

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

SEDE CUENCA

CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA

**“ESTUDIO DE LA APLICACIÓN POTENCIAL DE COMPUESTOS
OBTENIDOS CON RESIDUOS DE CAUCHO RECICLADO
PROVENIENTES DE CONTINENTAL TIRE ANDINA COMO
MATERIALES ESTRUCTURALES”**

**Tesis previa a la obtención del
título de Ingeniero Mecánico**

AUTOR:

Patricio Miguel Luