamiento del prototipo de termoformadora por compresión, se procede a realizar pruebas de FAT -Factory Acceptance Test. Estas pruebas consisten en la verificación del proceso de producción de la termoformadora por compresión, comprobando la precisión de las mediciones y los controles, así como verificando la seguridad y facilidad de uso del equipo.

PRUEBA DE COMPRESIÓN.

Para llevar a cabo esta prueba, es necesario calibrar el prototipo de la termoformadora por compresión. La calibración se realiza nivelando cada uno de los moldes mediante las tuercas ubicadas en los extremos. una vez completada la nivelación, se procede a compactar manualmente el polvo de fique, accionando la electroválvula que une la placa superior e inferior con una presión de aire de 90 psi o 6,2 bar. De esta manera, se demuestra que los moldes se unen de manera precisa, dejando el espacio diseñado para compactar el polvo de fique. En la figura 39, se pueden observar el proceso de compresión, en las cuales se verifica la correcta compactación del polvo de fique y la alineación adecuada de los moldes de la termoformadora por compresión.



FIGURA 39: Prueba de compresión. Fuente: propia.

PRUEBA DE CONTROL DE TEMPERATURA

Se llevaron a cabo pruebas de control térmico utilizando el controlador automático para el control de temperatura. Después de conectar y calibrar todos los componentes, se estableció una temperatura de 140 °C para realizar el proceso de calentamiento, se tomaron fotografías de los moldes geométricos utilizando un termómetro digital y una cámara térmica FLUKE ® PTi120 para observar los puntos centrales en la superficie de cada molde y medir su temperatura. De esta manera, se pudo determinar cuán cerca estaban de la temperatura de control asignada al controlador.

En la figura 40, se muestra la medición de temperatura de la placa utilizando el termómetro digital. Por otro lado, en la figura 41 se presentan tres fotografías tomadas en las caras de las placas de termoformado, donde se puede apreciar la temperatura base en la que se encuentran los moldes.



FIGURA 40: Temperatura tomada con termómetro

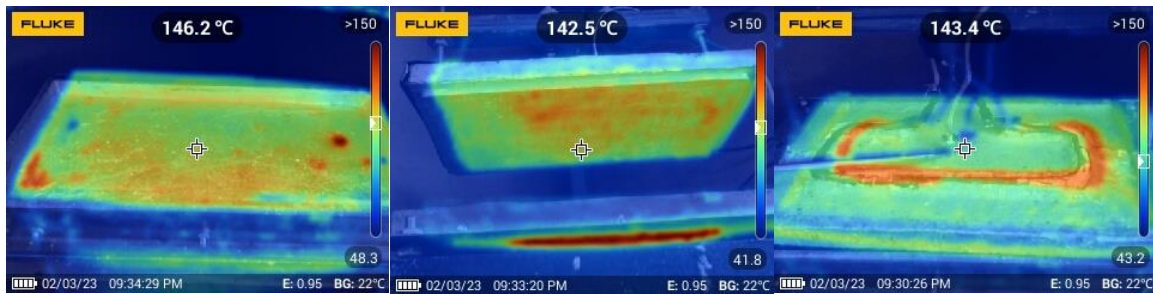


FIGURA 41 :Pruebas de temperaturas

Por los resultados encontrados en las pruebas FAT, se demuestra que las temperaturas de cada una de las placas están cercanas a las asignadas en el controlador de temperatura – MAXTHERMO ® MC5838, lo que indica el correcto funcionamiento del prototipo de termoformadora por compresión con relación a la regulación térmica.

9.9 PRUEBAS SAT

Las pruebas SAT o “Site Acceptance Test” son un protocolo de pruebas industriales enfocadas en garantizar el correcto funcionamiento de la maquina industrial, ejecutando pruebas de rendimiento y funcionalidad.

PRUEBA DE TIEMPOS DE COMPRESIÓN

Con el objetivo de analizar los tiempos de compresión correctos para el proceso de termoformado en el prototipo de termoformadora por compresión, se procede a analizar los tiempos a ingresar en la interfaz gráfica descrita en [la sección 9.6](#). Para ello, se comparan los tiempos de compresión utilizando un cronómetro digital manual. El propósito de esta comparación es asegurarse de que los tiempos de compresión utilizados en las pruebas sean los mismos que los ingresados en la interfaz gráfica.

En la figura 42, se muestran los tiempos de compresión ingresados en la interfaz gráfica A y los tiempos obtenidos mediante el cronómetro digital. De esta manera, se verifica que los tiempos sean iguales y se confirma la precisión del sistema.



FIGURA 42: Tiempos de compresión interfaz gráfica y tiempos obtenidos en cronometro.

10 DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE AMBIENTES CONTROLADOS

Con el objetivo de validar el correcto funcionamiento de las placas de polvillo de fique con propiedades termoacústicas, se lleva a cabo la fase de diseño e implementación de una cámara anecoica y un experimento de pruebas térmicas. Con ellos se busca validar si el material a analizar provee de propiedades acústicas y térmicas.

10.1 DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE PROTOTIPO DE CÁMARA ANECOICA

La cámara anecoica es una herramienta esencial en el campo de la ingeniería acústica. Una cámara anecoica ideal absorbe todo el sonido que llega a sus paredes, lo que permite medir la respuesta acústica de cualquier objeto en un entorno sin reflexiones. Este tipo de ambiente es importante en la evaluación de las propiedades de las placas, ya que permite un análisis más preciso de la respuesta acústica de las mismas. En este sentido, el diseño y construcción de una cámara anecoica precisa y confiable es de gran importancia en la investigación y el desarrollo de la ingeniería acústica y el diseño de materiales acústicos.

En la actualidad, los ensayos de pruebas acústicas se realizan en cámaras especializadas en estos procesos, llamadas cámaras anecoicas. Estas consisten en aislar los ruidos del exterior de los ruidos del interior, controlando variables que permiten entender el comportamiento del sonido en el interior de la cámara.

10.1.1 DISEÑO DE BOSQUEJOS DE PROTOTIPOS DE CÁMARA DE PRUEBAS ACÚSTICAS -CÁMARA ANECOICA

Al realizar este proceso, es necesario adquirir los conocimientos necesarios para diseñar un boceto de un prototipo de cámara anecoica que cumpla con el objetivo del prototipo. Por lo tanto, se diseña una mini-cámara capaz de emitir las frecuencias incidentes deseadas y que a su vez aísle el sonido en su interior, proporcionando un espacio adecuado para colocar el material a analizar. Además, este diseño permite medir el sonido en cada una de las caras del material. En la figura 43, se observa un boceto hecho a mano acerca de las primeras impresiones que proceden al prototipo de la cámara anecoica.

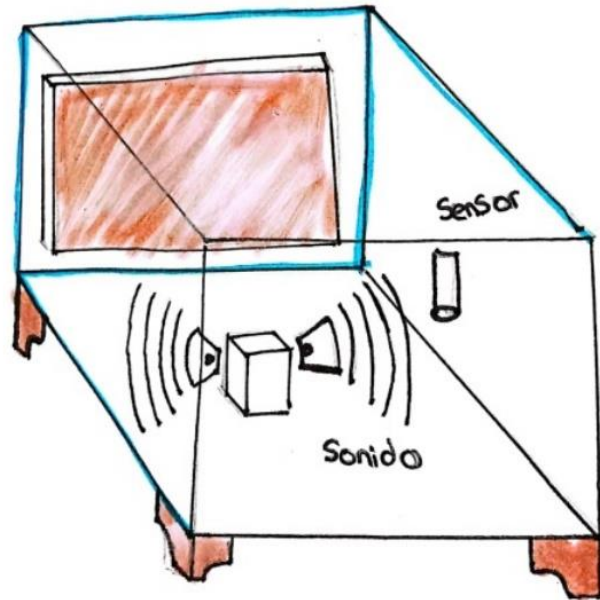


FIGURA 43: Boceto de prototipo de cámara anecoica. Fuente: Propia.

10.1.2 REQUERIMIENTOS DE DISEÑO DE CÁMARA ANECOICA

Los requerimientos de diseño de una cámara anecoica son esenciales para asegurar que se cumplan los objetivos de la medición acústica. Para ello, se deben tener en cuenta varios factores, como la geometría, la acústica y la mecánica.

En cuanto a la geometría, la cámara anecoica debe tener una forma lo más cuadrada posible para minimizar las reflexiones y difracciones del sonido. Las paredes, el suelo y el techo deben estar cubiertos de materiales absorbentes de sonido, conocidos como material anecoico, para evitar que las ondas de sonido se reflejen en la superficie y distorsionen la medición. Además, la puerta de entrada debe ser lo suficientemente grande como para permitir la entrada de los equipos que se medirán.

En cuanto a la acústica, se debe considerar la frecuencia de las mediciones que se realizarán en la cámara anecoica. Por lo general, se requiere que la cámara anecoica tenga una atenuación acústica de al menos 10 dB por octava a partir de 100 Hz. Esto significa que el material anecoico debe tener una profundidad suficiente para garantizar la absorción del sonido en todo el rango de frecuencia necesario.

En cuanto a la mecánica, la cámara anecoica debe ser construida con materiales sólidos y resistentes para soportar el peso de los equipos de medida. Además, la cámara anecoica debe estar montada sobre una base sólida y estable para minimizar cualquier vibración externa que pueda afectar la medición.

10.1.3 REQUISICIÓN DE COMPONENTES CONDUCTENTES DE PROTOTIPO DE CÁMARA ANECOICA.

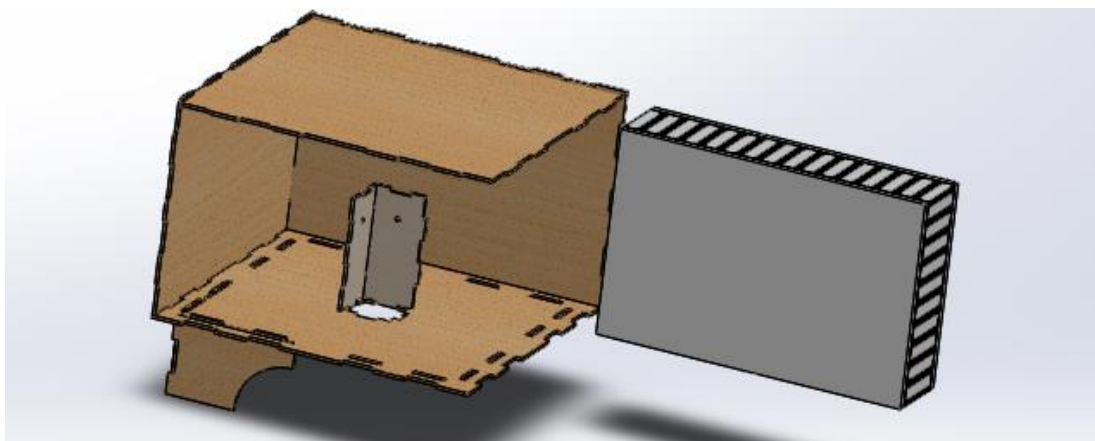
Teniendo en cuenta los requerimientos de diseño, se genera de manera eficiente la requisición de los materiales, elementos e insumos necesarios para la fabricación del prototipo de cámara anecoica. Estos materiales se describen en la tabla 6:

Tabla 6: Componentes conducentes a la construcción de prototipo de cámara anecoica

MATERIALES PROTOTIPO DE CÁMARA ANECOICA	
Placas de acrílico	Estructura de diseño para construir un chasis segmentado con espacio suficiente que permita el ingreso de cada uno de los parlantes de emisión de ruido y el material a analizar.
Parlantes de 30W	Con el objetivo de emitir frecuencias incidentes a el material a analizar
Circuito amplificado de sonido	Con el objetivo de amplificar, emitir y regular el factor potencia de la onda incidente
Adhesivos y sellantes	Cara unir y sellar las piezas y garantizar la integridad estructural del prototipo

10.1.4 DISEÑO ESTRUCTURAL CAD DE PROTOTIPO DE CÁMARA ANECOICA

Continuando con lo expuesto anteriormente, se procede al diseño de un prototipo de cámara anecoica basado en las secciones 11.1, 11.2 y 11.3. El prototipo consiste en una caja cerrada seccionada, cuyo diseño se elabora en el software CAD SolidWorks ®. Posteriormente, se realiza una simulación 3D en el software SolidWorks Simulator para verificar que el prototipo cumpla con los requerimientos de diseño mecánico y así poder proceder con su integración electrónica. En la Figura 44, se observa el resultado de la simulación 3D del prototipo de cámara anecoica cuadrada diseñada.



*FIGURA 44: Diseño seccionado del experimento “CAJA DE PRUEBAS SONORAS”.
Fuente: propia.*

10.1.5 PLANOS DE CÁMARA ANECOICA

Una vez obtenida la simulación 3D del prototipo de la cámara anecoica, el siguiente paso es generar los planos de ingeniería de precisión correspondientes, que muestran cada una de las partes seccionadas de la cámara (ver anexo 3. Planos de ingeniería de precisión). Estos planos se exportan al formato DXF y serán utilizados para la fabricación del prototipo mediante corte láser CNC. En la figura 45, se observa los planos en DXF de cada una de las piezas usadas en el proceso corte en laser.

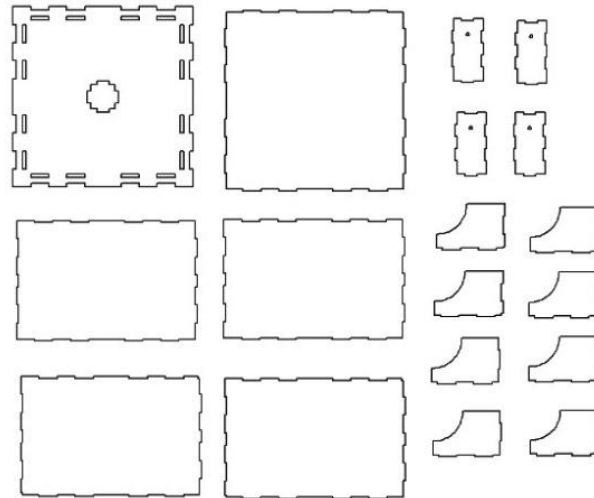


FIGURA 45: Cámara anecoica DXF. Fuente: Propia.

10.1.6 DISEÑO DE PLANOS ELECTRÓNICOS CÁMARA ANECOICA

Para complementar el prototipo de la cámara anecoica, es necesario diseñar un circuito amplificador de sonido que permita generar pulsos de sonido en frecuencias específicas en el interior de la recámara. Para ello, se deben conectar 4 parlantes y ubicarlos en cada una de las caras de la cámara anecoica. Se considera que la opción más adecuada y económica es utilizar dos módulos de circuito amplificador PAM8403, cada uno de los cuales está diseñado especialmente para alimentar dos parlantes de 3 watts. De esta manera, se cumple el requisito de amplificación y emisión de frecuencias dirigidas a cada una de las caras. Una vez resuelto este requerimiento, se procede a diseñar el circuito amplificador previamente mencionado mediante el software CAD Fritzing®, simulando y verificando su correcto funcionamiento. La Figura 46, muestra el diagrama en 2D del circuito amplificador utilizado en el prototipo de la cámara anecoica.

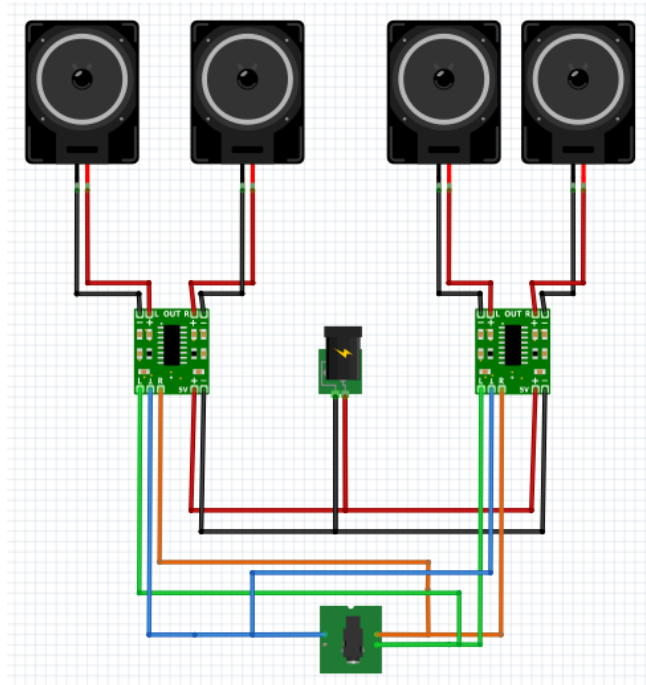


FIGURA 46:Diagrama circuito de amplificación cámara anecoica Fritzing ®. Fuente: propia.

10.1.7 CONSTRUCCIÓN DE PROTOTIPO DE CÁMARA ANECOICA R

Se procede a la construcción de la cámara anecoica utilizando los planos de los anexos “3. Planos de ingeniería de precisión”. Se usa como suministro esencial la cortadora láser de la marca MACROLASER suministrada por la Corporación Universitaria Comfacauca - Unicomfacauca para cortar cada pieza en material acrílico de 0.3 mm de grosor. El material acrílico es conocido por su durabilidad, resistencia y bajo costo, además de destacar sus propiedades de reflexión del sonido que impiden su paso fuera de la cámara, haciéndolo ideal para aplicaciones en ingeniería, como el diseño de una cámara anecoica.

Durante el proceso de corte se utilizaron dos tipos de acrílico: uno naranja y otro transparente, con la intención de seccionar las piezas fundamentales y observar el material que se está evaluando. Después del corte, cada pieza fue ensamblada cuidadosamente con adhesivos siguiendo los planos de ingeniería, lo que permite garantizar la precisión en la construcción de la estructura. En la figura 47-A, se observa una fotografía de cada una de las piezas ya cortadas en acrílico, mientras que la figura 47-B muestra la construcción completa de la estructura del prototipo de la cámara anecoica.

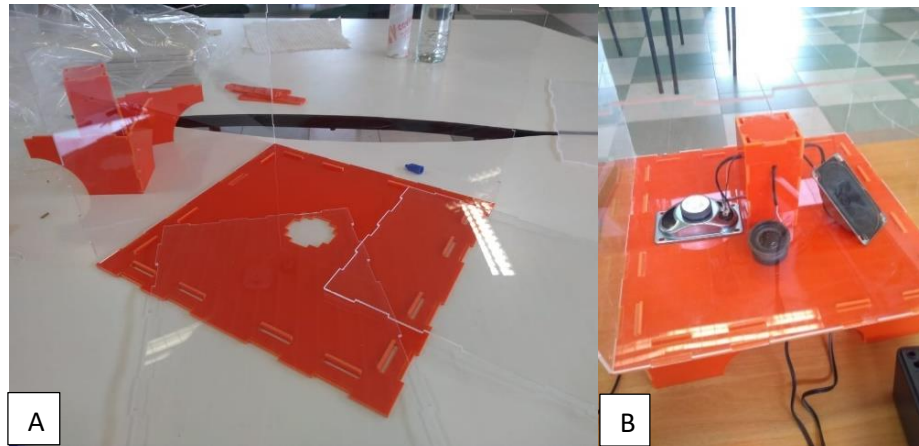


FIGURA 47 : A: Partes seccionadas en acrílico de la cámara anecoica, B: Cámara anecoica construido. Fuente: Propia

10.1.8 INTEGRACIÓN ELECTRÓNICA DE CÁMARA ANECOICA

Con el objetivo de emitir frecuencias a cada una de las caras de la cámara anecoica, se colocaron cuatro parlantes dirigidos hacia cada una de las paredes laterales de la caja, tal como se observa en la figura 47. Para ello, se toma como referencia el circuito electrónico descrito en la sección 11.6, de este modo, se conecta el circuito amplificador a una aplicación móvil mediante un conector Jack 3.5mm para emitir la frecuencia indicada con mayor comodidad. En la figura 48, se observan los parlantes instalados y conectados con el circuito construido en la sección 11.6. En la figura 49, se observa una fotografía con la simulación de un material a analizar.



FIGURA 48: Caja con parlantes posicionados y amplificadores PAM 8403

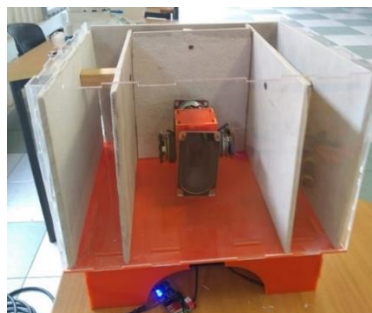


FIGURA 49: Cámara anecoica terminada con simulación de espacio de aislamiento

10.1.9 ENSAYO PRELIMINAR (CÁMARA ANECOICA)

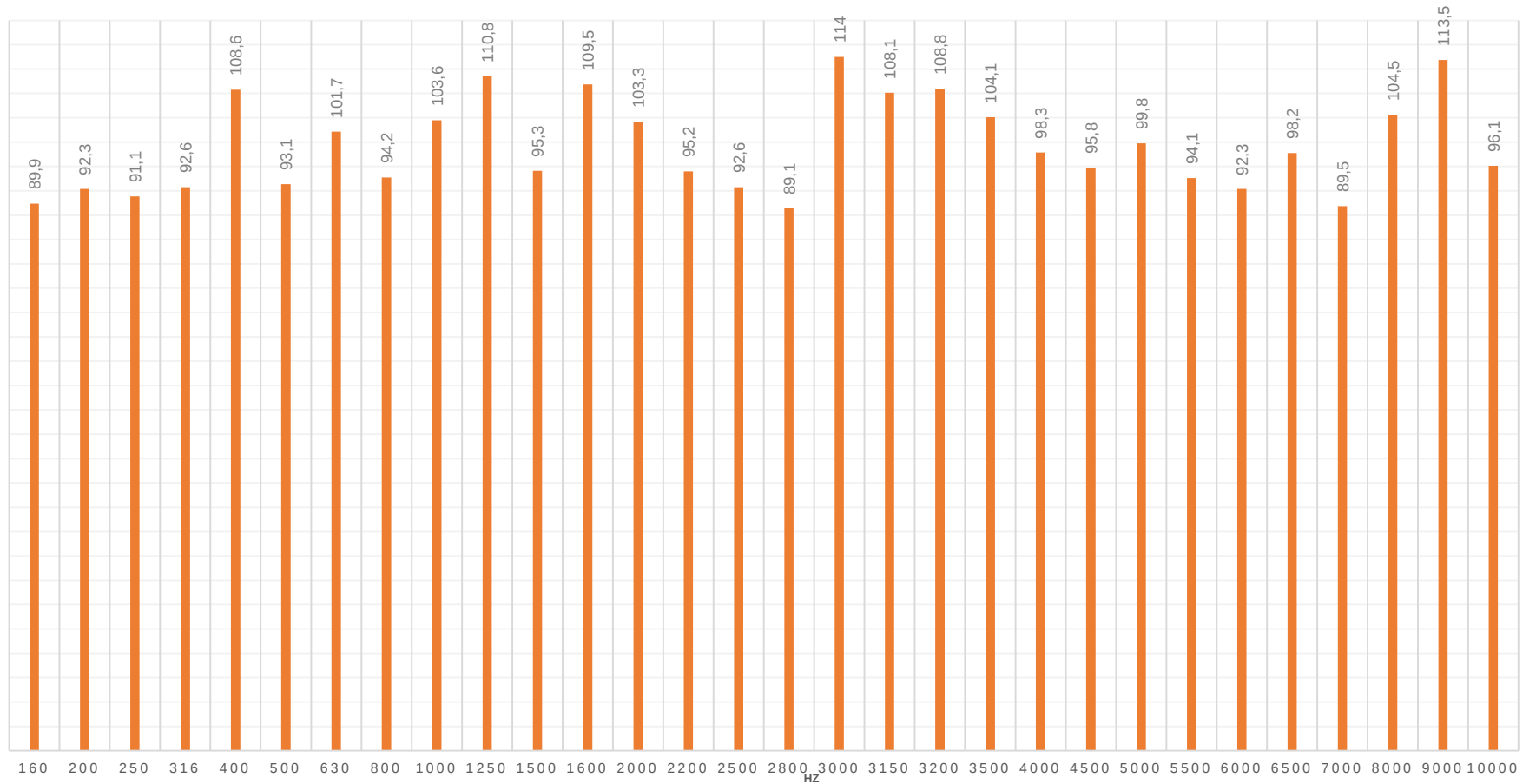
Para verificar la confiabilidad del prototipo de cámara anecoica construido, se tomó como referencia la tesis de opción de grado titulada “Diseño de cámara anecoica para el laboratorio de vibraciones y acústica (LAVA) de la escuela de ingeniería mecánica de UNIVALLE” [38]. En ella se destaca el uso de la norma ISO 3745, que indica la forma de emisión de pulsos de frecuencias para probar una cámara anecoica. A partir de esto, se llega a la conclusión de utilizar esta norma con algunas modificaciones para entender mejor las propiedades acústicas de los materiales a analizar. Por lo tanto, se utilizan las frecuencias de tercios de octava comenzando desde 125 Hz hasta 10 kHz, y además se analizan frecuencias intermedias entre cada tercio de octava, complementando así la prueba.

10.1.10 PRUEBAS FAT

Una vez definidas las frecuencias en las que se emitirán los pulsos y finalizada la construcción, se procede a realizar las pruebas para verificar su funcionamiento. Para ello, se lleva a cabo las pruebas de FAT ("Factory Acceptance Test"), estas consisten en verificar el proceso de toma de datos de presión acústica. Se tomarán medidas de decibelios (dB) con el sonómetro SL814, especificado en la sección 5.10, dentro de la cámara anecoica sin ningún material a analizar, con el objetivo de tener como referencia la presión acústica que generan los parlantes de 3W con cada reproducción de escala de frecuencia y calcular el índice de aislamiento acústico de los materiales dentro de la recámara. En la gráfica 1 se presentan los datos de presión acústica obtenidos dentro de la cámara anecoica en cada una de las frecuencias.

CÁMARA ANECOICA VACÍA

■ Cámara anecoica vacía Interior (Db)



Grafica 1: Pruebas SAT en decibels de cámara vacía. Fuente: Propia

10.2 DISEÑO Y EXPERIMENTACIÓN DE PRUEBAS TÉRMICAS

Con el objetivo de encontrar propiedades térmicas relevantes en el material a analizar, se diseña un experimento que permite calcular la diferencia de temperatura con respecto a cada una de las caras transversales del material. Así, teniendo en cuenta la ecuación obtenida en la norma ASTM C1155, se halla el flujo de calor perpendicular de temperaturas por medio de imágenes termográficas.[38]

$$\Delta T_s = T_{is} - T_{os}$$

ECUACIÓN 2: Flujo de calor transversal

T_{is} = temperatura superficial interna

T_{os} = temperatura superficial externa

10.2.1 DISEÑO DE BOSQUEJOS DE EXPERIMENTO DE VALIDACIÓN TÉRMICA DE LAS PLACAS DE CONGLOMERADO A BASE DE POLVILLO Y FIBRA DE FIQUE

Se diseña un experimento que permite medir las diferencias de temperatura relevantes en las placas a base de polvillo y fibra de fique. Para ello, se utiliza el mismo prototipo de termoformadora por compresión, con algunas modificaciones que permitirán utilizar el molde de termoformado inferior como placa emisora de temperatura, asegurando el contacto preciso del molde con la placa de polvillo y fibra de fique comprimida con la geometría adecuada. La temperatura será controlada por el controlador de temperatura MAXTHERMO ® MC5853 para obtener una temperatura precisa.

Para llevar a cabo la toma de datos, se utilizó la cámara termográfica Fluke PTi120 ® con el objetivo de medir la temperatura aproximada de la cara adyacente a la zona de emisión de temperatura. En la figura 50, se observa un boceto inicial del experimento de pruebas térmicas.

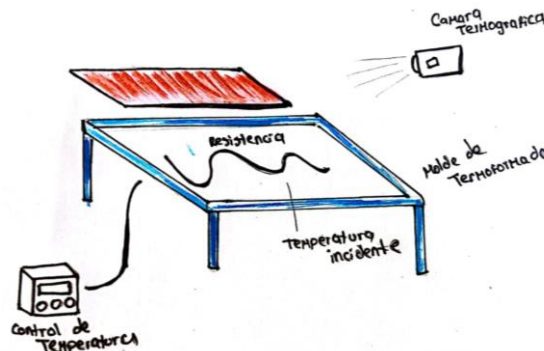


FIGURA 50: Bocetos de experimento de pruebas térmicas

10.2.2 REQUISICIÓN DE ELEMENTOS CONDUCENTES A LA FABRICACIÓN DE EXPERIMENTO DE PRUEBAS TÉRMICAS

Acorde a los bocetos, diseños y requerimientos, se genera de manera eficiente la requisición de los materiales, elementos e insumos necesarios para la automatización y toma de datos de validación para las pruebas térmicas:

Tabla 7: Materiales de experimento de pruebas térmicas

MATERIALES EXPERIMENTO DE PRUEBAS TÉRMICAS	
Placas molde de aluminio	Para mejorar la distribución del calor y proveer de un perfecto contacto geométrico al material a analizar.
Un controlador de temperatura	Para mantener la temperatura adecuada durante el proceso de emisión de temperatura incidente.
Cámara Termográfica	Con el objetivo de tomar imágenes que permitan definir las temperaturas en cada cara de proceso de toma de datos.
Resistencia calefactora	Con el objetivo de proveer de calor a el molde termoformado

10.2.3 CONSTRUCCIÓN DE EXPERIMENTO DE VALIDACIÓN TÉRMICA

Respecto al enfoque abordado, se procede a la construcción del experimento de pruebas térmicas. Para ello, se siguen los planos de las secciones anteriores, los cuales proporcionaron los pasos necesarios para realizar las modificaciones en la termoformadora por compresión. Se desarrolla un diagrama que detalla los pasos para desconectar algunos componentes de la termoformadora y reubicar las placas de termoformado junto con su respectiva termocupla, con el objetivo de realizar las pruebas pertinentes. En la figura 51, se observa el diagrama de modificaciones para el experimento de pruebas térmicas.

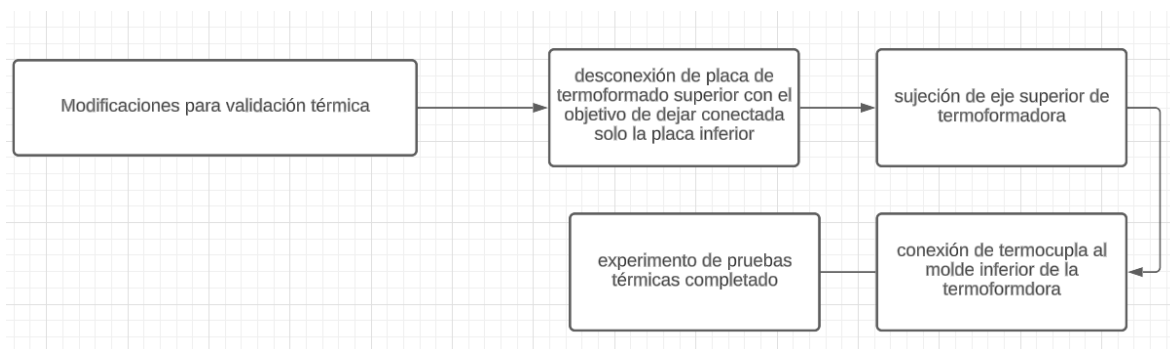


FIGURA 51:Diagrama de modificación para experimento de pruebas térmicas

10.2.4 ENSAYO PRELIMINAR DE FUNCIONAMIENTO DEL EXPERIMENTO DE VALIDACIÓN TÉRMICA

Con el objetivo de medir las diferencias de temperatura relevantes en las placas fabricadas con polvillo y fibra de fique, se llevó a cabo un ensayo preliminar para verificar el correcto funcionamiento del experimento de pruebas térmicas. Se utiliza una cámara termográfica Fluke ® PTi120 para verificar el control y comportamiento adecuados de la temperatura inducida en la placa inferior. Teniendo en cuenta el índice máximo de combustión teórico del polvillo de fique a 360°C, se decide establecer una temperatura baja de 50°C en una de las caras de la placa. Esta temperatura es medida con la cámara termográfica para demostrar que tanto el controlador de temperatura como la cámara están funcionando correctamente. La figura 52, muestra la imagen termográfica de la temperatura de emisión estándar de las placas a 50°C, confirmando que la temperatura emitida es la correcta.

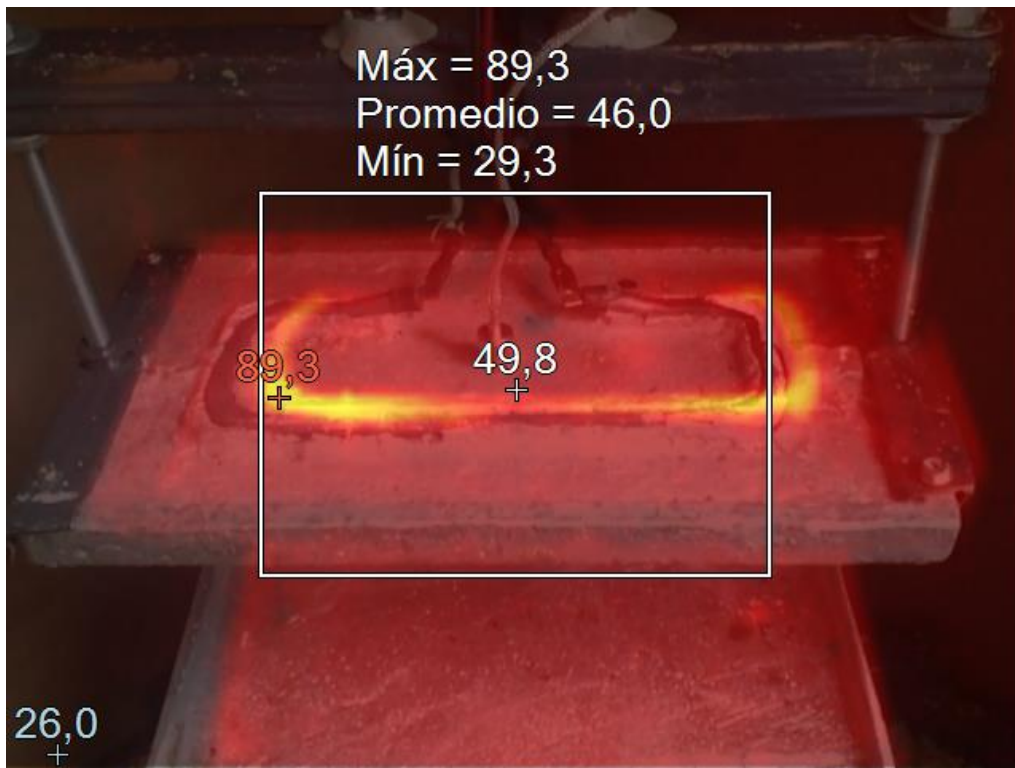


FIGURA 52 :Termografía estándar de temperatura de emisión base

11 RESULTADOS

11.1 EXPERIMENTACIÓN PLACAS DE CONGLOMERADO A BASE DE POLVILLO Y FIBRA DE FIQUE

En este capítulo, el objetivo es encontrar los parámetros adecuados para lograr el mejor funcionamiento del prototipo de termoformadora por compresión y producir placas a base de polvillo y fibra de fique. Se llevan a cabo experimentos para observar los efectos de la termocompresión en diferentes intervalos de tiempo y con distintos porcentajes de los materiales del conglomerado. En esta primera fase, se utiliza como punto de partida la validación de las recetas de placas de conglomerado previamente realizadas en la empresa Empaques del Cauca S.A. Estas se toman como base para realizar modificaciones y complementos en las recetas, con el objetivo de obtener placas de termoformado uniformes y compactas.

11.1.1 PRIMERA RECETA

Al analizar una de las primeras placas fabricadas utilizando la receta inicial investigada por el proyecto Ecowoods en la empresa Empaques del Cauca S.A., se cuestiona la rigidez del conglomerado, una vez que se observa la placa y los porcentajes de los materiales que la componen. Se deduce que la compresión fue uniforme, pero no permite el escape de gases durante el proceso de termocompresión. Debido a esto, la densidad y uniformidad de las placas eran bajas, lo que ocasionaba una gran fragilidad del material. En la figura 53, se observa una fotografía de la placa fabricada con la receta número 1, además, se puede consultar la tabla 8 para obtener detalles sobre la composición del material.

Tamaño: 12,7 Cm x 12,7 Cm x 0,44Cm

Peso: 96,5g

Tabla 8: Primera receta "Ecowoods".

Material	Cantidad gramos	Porcentaje
Polvillo	45	36%
Almidón	10	8%
agua	30	24%
glicerol	10	8%
Resina	30	24%
total	125	100%



FIGURA 53: Placa compactada receta # 1

11.1.2 SEGUNDA RECETA

La segunda prueba experimental es realizada con la segunda receta desarrollada e investigada por el proyecto "Eco Woods" en la empresa Empaques del Cauca S.A. Se realiza una minuciosa observación de esta placa, evidenciando que la compresión se lleva a cabo de manera más efectiva en comparación con la anterior, lo cual resulta en una mayor uniformidad, peso y rigidez. Sin embargo, se observa un exceso de resina solidificada alrededor de todo el material. Se concluye que este

exceso de resina compacta el material y genera una placa sólida, con una superficie lisa compuesta por polvillo de fique envuelto en resina. En la figura 54, se muestra una fotografía de la placa fabricada con la receta número 2 y además, se presenta la tabla 9 que detalla la composición de esta receta.

Tamaño: 12,7 Cm x 12,7 Cm x 0,44Cm

Peso: 107,3g

Tabla 9: Segunda receta “eco Woods”.

Material	Cantidad gramos	Porcentaje
Polvillo	40	34,78%
Almidón	10	8,70%
Agua	10	8,70%
Glicerol	10	8,70%
Resina	45	39,13%
Total	115	100%



FIGURA 54: Segunda receta a validar

11.2 CONGLOMERADO DE FIBRAS NATURALES Y POLVILLO DE FIQUE CON PROPIEDADES TERMOACÚSTICAS

Después de analizar las recetas anteriores y considerando la información relevante en los documentos de antecedentes de la sección 6, donde se observa la alta probabilidad de que estos materiales posean propiedades termoacústicas, se decide buscar una nueva receta que tenga un punto medio para la placa de conglomerado a base de polvillo y fibra de fique. El objetivo es lograr un material que no sea excesivamente rígido ni frágil, además de encontrar las mejores técnicas para proporcionarle propiedades termoacústicas relevantes.

Para ampliar la comprensión del tema, es importante mencionar los primeros pasos en la producción de placas de conglomerado a base de polvillo y fibra de fique. Estos pasos involucran la recolección de los residuos generados durante el proceso de producción de sacos de fique en la empresa Empaques del Cauca S.A. Dichos residuos se originan durante las etapas de peinado, hilado y tejido, utilizadas para la fabricación de sacos con este material. En la figura 55, se pueden observar los residuos generados en todo este proceso. Estos residuos consisten en polvillo y fibra de fique, los cuales suelen estar mezclados entre sí y presentar diferentes diámetros y longitudes.



FIGURA 55: Desechos de producción de sacos de fique.

Por lo anterior mencionado, es necesario separar las fibras más grandes y las partículas más gruesas, por lo tanto, se decide tamizar el residuo usando un tamiz metálico de: 9.5mm de abertura o conocido como 3/8 de talla, ya que se observa que este es el más apto para dejar pasar el polvillo de fique y las fibras de fique más delgadas. En la figura 56, se observa el tamiz usado en el proceso y el resultado del residuo después de ser tamizado.



FIGURA 56: Tamiz metálico. Polvillo y fibra de fique usado en el conglomerado

Posteriormente, se toma en cuenta las primeras recetas a validar en la empresa Empaques del Cauca S.A., y se decide utilizar los mismos materiales y temperatura de termoformado, los cuales se describen en la tabla X:

Tabla 10: Materiales principales placas a base de polvillo y fibra de fique

MATERIALES PLACAS A BASE DE POLVILLO Y FIBRA DE FIQUE	
Polvillo y fibra de fique	Residuo del proceso de sacos de fique
Almidón de yuca	Esta con el objetivo de mejorar la adherencia de las partículas
Glicerol	Con el objetivo de darle propiedades plásticas al conglomerado
Resina	Con objetivo de endurecer las placas de conglomerado.
Agua	Con el objetivo de mezclarla con el almidón de yuca con los demás compuestos
Temperatura	150 °C de temperatura durante 5 minutos

11.3 EXPERIMENTACIÓN

Teniendo en cuenta lo anterior, el objetivo principal para obtener el resultado deseado se basa en desarrollar un proceso de experimentación que permita variar las concentraciones de resina, glicerina, almidón de yuca, agua y temperatura. De esta manera, se obtiene una nueva receta que permita producir placas de conglomerado de polvillo de fique con una mayor consistencia, uniformidad y tamaño en comparación con las placas anteriores, además de incorporar geometría y resaltar propiedades termoacústicas relevantes.

Utilizando los moldes de termoformado por compresión observados en la sección 9.4, se procede a una experimentación de termoformado adecuada permitiendo que la nueva receta obtenida puede quedar con la geometría dada por los moldes, observando la reacción con cada variación del conglomerado, y realizando apuntes relevantes que permitan paso a paso llegar al objetivo de obtener una placa a base de polvillo y fibra de fique uniforme.

Para realizar la mezcla del conglomerado de la mejor manera, se establecen tres pasos a seguir:

Paso 1: Se pesa el polvillo y el almidón de yuca en las proporciones indicadas en la receta, y se mezclan de manera uniforme.

Paso 2: Al resultado de la mezcla generada en el paso 1, se le agrega la glicerina en las proporciones establecidas en la receta, mezclado y creando una masa compuesta por los materiales anteriormente mencionados.

Paso 3: En el paso final, se pesa la resina epoxi con el catalizador en las proporciones descritas en la receta, luego se agrega a la mezcla anterior creando

una masa más uniforme y ligeramente pegajosa, que debe ser colocada rápidamente en los moldes de termoformado para dar inicio al proceso de termocompresión antes de que se endurezca.

En la figura 57, se muestra el diagrama de los pasos a seguir para llevar a cabo el proceso de mezclado del conglomerado de manera óptima

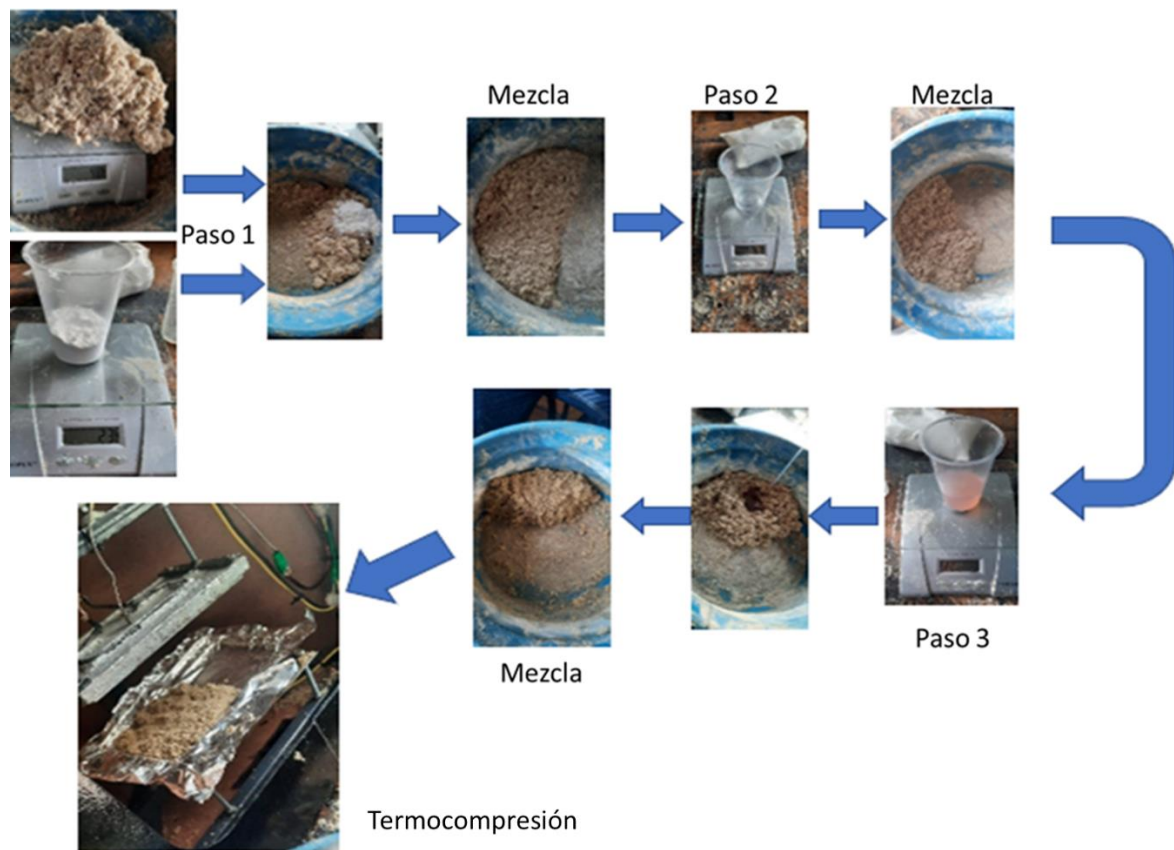


FIGURA 57 :Diagrama de experimentación de conglomerado a base de polvillo y fibra de fique

11.3.1 PRIMERAS OBSERVACIONES

Se inicia el proceso de experimentación para la compactación de las primeras placas de conglomerado. Se utilizaron las primeras recetas suministradas por el proyecto Eco Woods y la empresa Empaques del Cauca S.A. Esto permite obtener una primera visión del proceso de termocompresión.

Como resultado, se obtuvieron los primeros lotes de conglomerado sin compactar, y se observa que la proporción de materiales utilizada era insuficiente para lograr una adecuada compactación. Esto resulta en la incapacidad de producir placas de mayor tamaño utilizando los moldes de termoformados planos y piramidales mencionados en la sección 9.4. En consecuencia, el conglomerado de polvillo y fibra de fique no resulta ser adecuado, lo que condujo a la obtención de placas frágiles y con exceso de cocción en la mayoría de los casos. Además, se identifica la

presencia de gases residuales en el proceso de termocompresión. En la figura 58, se observa las imágenes de los primeros 6 intentos para formar placas de conglomerado de polvillo y fibra de fique.



FIGURA 58: Primeras impresiones

11.3.2 PRUEBA 1 EXITOSA

Después de realizar veinticuatro (24) intentos de fabricación de placas sin obtener resultados positivos, finalmente, se logra encontrar una receta que permite una mejor compactación y uniformidad en comparación con las recetas anteriores. Esto se logra mediante modificaciones significativas en las cantidades de glicerol y almidón de yuca utilizadas.

Además, se observa que las placas podían ser extraídas del molde sin que se fragmentaran. Después de ser expuestas al medio ambiente y al reducir su temperatura, se nota que pasados diez (10) minutos, se forma una pequeña capa de resina solidificada en la superficie de las placas. También se observan agujeros y protuberancias generadas por los gases que quedaron atrapados dentro del molde durante el proceso de compresión, dando a entender que para uniformidad en la placa es necesario dejar escapar este gas; Estos resultados indican un posible sobre cocinado de la receta, lo cual sugiere una temperatura y tiempo excesivos durante el proceso de cocción del material. En la figura 59, se muestra una fotografía de la primera placa fabricada con éxito utilizando la receta inicial de polvillo y fibra de fique, junto con la tabla 11 se detalla los materiales utilizados en esta receta, junto con sus respectivos porcentajes.

Tabla 11: Receta placa prueba 1 exitosa.

RECETA 1- EXITOSA	
Fique	20g
Almidón	10g
Glicerol	15g
Resina	40g
Catalizador	5%
Temperatura	170C°
Tiempo	10 m



FIGURA 59: Prueba 1 exitosa: conglomerado de polvillo de fique

11.3.3 PRUEBA 4 EXITOSA

A continuación, se crean tres (3) placas adicionales con el objetivo de mejorar la receta mencionada anteriormente. Se redujeron las temperaturas y tiempos de cocción, lo que resulta en una mejora en la coloración y compactación del conglomerado de fibras y polvillo de fique. Además, se decide aumentar el porcentaje de catalizador para acelerar la solidificación de la placa extraída de la termoformadora, logrando una completa solidificación en un tiempo de cinco (5) minutos.

A pesar de estas mejoras, las tres placas aún presentan burbujas que dificultaban una compactación más uniforme. Como resultado, se decide incrementar la cantidad de material y utilizar un protocolo de compresión, el cual se especifica en la sección 8.9. Este protocolo consiste en establecer tiempos determinados de compresión y descompresión, conocido como "tiempo de golpe". El tiempo de golpe permite que los gases generados durante el proceso de compresión escapen, lo que a su vez permite obtener placas más uniformes. En la figura 60, se muestra una fotografía de la cuarta placa fabricada con éxito utilizando la receta 2 exitosa, junto con la tabla 12 que detalla los materiales utilizados en esta receta y con sus respectivos porcentajes.

Tabla 12: Receta placa prueba 4 exitosa

RECETA 2-EXITOSA	
Fique	20g
Almidón	10g
Glicerol	15g
Resina	40g
Catalizador	10%
Temperatura	150C°
Tiempo	5 m



. FIGURA 60: Fotografía prueba 4

11.3.4 PRUEBAS 6 EXITOSA

Al implementar el protocolo de compresión, se introducen dos nuevos parámetros en la interfaz de termoformado, como se muestra en la sección 8.9. Estos parámetros son conocidos como "tiempo de golpe" y "tiempo de descompresión".

El tiempo de golpe se refiere al intervalo en milisegundos durante el cual la termoformadora deja de comprimir, elevando la plataforma y permitiendo la liberación de gases. Una vez finalizado este tiempo, la máquina vuelve a comprimir.

El tiempo de descompresión se refiere al período que sigue al tiempo de golpe. Durante este intervalo, la termoformadora continúa comprimiendo el material. Una vez concluido, se reinicia el tiempo de golpe, estableciendo así un ciclo de compresión y golpe que se repite durante todo el tiempo de compresión.

En consecuencia, se decide establecer un tiempo de golpe de treinta (30) milisegundos y un tiempo de compresión de uno (1) minuto. Durante los 5 minutos totales de compresión, se duplica la cantidad de polvillo de fique, almidón y glicerol, así como también se duplica el ancho de la placa, con el objetivo de lograr un grosor de ocho (8) mm. Esto condujo a resultados exitosos, con una compactación mucho más uniforme y sin la presencia de burbujas. En la figura 61, se muestra una fotografía de la primera placa totalmente uniforme fabricada con éxito utilizando la receta 3, junto con la tabla 13 que detalla los materiales utilizados en esta receta, con sus respectivos porcentajes y tiempos de cocción.

Tabla 13: Receta 3 placa prueba 6 exitosa.

RECETA 3	
Fique	40g
Almidón	20g
Glicerol	40g
Resina	40g
Catalizador	10%
Temperatura	150 C°
Tiempo	5 min



FIGURA 61: Primera placa uniforme y receta

12 PROTOTIPO DE CONGLOMERADO DE POLVILLO DE FIQUE CON PROPIEDADES TERMOACÚSTICAS

Procediendo con el método de experimentación descrito anteriormente, se duplican y mejoran las placas, buscando un excelente conformado y una mayor uniformidad. Se realizan pequeñas modificaciones en la receta, teniendo en cuenta los tiempos de golpe y descompresión, así como un ligero aumento en la cantidad de fique y glicerol. Como resultado, logramos obtener la placa más uniforme en todo el proceso de experimentación. Este éxito permite duplicar dicha placa y establecerla como una receta base para futuros estudios de las propiedades termoacústicas.

Gracias a esta mejora, se asegura la obtención de placas estables y continuar con la adquisición de datos para el siguiente estudio de dichas propiedades termoacústicas. En la tabla 14, se observa la receta 5, base de las placas de polvillo y fibra de fique con propiedades termoacústicas.

Tabla 14: Receta base “placas de polvillo y fibra de fique con propiedades termoacústica”

RECETA 5	
Fique	45g
Almidón	20g
Glicerol	45g
Resina	40g
Catalizador	10%
Temperatura	140 C°
Tiempo	5(min)
Peso promedio	150g

13 INTEGRACIÓN DE PLACAS GEOMÉTRICAS EN LA TERMOFORMADORA

13.1 OBTENCIÓN DE PLACAS PIRAMIDALES

Para la obtención de las placas, se procede a utilizar el segundo molde de termoformado, conocido como "piramidal". El objetivo es obtener placas de termoformado con una geometría específica, con el fin de añadir propiedades de aislamiento acústico a las placas a base de polvillo y fibra de fique. El diseño está inspirado en la misma geometría utilizada en aislamientos acústicos comerciales. Se duplica el proceso de termoformado y se crearon exitosamente doce (12) placas adicionales con la geometría específica, con el objetivo de analizar sus propiedades termoacústicas. En la figura 62, se muestran tres fotografías donde se aprecia la implementación de los moldes triangulares en el prototipo de termoformadora, así como la duplicación de la misma placa utilizando la receta 5.



FIGURA 62: Placas de conglomerado y polvillo de fique con geometría(piramidal)

13.2 OBTENCIÓN DE PLACAS PLANAS

Mediante la experimentación previa, se decide adoptar la receta anterior como la más adecuada, considerando los criterios mecánicos previamente establecidos. Esta receta logra mejoras significativas en la resistencia, uniformidad, tamaño, color y olor del conglomerado. Esta es seleccionada como la receta predeterminada para el proceso de termoformado, utilizando los moldes de diferentes geometrías diseñados y fabricados en la sección 9.4.

En consecuencia, se procede al termoformado de placas de conglomerado de polvillo y fibras de fique utilizando el molde de termoformado plano. El objetivo es producir al menos doce (12) placas que se utilizan en las pruebas de propiedades termoacústicas y mecánicas. En la figura 63, se muestran dos fotografías donde se aprecia la mejora significativa en la placa, así como la duplicación de la misma placa utilizando la misma receta sin realizar cambios adicionales.



FIGURA 63: Placas de conglomerado y polvillo de fique sin geometría(planas)

14 PRUEBAS DE AISLAMIENTO ACÚSTICO

Con el objetivo de demostrar las propiedades acústicas de las placas fabricadas a partir de polvillo y fibra de fique, se realiza la medición de su índice de aislamiento acústico característico, como se especifica en la sección 11.9. Para llevar a cabo esta medición, se utiliza un prototipo de cámara anecoica diseñado y construido en las secciones 11.4 y 11.7. En esta cámara, se generan pulsos de frecuencias constantes, teniendo en cuenta el rango audible para un humano adulto. De esta manera, es posible medir la presión acústica utilizando un sonómetro modelo SL814.

Para realizar este proceso, se desarrolla un método que permite la emisión controlada de frecuencias y la recopilación de los datos necesarios para calcular el índice de aislamiento acústico del material en estudio, en este caso, las placas fabricadas a partir de polvillo y fibra de fique.

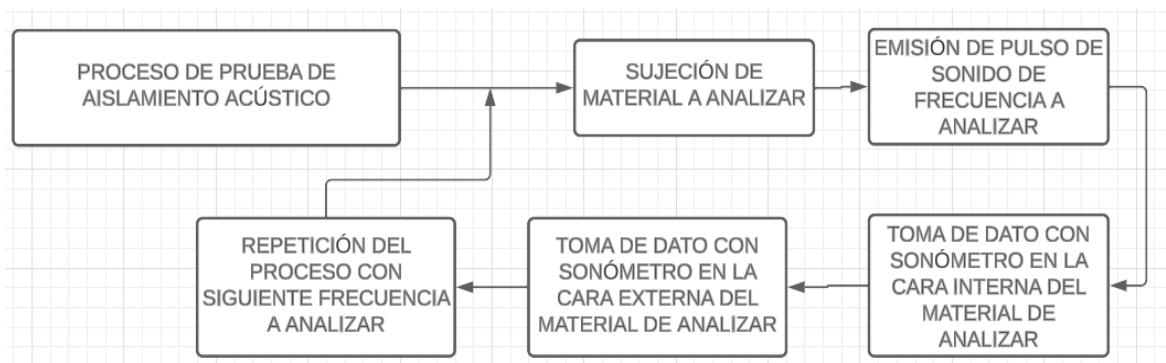


FIGURA 64: Proceso de pruebas acústicas

Teniendo en cuenta el estudio (ver Tabla 15) realizado por una empresa privada y contrada por la empresa Empaques del Cauca S. A., se observa las frecuencias de emisión de presión acústica en dB(A) analizadas en el espectro acústico de emisiones de las máquinas industriales usadas en el proceso de fabricación sacos de fique. Los resultados del estudio evidencian las frecuencias específicas que generan mayor presión acústica y por lo tanto frecuencias importantes para analizar el índice de aislamiento acústico con las placas a base de polvillo y fibra de fique.

Tabla 15 : Estudios acústicos generados por empresa contratada por Empaques del Cauca S.A

N o	Área	NPS dB(A)	NPS dB(Lin)	Análisis de bandas de frecuencia									
				31,5 Hz	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 KHz	2 KHz	4 KHz	8 KHz	16 KHz
1	Confección	88,8	90	32,1	48,2	62,7	75,2	79,3	81	83,7	83,1	78,6	68,1
Observaciones: en el área las fuentes principales de ruido son las máquinas cosedoras y las utilizadas a su alrededor, como tejedora													
2	Telares	90,1	92	36,2	52,7	65,8	75,6	81,6	83,6	83,6	83,3	81,9	75,3
Observaciones: para el lugar evaluando las fuentes de ruido son los telares planos y circulares, que reciben mantenimiento diario.													
3	Hiladoras	90,8	92,4	40,5	54,8	64,7	76	81,7	85,3	86,5	83	76,9	63,5
Observaciones: monitoreo llevado a cabo entre las hiladoras 9 y 10, por lo que se consideran fuentes de altos niveles de presión sonora													
4	encordadora y urdidora	87	89,2	35,1	50,2	64	73,4	79	80,1	80,4	80,2	78,4	72,2
Observaciones: en el urdido los hilos pasan por un peine de madera que lleguen en forma paralelo a un carrete, donde se enrollan de una longitud y tensión determinada.													
5	carada y manual	94	95	34,5	52,5	65,4	78,3	86,3	87,6	88,3	88,1	81	68,6
Observaciones: inicio del proceso, donde las cardas abren las capas de fibras, separándolas y depurándolas por última vez de suciedades y fibras cortas.													
6	manuales	90,5	91,8	37,8	46,6	61,7	75,1	82,7	83,2	84,5	84,2	81,6	73,6
Observaciones: durante la medición estaba pausado el proceso debido al cargue de materia, para la producción de la mecha. La limpieza del lugar se realiza con aire comprimido													

Con la anterior información y duplicando el proceso de toma de datos de las pruebas FAT descritas en la sección 11.10 del prototipo de cámara anecoica, se procede con la toma de datos para hallar los índices de aislamiento acústico en cada una de las geometrías aplicadas a las placas a base de polvillo y fibra de fique.

14.1 AISLAMIENTO ACÚSTICO PLACAS PLANAS

Procediendo con el método de toma de datos acústicos descrito anteriormente, se llevan a cabo pruebas experimentales en el prototipo de cámara anecoica para evaluar la eficacia del material compuesto de polvillo y fibra de fique en la reducción de ruido. Estas pruebas se realizan utilizando las placas fabricadas con este material mediante el molde de termoformado plano. A continuación, se presentan los resultados obtenidos. En la figura 65, se muestra el contorno cuadrado generado alrededor de los parlantes acústicos ubicados en el centro de la cámara anecoica.



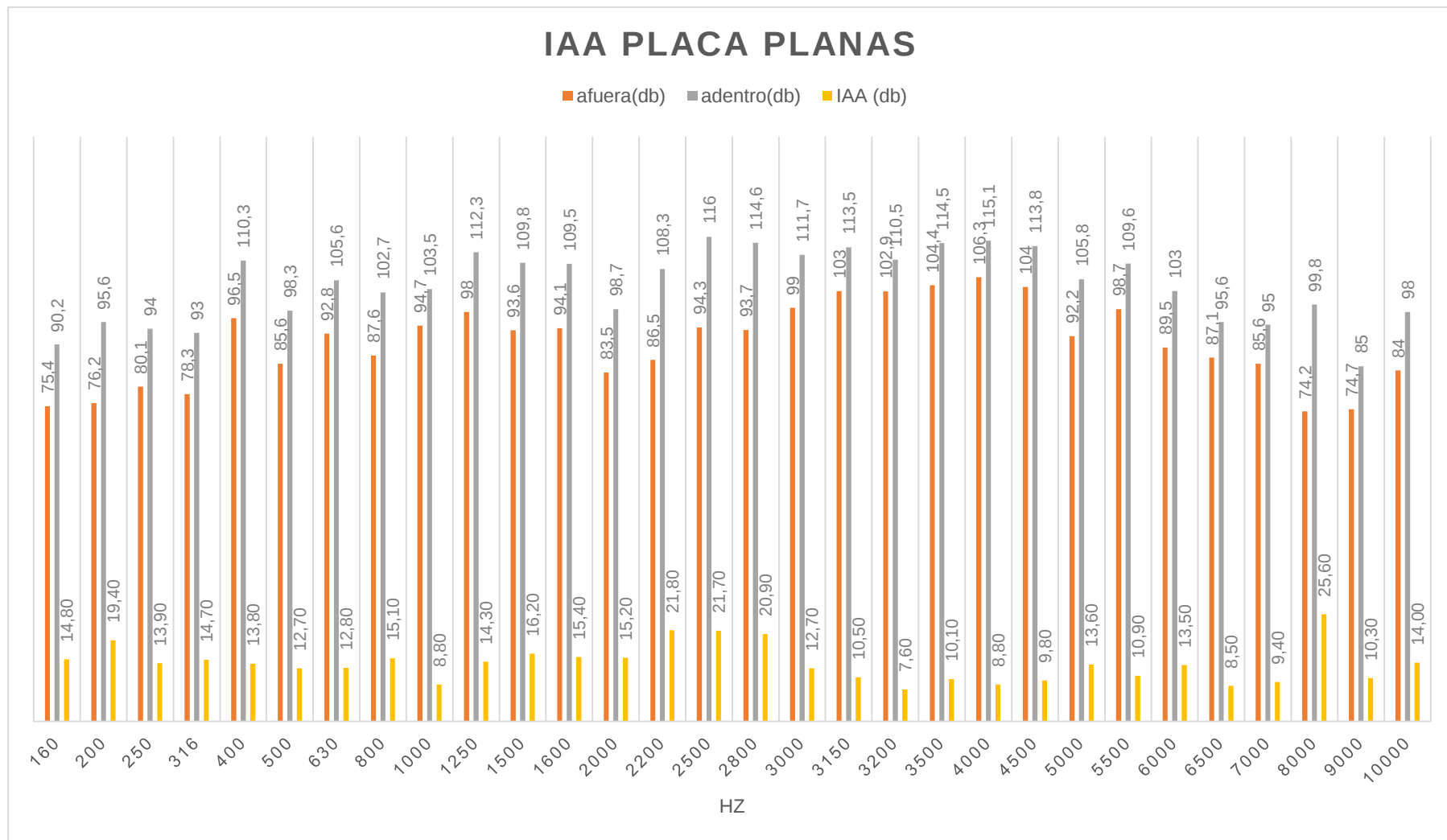
FIGURA 65: Prueba placas planas

Procediendo con el método de pruebas acústicas en la cámara anecoica, se registra la presión acústica tanto en el interior, a una distancia de 1 cm de los parlantes, como en el exterior, a una distancia de 1 cm de la pared compuesta por las placas de polvillo y fibra de fique. Se generaron pulsos de frecuencia en octavos siguiendo la norma ISO 3745, abarcando frecuencias específicas desde 125 Hz hasta 10 kHz. De esta manera, se obtiene el índice de aislamiento acústico correspondiente a cada una de las frecuencias evaluadas.

En la gráfica 2, se presentan los datos del índice de aislamiento acústico (IAA) obtenido para cada frecuencia analizada. Se observa un promedio de IAA de 13,89 dB para las placas termoacústicas lisas en todo el espectro de frecuencias. Según la norma ISO 717-1:2013, la cual establece un estándar de decibelios de atenuación adecuados para un material de aislamiento acústico que sea considerado bueno, éste debe reducir el ruido en al menos 25 dB para aplicaciones industriales o

comerciales. En aplicaciones residenciales, la reducción de ruido deseada puede ser menor, generalmente en el rango de 15-20 dB. En el caso de las placas a base de polvillo y fibra de fique, su promedio es bajo en comparación con el análisis de las frecuencias. Sin embargo, es importante destacar que existen frecuencias individuales en las que supera los 15 dB de índice de aislamiento acústico en frecuencias de 8000 Hz, donde se llega a los 25 decibeles de aislamiento acústico, pueden ser aptas para el uso de aislantes acústicos industriales en la empresa Empaques del Cauca S.A. Siguiendo con la línea de lo abordado, en la tabla número 17, se observa que las placas pueden ser aptas para la atenuación de frecuencias de 200 Hz y 8000 Hz, ya que son los rangos de emisión de presión acústica más altos en las máquinas de confección de sacos de fique en la empresa.

Otro aspecto a considerar en este ámbito, es la comparación con la mayoría de los aislantes acústicos, estos tienen un grosor de 15 centímetros incluyendo su geometría, las placas de polvillo y fibra de fique tienen un grosor promedio de 8mm, lo que las hace mucho más delgadas en comparación a las soluciones comerciales.



Grafica 2:IAA de placas planas fuente: propia

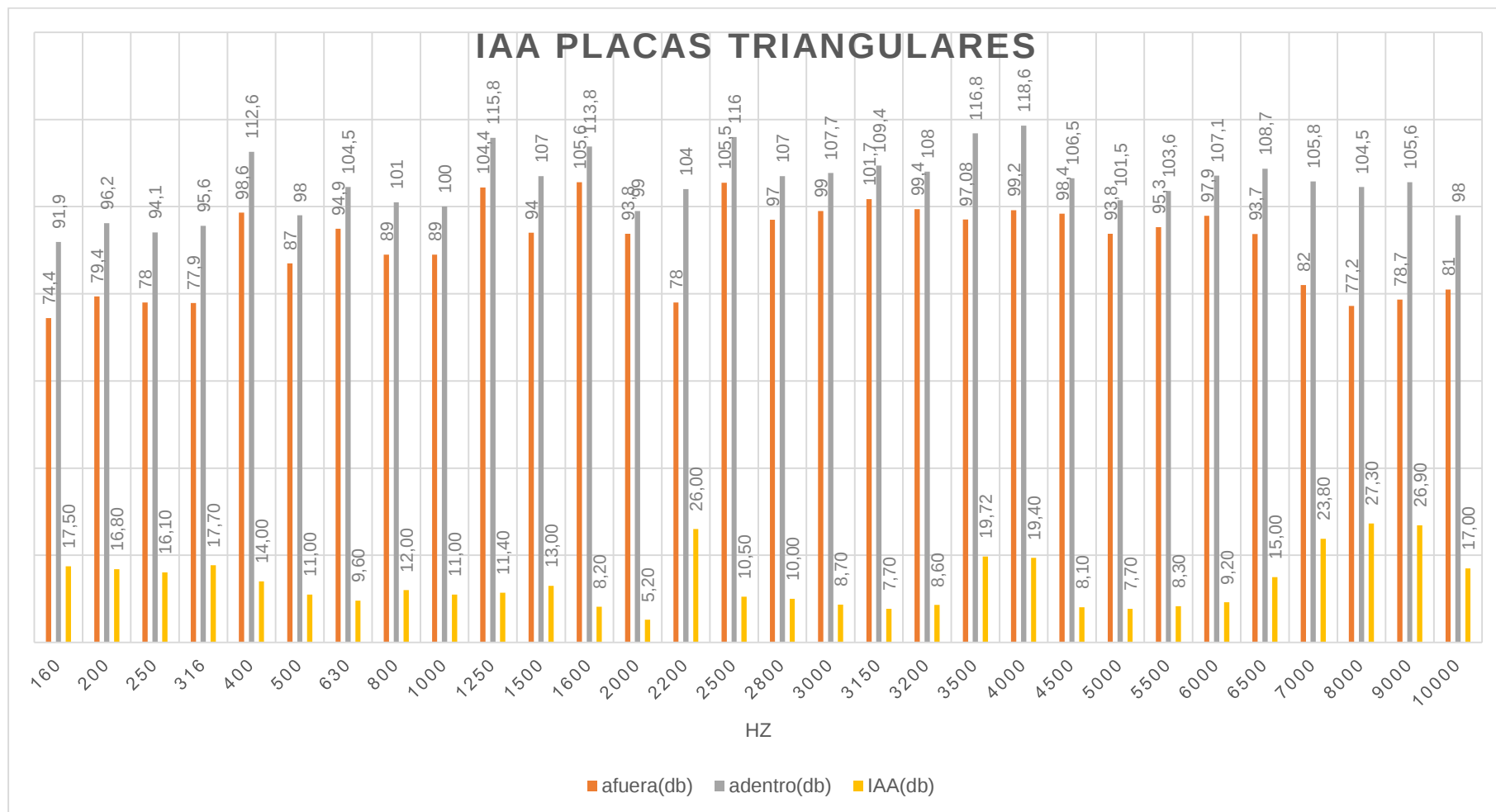
14.2 AISLAMIENTO ACÚSTICO PLACAS PIRAMIDALES

Después de obtener las primeras muestras con las placas planas, se llevan a cabo pruebas experimentales en el prototipo de la cámara anecoica para evaluar la eficacia del material compuesto de polvillo y fibra de fique en la reducción de ruido. Estas pruebas se realizan utilizando las placas fabricadas con este material mediante el molde de termoformado piramidal, que presentan una geometría específica diseñada para proporcionar propiedades acústicas adicionales. A continuación, se presentan los resultados obtenidos. En la figura 66, se muestra el contorno cuadrado generado alrededor de los parlantes acústicos ubicados en el centro de la cámara anecoica, utilizando las placas piramidales.



FIGURA 66 : Pruebas acústicas en acámara anecoica (placas piramidales)

Realizando el mismo procedimiento de captura de datos acústicos tomados en la sección anterior, se obtuvo el índice de aislamiento acústico correspondiente a cada una de las frecuencias evaluadas de las placas con geometría. En la gráfica 3, se presentan los datos del índice de aislamiento acústico (IAA) obtenido para cada frecuencia analizada, junto con un promedio de IAA obtenido de 13.91 para el material piramidal en todo el espectro de frecuencias. A pesar de que este valor lo clasifica como un mal aislante acústico, es importante destacar que existen frecuencias específicas en las que supera los 15 dB de índice de aislamiento acústico, como por ejemplo en las frecuencias de 200 a 316 Hz y de 2200 a 9000 Hz, donde se llega a los 25 dB de aislamiento acústico. A diferencia de las pruebas hechas con las paredes lisas, se observa que la geometría piramidal extendió el rango de atenuación del ruido en algunas frecuencias y también añadió frecuencias con una atenuación mayor.



Grafica 3: IAA de placas triangulares fuente: propia

15 PRUEBAS DE AISLAMIENTO TÉRMICO

Como siguiente paso en el proceso de validación térmica de las placas a base de polvillo y fibra de fique, y siguiendo los procedimientos descritos en la sección 12 "Diseño y experimentación de pruebas térmicas", se considera relevante la norma ASTM C1155. Para ello, se procede a tomar los datos necesarios para calcular el flujo de calor perpendicular en cada una de las placas, teniendo en cuenta sus diferentes geometrías y tiempos de exposición al calor incidente. Todo esto se lleva a cabo mediante la captura de imágenes termográficas con la cámara Fluke PTi120 y el uso de un cronómetro digital.

15.1 AISLAMIENTO TÉRMICO PLACAS PLANAS

Siguiendo lo expuesto, se procede a capturar imágenes termográficas de las placas de polvillo y fibra de fique justo antes de ingresarlas al experimento de validación térmica. El objetivo es observar la temperatura ambiente a la que se encontraban las placas en ese momento. Es relevante mencionar que la prueba, se lleva a cabo en la ciudad de Popayán, en un laboratorio con temperatura ambiente aproximada de 24 grados centígrados al momento de la toma de las imágenes. En la figura 67, se observa la imagen termográfica de una de las placas de geometría plana, como se especifica en la tabla 8, donde se muestran las características relevantes de la imagen termográfica.

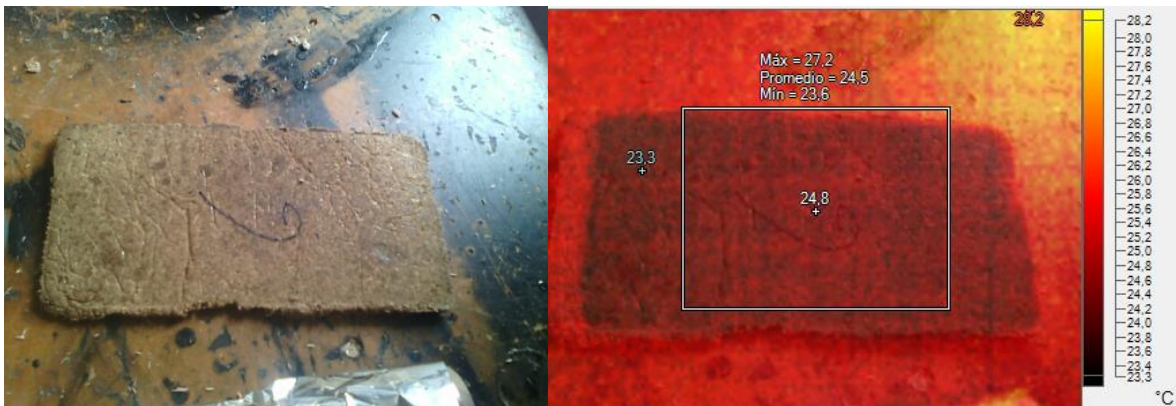


FIGURA 67: Temperatura de estándar de placa plana

NOMBRE	PROMEDIO	MÍN	MÁX	EMISIVIDAD	SEGUNDO PLANO	DESVIACIÓN ESTÁNDAR
Cuadro central	24,5°C	23,6°C	27,2°C	0,85	20,0°C	0,44

NOMBRE	TEMPERATURA	EMISIVIDAD	SEGUNDO PLANO
Punto central	24,8°C	0,90	20,0°C
Caliente	28,2°C	0,90	20,0°C
Frío	23,3°C	0,90	20,0°C

Tabla 8: Características de termografía figura 67

Como siguiente paso en este proceso, se procede a permitir el contacto directo entre la placa a base de polvillo y fibra de fique y su molde de termoformado, mientras se aplica una temperatura incidente de 50°C. Después de transcurrir un lapso de 5 minutos, se toma una fotografía para registrar el cambio de temperatura en la cara adyacente de la placa, lo que permite obtener los datos de termografía de toda la placa luego de este tiempo. En la figura 68, se observa la imagen termográfica de una de las placas de geometría plana con una temperatura inducida después de 5 minutos, seguida de la tabla 16, donde se muestran las características relevantes de la imagen termográfica.

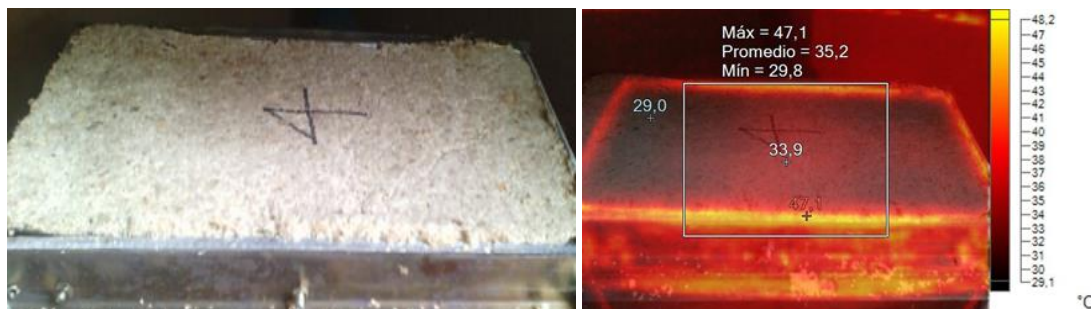


FIGURA 68.: Temperatura placa plana a los 5 minutos

NOMBRE	PROMEDIO	MÍN	MÁX	EMISIVIDAD	SEGUNDO PLANO	DESVIACIÓN ESTÁNDAR
Cuadro central	35,2°C	29,8°C	47,1°C	0,90	20,0°C	4,09

NOMBRE	TEMPERATURA	EMISIVIDAD	SEGUNDO PLANO
Punto central	33,9°C	0,90	20,0°C
Caliente	47,1°C	0,90	20,0°C
Frío	29,0°C	0,90	20,0°C

Tabla 16: características de termografía figura 68

A continuación, se deja la placa a base de polvillo y fibra de fique en el interior del molde caliente durante 5 minutos adicionales, lo que hace un tiempo total de 10 minutos. Luego se toma una nueva fotografía termográfica para observar el cambio de temperatura en la cara adyacente de la placa. En la figura 69, se observa la imagen termográfica de una de las placas de geometría plana con una temperatura inducida después de 10 minutos siguiendo de la tabla 17, donde se observa las características relevantes de la imagen termográfica.

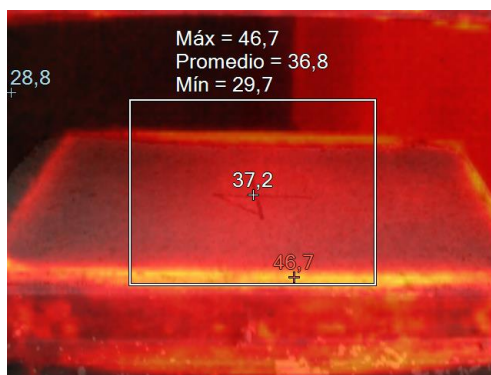


FIGURA 69: Temperatura placa plana a los 10 minutos

NOMBRE	PROMEDIO	MÍN	MÁX	EMISIVIDAD	SEGUNDO PLANO	DESVIACIÓN ESTÁNDAR
Cuadro central	36,8°C	29,7°C	46,7°C	0,90	20,0°C	3,21
NOMBRE	TEMPERATURA	EMISIVIDAD	SEGUNDO PLANO			
Punto central	33,9°C	0,90	20,0°C			
Caliente	47,1°C	0,90	20,0°C			
Frío	29,0°C	0,90	20,0°C			

Tabla 17: Características de termografía figura 72

Siguiendo con el experimento de validación térmica, se procede a tomar fotografías termográficas de dos placas adicionales a base de polvillo y fibra de fique con geometría plana. Los resultados se muestran en la tabla 21 junto con el respectivo flujo de calor perpendicular obtenido para cada una.

15.2 AISLAMIENTO TÉRMICO PLACAS PIRAMIDALES

En relación con el enfoque abordado, resulta relevante considerar un estudio acerca de las propiedades térmicas de las placas con geometrías más específicas, creadas con los diferentes moldes del prototipo de termoformadora por compresión. Con lo anterior mencionado, se procede a realizar un estudio térmico de las placas a base de polvillo y fibra de fique con geometría piramidal. En primera instancia, se siguen los mismos pasos del estudio térmico planteados en la sección 12.4. En el primer paso, se toma una fotografía de la placa a base de polvillo y fibra de fique a temperatura ambiente. Para este caso las condiciones ambientales indicaban una temperatura al interior del laboratorio de 25 °C. En la figura 70 se observa una fotografía de termografía de la placa plana a temperatura ambiente junto con la tabla 18 características de termografía figura 70

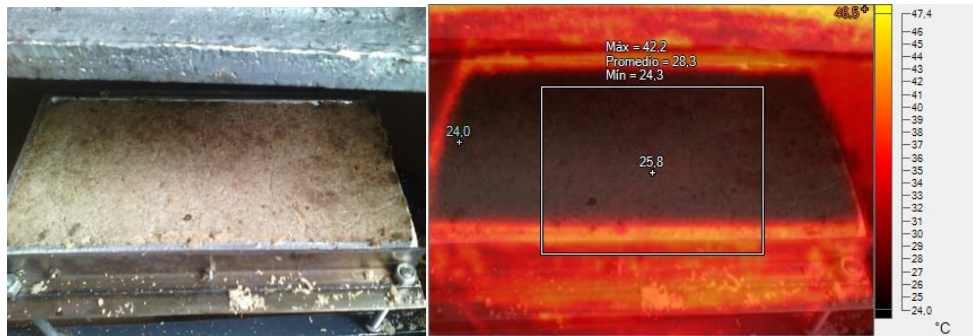


FIGURA 70: Temperatura de estándar de placa triangular

NOMBRE	PROMEDIO	MÍN	MÁX	EMISIVIDAD	SEGUNDO PLANO	DESVIACIÓN ESTÁNDAR
Cuadro central	28,3°C	24,3°C	42,2°C	0,90	20,0°C	5,17
	NOMBRE	TEMPERATURA	EMISIVIDAD	SEGUNDO PLANO		
	Punto central	25,8°C	0,90	20,0°C		
	Caliente	46,5°C	0,90	20,0°C		
	Frío	24,0°C	0,90	20,0°C		

Tabla 18 : características de termografía figura 73

Posteriormente, se procede al siguiente paso el cual consiste en permitir el contacto directo entre la placa de polvillo y fibra de fique y su molde de termoformado triangular, mientras se aplica una temperatura incidente de 50 °C grados Celsius. Después de un lapso de 5 minutos, se toma una fotografía para registrar el cambio de temperatura en la cara adyacente de la placa, lo que permite obtener los datos de termografía de toda la placa después de ese tiempo. En la figura 71, se puede observar la imagen termográfica de una de las placas con geometría triangular, con una temperatura inducida después de 5 minutos, como se muestra en la tabla 19, que detalla las características relevantes de la imagen termográfica.



FIGURA 71: Temperatura placa triangular a los 5 minutos

NOMBRE	PROMEDIO	MÍN	MÁX	EMISIVIDAD	SEGUNDO PLANO	DESVIACIÓN ESTÁNDAR
Cuadro central	36,7°C	32,7°C	42,9°C	0,90	20,0°C	2,06
NOMBRE	TEMPERATURA	EMISIVIDAD	SEGUNDO PLANO			
Punto central	37,1°C	0,90	20,0°C			
Caliente	48,2°C	0,90	20,0°C			
Frío	28,6°C	0,90	20,0°C			

Tabla 19: características de termografía figura 74

Después del contacto directo entre la placa de polvillo y fibra de fique y su molde de termoformado, se deja la placa en el molde caliente con geometría triangular por 5 minutos adicionales, para un tiempo total de 10 minutos. Posteriormente, se toma una nueva fotografía termográfica para registrar el cambio de temperatura en la cara adyacente de la placa. La figura 72 muestra la imagen termográfica de una de las placas con geometría plana, donde se observa la temperatura inducida después de los 10 minutos. Las características relevantes de la imagen termográfica se detallan en la tabla 20.

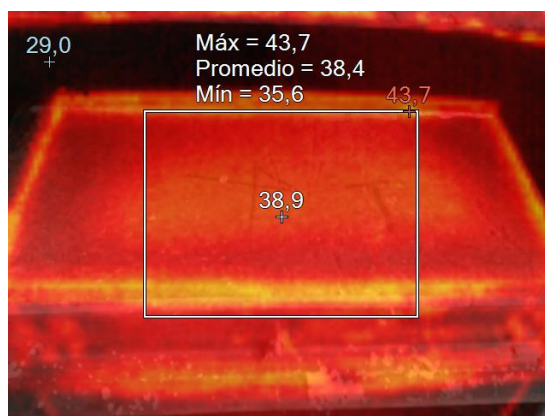


FIGURA 72: Temperatura placa triangular a los 10 minutos

NOMBRE	PROMEDIO	MÍN	MÁX	EMISIVIDAD	SEGUNDO PLANO	DESVIACIÓN ESTÁNDAR
Cuadro central	38,4°C	35,6°C	43,7°C	0,90	20,0°C	1,54
NOMBRE	TEMPERATURA	EMISIVIDAD	SEGUNDO PLANO			
Punto central	38,9°C	0,90	20,0°C			
Caliente	43,7°C	0,90	20,0°C			
Frío	29,0°C	0,90	20,0°C			

Tabla 20: Características de la termografía figura 75

Continuando con la validación térmica, se realiza la captura de imágenes termográficas de dos placas más con geometría triangular, fabricadas con polvillo y fibra de fique. Los resultados se encuentran en la tabla 21, donde también se registran los valores correspondientes al flujo de calor perpendicular obtenido para cada una de las placas.

PLACAS	TIEMPO	TEMPERATURA DE EMISIÓN °C	RECEPCIÓN °C	FLUJO DE CALOR PERPENDICULAR °C
PLANA 1	5min	50	33,8	16,2
PLANA 2	5min	50	32	18
TRIANGULAR1	5min	50	37,1	12,9
TRIANGULAR2	5min	50	40,5	9,5
PLACA 1	10min	50	37,2	12,8
PLANA 2	10min	50	36,3	13,7
TRIANGULAR1	10min	50	38,9	11,1
TRIANGULAR2	10min	50	44,5	7,5

Tabla 21: Datos de pruebas térmicas

Con el experimento de pruebas térmicas finalizado, se procede al análisis de los datos de la tabla 21. En esta tabla, se comparan los datos correspondientes a los tiempos de 5 a 10 minutos. Se observa un descenso en el flujo de calor perpendicular en la placa 1 en 3,4 °C, disminuyendo de 16,2 a 12,8 °C. Este patrón se repite en cada una de las pruebas, resultando en un promedio de cambio en el flujo de calor perpendicular en las placas planas de 4 °C. En el caso de las placas triangulares, al seguir el mismo proceso de comparación de datos, se obtiene un cambio en el flujo de calor perpendicular de tan solo 2 °C. Por lo tanto, las placas piramidales son menos eficientes en la transmisión de temperatura en comparación con las placas planas.

16 PRUEBAS MECÁNICAS

Se llevan a cabo pruebas mecánicas en las placas a base de polvillo y fibra de fique siguiendo las normas ASTM D790-17 [39] "Standard Test Methods for Flexural Properties of Unreinforced and Reinforced Plastics and Electrical Insulating Materials" y ASTM D638-14 [40] "Standard Test Method for Tensile Properties of Plastics", las cuales describen el proceso de realización de pruebas mecánicas. Con algunas adaptaciones, se aplicaron estas normas para las pruebas mecánicas de las placas a base de polvillo y fibra de fique. Posteriormente, se crearon probetas de pruebas mecánicas con las medidas apropiadas obtenidas mediante las normas anteriormente descritas con el objetivo de ser usadas en una máquina universal de ensayos (MUE). Se realiza un plano CAD de ingeniería de precisión en el software

SolidWorks® para visualizar el tamaño que tendrían las probetas en el momento de su construcción. La figura 73 muestra una fotografía 3D de la forma de la probeta acorde a las normas ASTM.

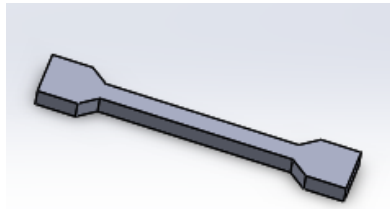


FIGURA 73: Paleta de pruebas mecánicas

Para obtener datos específicos de resistencia del material, se utilizan las placas de conglomerado a base de fibra y polvillo de fique creadas con moldes de termoformado de geometría plana y usando los planos obtenidos mediante el software CAD encontrados en el anexo 8" Paletas de pruebas mecánicas", se exporta los datos en formato DXF permitiendo de esta manera cortarlas mediante corte láser CAM, asegurando el corte más preciso que deben obtener las probetas. En la figura 74 se muestra el proceso de corte CAM de las probetas a base de polvillo y fibra de fique.



FIGURA 74: Probetas de pruebas mecánicas

Con el objetivo de lograr el resultado deseado, se logra acceder a la maquina universal de ensayos (MUE) del Servicio Nacional de Aprendizaje – Sena de la estrategia Sennova Tecnoparque Cali, gracias a esto se logran generar los resultados de pruebas mecánicas de las probetas de ensayos a base de polvillo y fibra de fique. En la figura 75 se observa la (MUE) usada en el proceso de toma de datos.



FIGURA 75 : Máquina universal de ensayos (MUE)

16.1 ENSAYOS DE FLEXIÓN

Siguiendo la línea de lo expuesto, se realizan ensayos de flexión utilizando la máquina de ensayos previamente descrita, esta técnica comúnmente es utilizada para evaluar la resistencia y rigidez de materiales y estructuras. En este ensayo, se aplica una carga en el centro de una pieza de material apoyada en dos puntos en ambos extremos. La carga se aplica gradualmente hasta que se produce la falla en el material, reflejada en una deformación plástica permanente, fractura o grieta. Durante el ensayo, se miden la carga aplicada y la deformación en la pieza de material, a partir de los cuales se puede calcular el momento flector, la curva de carga y deformación del material. En la figura 76 se observa uno de los ensayos de flexión realizados a las paletas de pruebas mecánicas hechas a base de polvillo y fibra de fique.

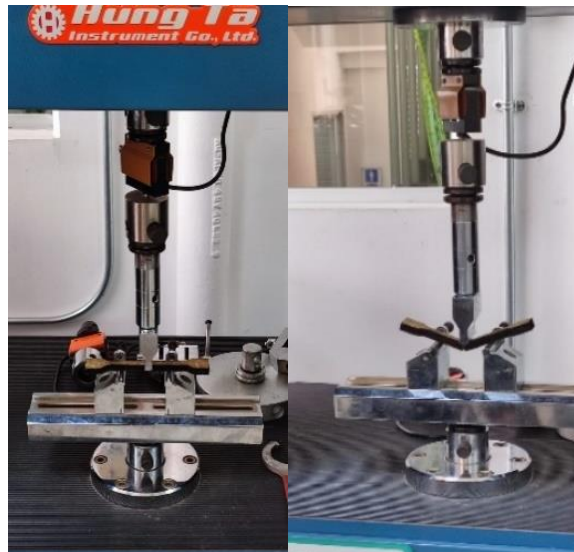


FIGURA 76: Ensayo de flexión probetas a base de polvillo y fibra de fique

Durante el proceso de realización de las pruebas para obtener las propiedades mecánicas de las placas a base de polvillo y fibra de fique, se obtuvieron resultados incompletos en las pruebas de flexión, destacando la imposibilidad de obtener datos por debajo de los 0,1 MPa. Sin embargo, dado que el material a base de polvillo y fibra de fique presenta mayor resistencia a la tracción, permitió realizar una toma adecuada de datos en esta configuración, la cual se describe a seguir.

16.2 ENSAYOS DE TENSIÓN (TRACCIÓN)

En este ensayo, se aplica una fuerza axial gradualmente en una pieza de material, generando una tensión que va aumentando progresivamente. La pieza se estira hasta que se produce la falla, ya sea una deformación plástica, una fractura o una grieta. Durante el ensayo, se mide la fuerza aplicada y la deformación en la pieza de material. A partir de estos datos, se puede calcular el módulo de elasticidad, la resistencia a la tracción, la elongación y la reducción de área. En la figura 77 se observa una fotografía de una toma exitosa de tracción de las probetas a base de polvillo y fibra de fique junto con la gráfica registrada. Adicionalmente, la tabla 22 presenta un resumen de las características mecánicas de cada probeta ensayada.

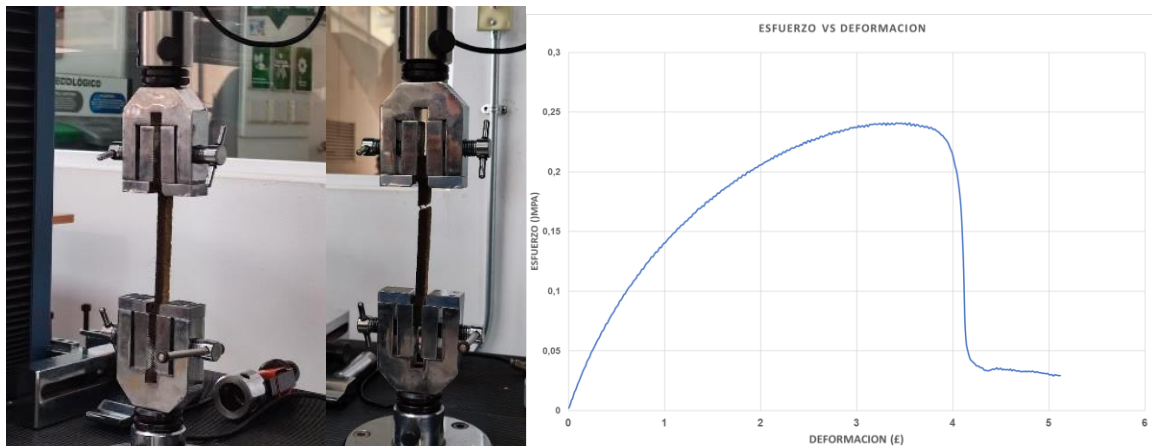


FIGURA 77 : a). Gráfica de esfuerzo y deformación placa a base de polvillo y fibra de fique. b). Fotografía ensayo de tensión. Fuente propia

PROBETA	TENACIDAD (MPa)	MÁXIMO ESFUERZO (MPa)	RESISTENCIA A LA TRACCIÓN (N)	RESILIENCIA (MPa)	MÓDULO DE YOUNG (MPa)	PUNTO DE ROTURA (N/mm ²)	DUCTILIDAD (%)
1	0,776053408	0,240	17,820	0,590580	0,1377	0,1925	3,55
3	0,76049	0,2079	15,380	0,489802	0,1254	0,156	3,37
4	1,06233	0,2227	16,4821	0,626099	0,1268	0,1602	4,04
6	0,53931	0,2100	15,5402	0,425762	0,1358	0,16322	2,7
7	0,66741	0,1808	15,3800	0,442280	0,1058	0,1104	3,1
Promedio	0,761118795	0,212	16,120	0,514905	0,1263	0,156464	3,352
S	0,192958954	0,021750563	1,055045425	0,089361267	0,012664123	0,029497042	0,500369863

Tabla 22: Ensayos de tracción placas a base de polvillo y fibra de fique

En relación con los datos obtenidos en la tabla 22, es relevante resaltar la afinidad del módulo de Young, que en promedio es de 0,1263. Este valor es similar al de materiales como espuma de poliuretano, goma de silicona y espuma de látex, los cuales tienen un módulo de Young que varía de 0 a 2 MPa, dependiendo de la fabricación individual en cada una de sus fábricas [39].

Al observar detenidamente las propiedades características de cada uno de los materiales mencionados, se destacan similitudes con las placas a base de polvillo y fibra de fique, tales como flotabilidad, baja conductividad térmica en el caso de la espuma de poliuretano, baja densidad, porosidad, entre otras.

17 CARACTERIZACIÓN MICROESTRUCTURAL

Como complemento a la investigación anterior, se procede a utilizar un Microscopio Electrónico de Barrido (MEB), ubicado en TecnoParque SENA nodo Cauca, para inspeccionar la microestructura y composición del material en estudio. Se analiza la composición del conglomerado en las placas termoacústicas, donde el polvillo y la fibra de fique constituyen el 30% del mismo. En la figura 81 se pueden observar dos micrografías obtenidas, en las que se analiza el polvillo de fique y se muestra el diámetro de las partículas que lo constituyen.

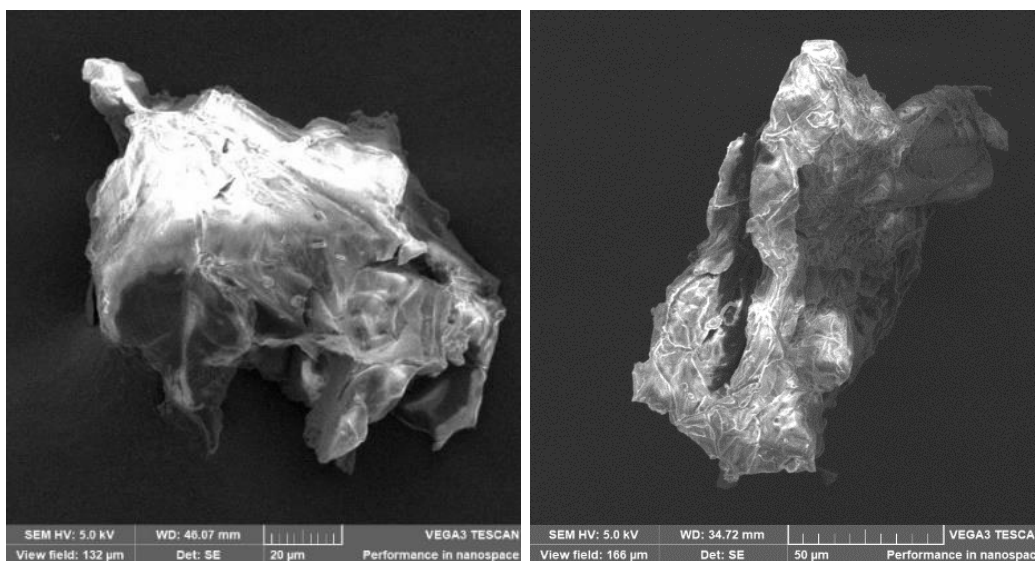


FIGURA 78: Microscopia de Polvillo de fique

Resaltando lo anterior, se observa un diámetro promedio de partículas de polvillo de fique de 45 nm, con morfología asimétrica que varían en cada una de ellas. Además, en el conglomerado que forma la base de las placas termoacústicas, se encuentran microfibras de fique que pasaron por el proceso de tamizaje y se combinaron con el polvillo en toda la microestructura. En la figura 82, se observa tres imágenes por MEB con marcas del grosor de las microfibras de polvillo de fique. El diámetro de estas microfibras de fique varía entre 150 y 55 micrómetros. Estas son asimétricas, de diversas longitudes y se entrelazan en toda la microestructura comprimida de la placa.

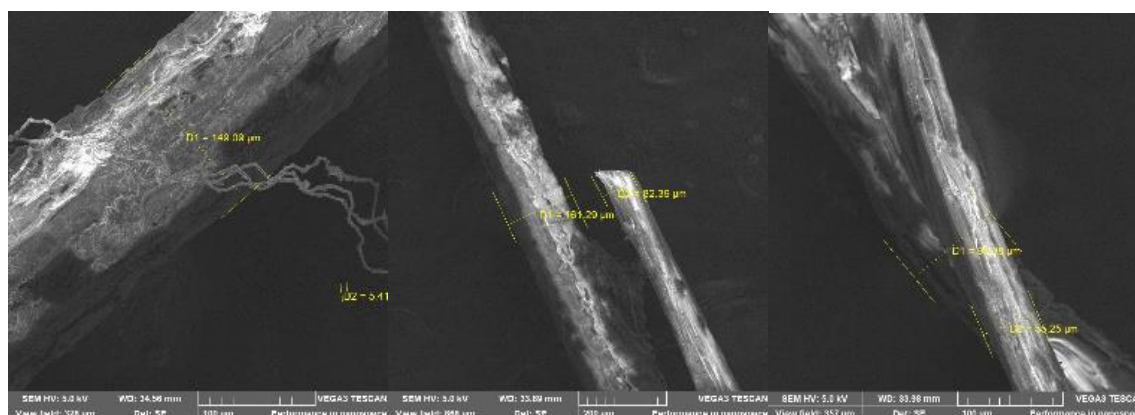


FIGURA 79: MEB de las microfibras de fique

Continuando con el análisis de los componentes del conglomerado de las placas a base de polvillo y fibra de fique, se examina el almidón de yuca, el segundo componente biodegradable que forma parte del conglomerado en las placas. Este representa el 13,33% del conglomerado que compone el prototipo de placas a base de polvillo y fibra de fique. En la figura 83 se puede observar una micrografía tomada por MEB que muestra partículas de almidón de yuca en la estructura del material.

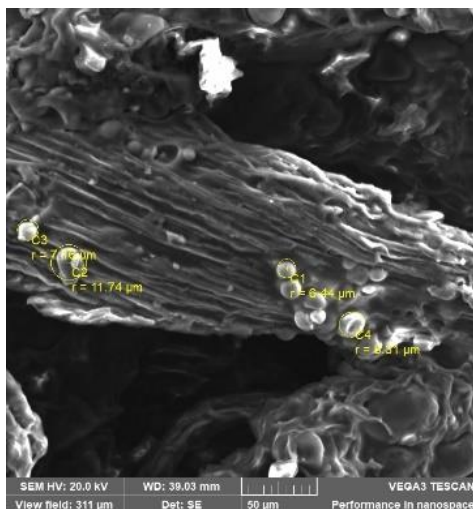


FIGURA 80: Partículas de almidón de yuca

Siguiendo la figura 83, se observan partículas de almidón que varían en tamaño desde los 11,73 hasta los 6 micrómetros, aparentemente estos no se disolvieron adecuadamente, quedando adheridas a la microestructura del material. Al observar el resto de la placa, como se muestra en la figura 84, se pueden apreciar las aglutinaciones generadas en el interior del prototipo de placas a base de polvillo y fibra de fique. Con lo descrito anteriormente, es necesario afirmar que se requiere un mejor proceso de mezclado para evitar que queden partículas sin integrarse con los elementos del material.

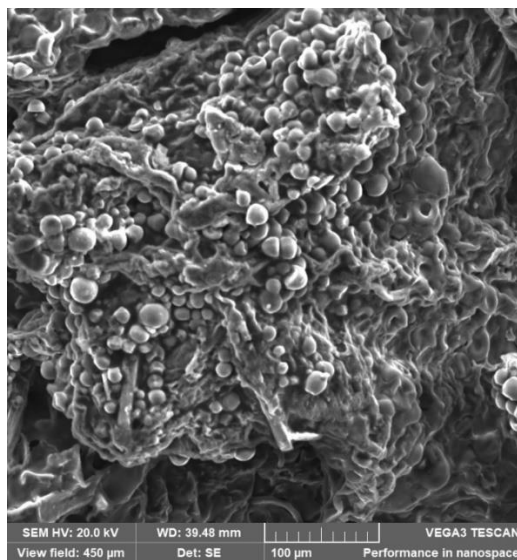


FIGURA 81: Gránulos de almidón corte transversal conglomerado de polvillo de fique

17.1 ANÁLISIS DE LA ESTRUCTURA

Siguiendo con el proceso de análisis por medio del MEB, se destaca que se encontraron poros o túneles distribuidos por toda la placa. Estos poros varían en diámetro, desde los 50 hasta los 6 micrómetros, y están conectados unos con otros por toda la placa, lo que da la

característica al material de ser poroso. En la figura 85 se observan los poros encontrados por toda la placa comprimida a base de polvillo y fibra de fique.

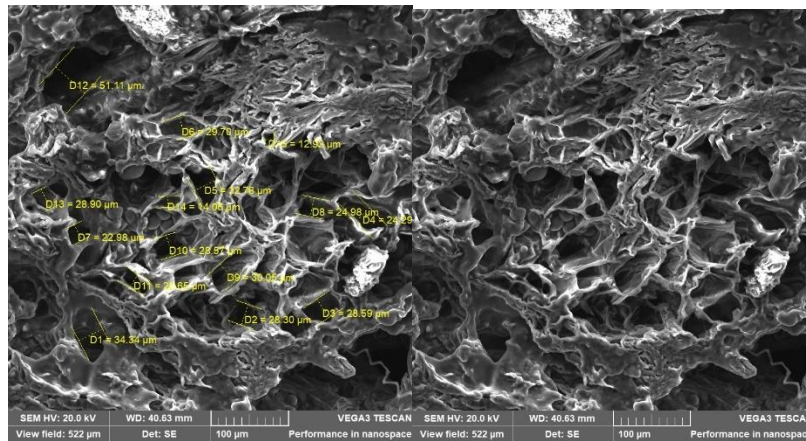


FIGURA 82: Poros en placas de conglomerado y polvillo de fique

Si siguiendo con el análisis, se observa que en algunos extremos de las placas a base de polvillo y fibra de fique, el conglomerado tiene un mejor proceso de mezclado, lo que conlleva a que las aglutinaciones fueran mucho más consistentes y generaran poros con cohesiones de glicerina y almidón de yuca. Como se puede observar en la figura 86, se muestra una micrografía en MEB de un aglutinamiento que contiene partículas de almidón de yuca donde se observa una consistencia de poros con diámetros aproximados que varían desde 15 hasta 22 micrómetros. Es importante destacar que esto puede resultar en una dispersión de diámetros más uniforme.

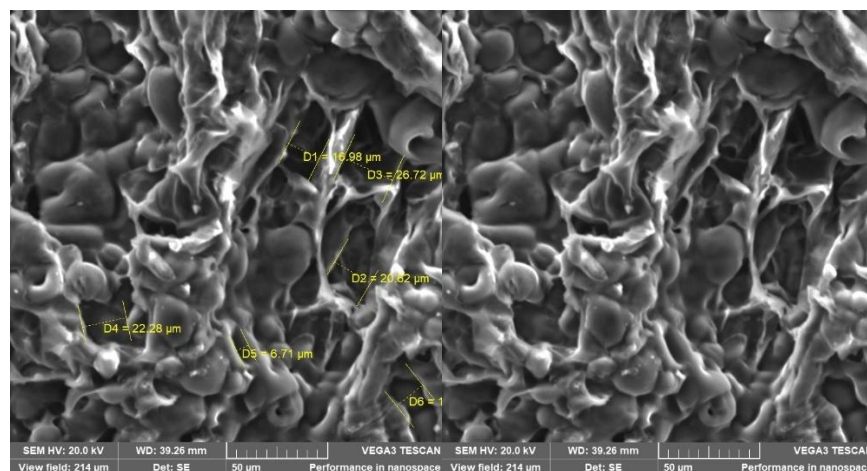


FIGURA 83: Aglutinaciones con poros y almidón de yuca

18 PRUEBAS DE POROSIDAD MÁSCA

Como resultado de los hallazgos en la sección 19, se procede al cálculo de un porcentaje de porosidad con el fin de obtener un promedio de porosidad másica que represente la totalidad de la placa fabricada a partir de polvillo y fibra de fique. La porosidad se determina típicamente mediante técnicas experimentales que implican la introducción de un fluido en los poros y la medición de su volumen. El método más comúnmente utilizado es el de la pesada hidrostática.

A continuación, se aplica este proceso cortando placas de 2 * 2 pulgadas y sumergiéndolas en agua durante aproximadamente 30 minutos. Se toman medidas de las placas en estado húmedo y seco, tanto para las geometrías planas como triangulares. Utilizando la ecuación 3, se calcula el porcentaje de porosidad aproximado obtenido en cada placa cortada, y se obtiene un promedio y una desviación estándar a partir del estudio de cada tipo de placa.

Vp = Volumen de los poros

Vt= Volumen total

$$Pt = \frac{v\rho}{v_t} * 100$$

ECUACIÓN 3: ecuación de porosidad másica

Siguiendo con el proceso, se procede a tomar los datos necesarios para el cálculo de la porosidad másica. En la Tabla 23 se pueden observar los datos de las placas planas y triangulares, donde se registran las dimensiones en cada uno de los ejes. A continuación, se realiza el cálculo del volumen de la placa en seco (VOL. SEC) tabla 23 y 24.

Tabla 23: Medidas de placas

ENSAYOS DE POROSIDAD PLANA SECO				
N	X	Y	Z(mm)	VOL. SEC
1	25,4	25,4	8,93	5763,4
2	25,4	25,4	9,3	6000,0
3	25,4	25,4	8,13	5247,3
4	25,4	25,4	9,37	6043,0
5	25,4	25,4	9,2	5935,5

Tabla 24: Medidas placas triangulares

ENSAYOS DE POROSIDAD TRIANGULAR SECO				
N	X	Y	Z (MM)	VOL. SEC
1	25,4	25,4	7	4516,12
2	25,4	25,4	7,2	4645,15
3	25,4	25,4	7,0	4559,13
4	25,4	25,4	7,0	4559,13
5	25,4	25,4	6,9	4505,37

A continuación, se toman los datos apropiados para el cálculo de la porosidad másica de cada placa cuadrada de cada geometría. En la Tabla 25 y 26 se pueden observar los datos de las placas planas húmedas, incluyendo la variación de grosor en el eje z (ΔAV), el volumen húmedo (vol HUM) y el porcentaje de porosidad másica (POROS%). Complementando el proceso, se calcula el promedio y la desviación estándar de ΔAV , vol HUM y POROS%

ENSAYOS DE POROSIDAD PLANA HÚMEDO						
N	X(mm)	Y(mm)	Z-HÚMEDO(mm)	ΔAV	VOL. HUM	POROS%
1	25,4	25,4	9,56	7,09	6172,03	93,38
2	25,4	25,4	10,43	12,18	6731,17	89,14
3	25,4	25,4	8,86	9,01	5720,42	91,73
4	25,4	25,4	10,36	10,67	6688,16	90,35
5	25,4	25,4	10,06	9,42	6494,61	91,39
			promedio =	9,67	6361,28	91,19
			desví=	1,90	420,70	1,584

Tabla 25: Medidas placas planas húmedas

ENSAYOS DE POROSIDAD TRIANGULAR HÚMEDO						
N	X(mm)	Y(mm)	Z-HÚMEDO(mm)	Δ AV %	VOL. HUM (MM ²)	POROS%
1	25,4	25,4	7,617	8,81	4914,0	91,90
2	25,4	25,4	8,06	12,04	5204,3	89,26
3	25,4	25,4	7,867	11,32	5075,3	89,83
4	25,4	25,4	7,5	6,13	4838,7	94,22
5	25,4	25,4	7,4	5,97	4774,2	94,37
			promedio =	8,85	4961,3	91,92
			desví=	2,83	176,3	2,39

Tabla 26: medidas placas triangulares húmedas

Como resultado del proceso anterior, se observa que las placas planas tienen un promedio de porosidad másica del 91%, lo que significa que el 91% del volumen de las placas a base de polvillo y fibra de fique están compuesto por poros. Además, se obtiene una desviación estándar del 1,58%, lo que indica poca variación en la porosidad másica de cada placa.

En cuanto a las placas de geometría triangular, se observa que tienen un promedio de porosidad másica del 91,9%, lo que demuestra que el cambio de geometría no afectó significativamente la porosidad de las placas comprimidas. Además, se obtiene una desviación estándar del 2,29%, lo que indica también baja variación en los cálculos de porosidad másica de cada placa.

Otra observación importante para destacar es el aumento de volumen después de humedecerse en agua, mostrando un fenómeno de absorción de agua. El fique al ser considerado un material lignocelulósico puede presentar propiedades tanto hidrofóbicas como hidrofílicas, dependiendo de su composición y estructura. Por ejemplo, la lignina, que es uno de los componentes principales de la lignocelulosa, es hidrofóbica, lo que significa que repelerá el agua. Por otro lado, la celulosa y la hemicelulosa, que también forman parte de la lignocelulosa, son hidrofílicas, lo que significa que tienen afinidad por el agua. La combinación de estos componentes en el material lignocelulósico da lugar a una mezcla de propiedades hidrofóbicas e hidrofílicas. Esto puede dar una explicación a los altos valores de porosidad, la cual puede estar asociada a la afinidad de la celulosa y la hemicelulosa por el agua, que puede llevar a su vez a la retención de agua en su estructura que se ve reflejado en el incremento del volumen. [40]

Este efecto también es observado en algunos tipos de espumas porosas que tienen la capacidad de absorber y retener agua en sus conductos y poros, formando parte integral de toda su estructura [40]. A diferencia de estas espumas, las placas a base de polvillo y fibra de fique no son un material 100% polimérico.

19 CONCLUSIONES

- Se obtiene un diseño y fabricación mediante la integración de las tendencias disruptivas CAD/CAM/CAE de dos (2) moldes con geometría plana y piramidal conducentes a la obtención de veinticuatro (24) prototipos placas termoacústicas de 8 mm con dimensiones de 20 cm x 23 cm a partir de residuos de polvillo y fibra de fique.
- Los prototipos de placa termoacústica plana obtenido a partir de residuos de polvillo y fibra de fique, presentaron resultados relevantes de insonorización por medio de un estudio acústico de frecuencias emitidas por octavas de 125 Hz a 10 kHz, destacando un promedio de índice de aislamiento acústico de 13,89 Db en todo el rango de frecuencias y picos de 25 Db de índice de aislamiento acústico en frecuencias de 8000 Hz , estos resultados proponen al prototipo de placa termoacústica como un potencial material para disminuir el ruido en frecuencias altas en la octava de 8000Hz emitidas por las maquinas denominadas telares , carada y manual de la empresa Empaques del Cauca S.A.
- Los prototipos de placa termoacústica con geometría piramidal obtenido a partir de residuos de polvillo y fibra de fique , presentaron resultados relevantes de insonorización por medio de un estudio acústico de frecuencias emitidas por octavas de 125 Hz a 10 kHz obteniendo un promedio de 13.91 db en todo el rango de frecuencias con picos que supera los 15 dB de índice de aislamiento acústico, en este caso para as frecuencias de 200 a 316 Hz y de 2200 a 9000 Hz, se obtiene un índice máximo de 25 dB de aislamiento acústico; por lo tanto se observa que la geometría piramidal extendió el rango de atenuación del ruido en algunas frecuencias y también añadió frecuencias con una atenuación mayor.
- Los prototipos de placas termoacústicas planas y piramidales obtenidos a partir de residuos de polvillo y fibra de fique, presentaron resultados favorables en características térmicas acorde a norma ASTM C1155; el estudio térmico arrojó que el flujo de calor perpendicular de cada placa en lapsos de tiempo entre (0 min – 5 min) y (5 min - 10 min) de exposición directa a 50 °C de temperatura en una de sus caras, se obtiene un gradiente de 4 °C en el flujo de calor perpendicular entre cada uno de los intervalos de tiempo, por lo tanto, se concluye experimentalmente una reducción máxima entre (6 C° – 13 °C) pasado los 10 minutos de las placas a base de polvillo y fibra de fique dependiendo de su geometría.

- Los prototipos de placas termoacústicas obtenidos a partir de residuos de polvillo y fibra de fique presentaron resultados favorables en las pruebas de tracción realizadas por medio de (MUE) maquina universal de ensayos. en estas se logró encontrar el módulo de Young promedio de 0,1263 Mpa del conglomerado a base de polvillo y fibra de fique, encontrando afinidad con la espuma de poliuretano, goma de silicona y espuma de látex las cuales tienen un módulo que varía de 0 a 2 MPa, dependiendo del proceso de fabricación individual en cada una. Observando similitud con las placas a base de polvillo y fibra de fiques como: flotabilidad, baja conductividad térmica, baja densidad, porosidad.
- Los prototipos de placas termoacústicas obtenidos a partir de residuos de polvillo y fibra de fique presentaron resultados favorables en las pruebas de porosidad másica. El estudio arrojó un porcentaje de porosidad másica de 91.1%, indicando que el 91 por ciento de las placas a base de polvillo y fibra de fique, están compuestas por poros siendo posible catalogarlo en la categoría de material poroso.
- Los prototipos de placas termoacústicas obtenidos a partir de residuos de polvillo y fibra de fique presentaron resultados significativos en las pruebas de microscopia electrónica de barrido, El estudio confirmó que las placas a base de polvillo y fibra de fique están compuestas en un gran volumen de poros nanométricos interconectados por túneles. Que varían su tamaño en un rango entre (15nm - 22nm).

20 RECOMENDACIONES FUTURAS

- Teniendo como base el estudio térmico realizado, es considerable proceder con una investigación a más profundidad, que permita hallar el índice de transmisión térmica y el punto de combustión de las placas a base de polvillo y fibra de fique, así permitiendo clasificar el material en una de las categorías térmicas de esta manera se podría concluir en qué lugares este material puede ser de mayor utilidad como aislante térmico.
- Es recomendable realizar estudios más detallados de las placas de termoformado a base de polvillo y fibra de fique, sometiéndolas a todo el espectro de ruido emitido, con el fin de obtener las frecuencias dominantes de aislamiento del material. De esta manera, se podrán concluir los lugares donde estas placas podrían ser más eficaces como aislante acústico.
- Ya que las placas son un material altamente poroso tienen la propiedad de absorber humedad del aire con el paso del tiempo. esta característica es un inconveniente ya que puede causar cambios en las propiedades mecánicas y termoacústicas de las placas a base de polvillo y fibra de fique, por lo tanto, es recomendable realizar estudios mas detallados que permitan impermeabilizar el material.
- Es importante destacar que el proprototipo descrito anteriormente no ha sido diseñado con el objetivo de producir las placas a base de polvillo y fibra de fique a mayor escala. Por lo tanto, al realizar placas durante varios días seguidos, la máquina comenzará a presentar problemas en la calibración en el proceso de termoformado debido al desgaste, lo que afectará la estructura y alineación de los moldes por compresión, por lo tanto es recomendable realizar estudios a mayor profundidad que permitan aumentar el tamaño de las placas a base de polvillo y fibra de fique , evitando el desgaste y des calibración en el proceso de termocompresión.

21 PRESUPUESTO

21.1 PRESUPUESTO PROTOTIPO DE MÁQUINA DE TERMOFORMADO

Tabla 27: presupuesto de prototipo de máquina de termoformado

MATERIALES TERMOFORMADORA			
Cant	Material	Descripción	Precio
1	PLC siemens s71200	Controlador lógico programable fabricado por la empresa siemens	\$ 1.763.818.00
2	Pistones neumáticos	Pistón doble efecto accionado por presión de aire	\$ 187.900.00
1	Válvula de ahorco	Válvula que permite regular la intensidad de flujo de aire	\$ 17.700.00
2	Placas	Placas con resistencias calefactoras de 60 w	\$ 10.000.00
1	Driver controlador de temperatura	Driver de control PID. Con objetivo de mantener la temperatura deseada	\$ 41.147.00
6m	Tubo cuadrado de acero 6mm	Material estructural.	\$ 52.350.00
10m	Manguera neumática	Material de conexión de circuito neumático	\$ 35.000.00
1	Unidad de mantenimiento neumática 140psi	Instrumento que tiene el objetivo de regular el aire entrante a la maquina	\$ 150.000.00
Total			\$ 2.257.915.00

21.2 PRESUPUESTO CAJA DE ANECOICA

Tabla 28: presupuesto de prototipo de caja anecoica

Materiales Aislantes			
C	Material	Descripción	Precio
1	Lamina Acrílico Transparente 120cmx90cmx3mm	Plástico de ingeniería y una de las presentaciones más comunes de este polímero son las láminas.	\$ 91.900.00
1	Sonómetro SL-814 digital.	Medidor digital de Ruido	\$ 160.650.00
4	Mini parlante 4 Ohm a 3W	Altavoz de audio que es ideal para proyectos de radio y amplificador	\$ 56.000.00
1	Amplificador audio estéreo Tda7297 12v 4-8 Ohm	Placa amplificadora de audio para parlantes de 4 a 8 ohm	\$ 29.000.00
Total			\$ 337.550.00

21.3 PRESUPUESTO PARA PROTOTIPO DE PRUEBAS TÉRMICAS

Tabla 29: presupuesto de prototipo de caja de pruebas térmicas

Materiales Aislantes			
C	Material	Descripción	Precio
1	Resistencias de 60w	Resistencias calefactoras	\$ 10.900.00
1	Tubo cuadrado de acero 6mm	Material estructural.	\$ 52.350.00
1	Arduino nano	Controlador	\$ 29.000.00
1	Sensor de temperatura MAX6675	Sensor de temperatura	\$ 22.000.00
Total			\$ 119.250.00

21.4 RESUMEN GENERAL PRESUPUESTO

		FUENTES				
	RUBROS	UNICOMFACAUCA		EMPAQUES DEL CAUCA S.A		TOTAL
		EFFECTIVO	ESPECIE	EFFECTIVO	ESPECIE	
1	PERSONAL	\$ 0,00	\$ 552.756	\$ 0,00	\$ 360.000	\$ 912.756,00
2	EQUIPOS	\$ 0,00	\$ 2.595.465	\$ 0,00	\$ 550.000	\$ 3.145.465
3	SALIDAS DE CAMPO	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0.0	\$ 200.000	\$ 200.000
4	VIAJES	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 200.000	\$ 200.000
5	MATERIALES Y SUMINISTROS	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 4.031.000,00	\$ 0,00	\$ 4.031.000,00
6	MATERIAL BIBLIOGRÁFICO	\$ 0,00	\$ 189.250	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 189.250
7	SOFTWARE	\$ 0,00	\$ 5.120.000	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 5.120.000,00
	TOTAL	\$ 0,00	\$ 8.457.471	\$ 4.031.000	\$ 1.310.000	\$ 13.798.471

Tabla 30: presupuesto resumen general de presupuesto

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Organizacion Mundial de la salud and Organizacion Panamericana de la salud, *INFORME MUNDIAL SOBRE LA AUDICIÓN*, Electronic Version. 2021. [Online]. Available: <https://youtu.be/EmXwAnP9puQ>.
- [2] Ministerio de Salud, “Resolucion-8321-1983,” Bogotá D.c, Aug. 1983.
- [3] A. Felipe and R. Domínguez, “DISEÑO DE UNA PROPUESTA PARA AJUSTAR LA NORMATIVIDAD COLOMBIANA EN CUANTO A CONTAMINACIÓN AUDITIVA QUE SE PRESENTA EN LOS AUTÓDROMOS EN COLOMBIA,” Fundacion Universidad de América, Bogotá D.C, 2018.
- [4] C. Rozo Restrepo, R. Ramírez Castrillón, P. Fernández Morales, and T. Simon Gómez, “Caracterización acústica de materiales no tejidos basados en fibras naturales para el acondicionamiento de espacios laborales y académicos,” *Encuentro de Investigación Formativa*, vol. VIII, pp. 59–70, 2018.
- [5] D. Muñoz Muñoz and C. Gerardo Cabrera, “EL FIQUE COMO AISLANTE TÉRMICO,” Mar. 2007.
- [6] Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial and Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, “GUÍA AMBIENTAL DEL SUBSECTOR FIQUERO,” Bogotá D.C, Jan. 2006. [Online]. Available: www.minambiente.gov.co
- [7] R. D. Echeverri E, L. M. Franco M, and M. R. Gonzales V, *FIQUE EN COLOMBIA*, Fondo Editorial ITM., vol. 1. Medellin: Biblioteca ITM, 2015.
- [8] J. David Solarte Moreno Julián Alejandro Ortega Peña, J. Andres Muñoz Chaves Co-asesor, and M. Jhon Alexander Guerrero Narvaez, “PROYECTO DE GRADO PRESENTADO PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO MECATRÓNICO,” 2023.
- [9] S. Delvasto Arjona, F. Perdomo, and R. Mejía de Gutiérrez, “ECOLAMINADOS DE PEAD-FIBRAS DE FIQUE,” *Ciencia y Tecnología*, vol. 3, no. 1, pp. 43–49, Jun. 2001.
- [10] D. P. Navia Porras, “DESARROLLO DE UN MATERIAL PARA EMPAQUES DE ALIMENTOS A PARTIR DE HARINA DE YUCA Y FIBRA DE FIQUE,” Universidad del Valle, Santiago de Cali, 2011.
- [11] F. P. Parra *et al.*, “ELABORACIÓN DE UN MATERIAL COMPUESTO CON MATRIZ DE YESO Y REFORZADO CON FIBRA DE FIQUE OBTENIDO POR EXTRUSIÓN,” 2017.
- [12] J. L. Gaona Patiño and J. A. Soler Camargo, “FACTIBILIDAD TÉCNICA DEL USO DE LA FIBRA DEL FIQUE COMO ELEMENTO DE CONFINAMIENTO DE MUROS DE ADOBE ANTE SOLICITACION DE FUERZAS CORTANTES POR SISMOS,” Universidad La Gran Colombia, Bogota D.C, 2016.
- [13] A. J. Escobar Galvis and N. E. Quira Bolaños, “Elaboración de Aglomerados a partir del residuo del fique ‘Bagazo’ en el resguardo de paniquita del Municipio de Totoró - Cauca,” Corporacion Universitaria Autonoma del Cauca, Popayán, 2017.

- [14] F. Huamani Arango and E. L. Monge Hurtado, “ESTUDIO DE LA INFLUENCIA DE LA FIBRA DE CABUYA EN CONCRETOS DE $F' C = 175 \text{ KG/CM}^2$ Y $F' C = 210 \text{ KG/CM}^2$ EN EL DISTRITO DE LIRCAY PROVINCIA DE ANGARAES,” Universidad Nacional de Huancavelica, Lircay, 2018.
- [15] K. Cecibel and V. Gutierrez, “ESTUDIO DEL RENDIMIENTO ACÚSTICO Y TERMICO DE LA FIBRA DE CABUYA COMO PANEL PARA REVESTIMIENTO DE PARED,” Universidad Laica Vicente Rocafuerte de Guayaquil, Guayaquil, 2018.
- [16] F. Rouquerol, “Adsorption by powders and porous solids : principles, methodology and applications,” p. 647.
- [17] Pieter. Imhof and J. C. van der Waal, *Catalytic process development for renewable materials*. Wiley-VCH, 2013.
- [18] J. H. Quiroz Lleganto, “Influencia del tiempo de curado en las características en tracción de composites de fibra de vidrio,” Univeriad Nacional de Trujillo, Trujillo, 2019.
- [19] A. Marcilla Gomis and M. Beltran Rico, “Tecnología de polímeros. Procesado y propiedades - Google Libros,” *Universidad de Alicante*, 2012.
https://books.google.co.ve/books?id=jxilUUn4_QAC&printsec=frontcover#v=onepage&q&f=false (accessed Oct. 23, 2022).
- [20] “Best Thermal Cameras | Infrared Thermal Imaging Camera | Fluke.”
<https://www.fluke.com/en-us/products/thermal-cameras#> (accessed Mar. 24, 2023).
- [21] D. W. Hahn and M. Necati. Özişik, “Heat conduction.,” 2012.
- [22] T. L. Bergman, A. S. Lavine, F. P. Incroper, and D. P. DeWitt, “INTRODUCTION HEA TRANSFER,” vol. 1999, no. December, pp. 8–10, 2011.
- [23] “transferencia-de-calor-y-masa-yunus-cengel”.
- [24] V. Martínez and L. Lira, “CARACTERIZACIÓN DE UN APARATO DE PLACA CALIENTE CON GUARDA EN DESARROLLO EN EL CENAM, PARA DETERMINAR LA CONDUCTIVIDAD TÉRMICA DE MATERIALES SÓLIDOS AISLANTE,” *Simposio de Metrología 2004*, pp. 1–5, Aug. 2004.
- [25] M. Conference on Thermal Insulation *et al.*, “Thermal insulation, materials, and systems for energy conservation in the '80s,” p. 893, 1983, Accessed: Apr. 03, 2023. [Online]. Available: https://books.google.com/books/about/Thermal_Insulation_Materials_and_Systems.html?hl=es&id=-tSxl3q2HwQC
- [26] “Introducción a la ciencia e ingeniería de los materiales - William D. Callister - Google Libros.”
<https://books.google.com.cu/books?id=gnfPV1txXiUC&printsec=copyright#v=onepage&q&f=false> (accessed Apr. 03, 2023).
- [27] R. Subramanian, “Strength of materials,” p. 1031.
- [28] A. M. Jaramillo, *ACÚSTICA: la ciencia del sonido*. 2007. Accessed: Oct. 23, 2022. [Online]. Available:
<https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=HMWtf1RT04kC&oi=fnd&pg=PA14&dq=Jara>

millio,+A.+M.+J.+(2007).+Ac%C3%Bastica:+la+ciencia+del+sonido.+ITM.&ots=MQGwAFAIaP
&sig=6ztKGiMBMhI0IzsX5dE2Qs2LUVU#v=onepage&q&f=false

- [29] Cirrus Research S.L, “Guía para Terminología de Medición de Ruido,” Barcelona, 2016.
[Online]. Available: www.cirrusresearch.co.uk/support
- [30] H. M. Hidalgo Hernández and R. J. Torres Páez, “Diseño y construcción de un sonómetro integrador que trabaje con ponderaciones de frecuencia A y C,” Escuela Politecnica Nacional, Quito, 2004.
- [31] Universidad del Pais Vasco and Curso de Acústica GA, “Aislamiento acústico,” 2022.
<https://www.ehu.eus/acustica/espanol/ruido/aiaces/aiaces.html> (accessed Oct. 26, 2022).
- [32] M. D. Egan, “Architectural acoustics / M. David Egan,” 1988.
- [33] A. Orrego, G. Universidad, D. Valle, F. De Ingeniería, E. De, and I. Mecánica, “DISEÑO DE UNA CAMARA ANECOICA PARA EL LABORATORIO DE VIBRACIONES Y ACÚSTICA (LAVA) DE LA ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA DE UNIVALLE (EIME UNIVALLE),” 2015.
- [34] Suarez. Paola and Niño S, “Diseño mecatrónico, un curso de aplicación de nuevas tecnologías,” pp. 61–70, Jul. 2003.
- [35] J. Gausemeier and S. Moehring, “NEW GUIDELINE VDI 2206-A FLEXIBLE PROCEDURE MODEL FOR THE DESIGN OF MECHATRONIC SYSTEMS,” *INTERNATIONAL CONFERENCE ON ENGINEERING*, vol. CED 03 STOCKHOLM, p. 10, 2003.
- [36] V. B. Bhandari, “Design of machine elements,” *Tata McGraw-Hill*, p. 861, 2007, Accessed: Mar. 12, 2023. [Online]. Available:
https://books.google.com/books/about/Design_of_Machine_Elements.html?hl=es&id=d-eNe-VRc1oC
- [37] A. Kumar and R. K. (Rakesh K. Gupta, *Fundamentals of polymer engineering*, Second Editio. Marcel Dekker, 2003.
- [38] A. International and files indexed by mero, “Standard Practice for Determining Thermal Resistance of Building Envelope Components from the In-Situ Data 1.”
- [39] Hachette pratique. and Macrolibros), *Material science and Engineering*, Tenth edition., vol. 10. Hachette Livre - Département Pratique, 2018.
- [40] J. Colson *et al.*, “Adhesion properties of regenerated lignocellulosic fibres towards poly(lactic acid) microspheres assessed by colloidal probe technique,” *J Colloid Interface Sci*, vol. 532, pp. 819–829, Dec. 2018, doi: 10.1016/j.jcis.2018.08.032.

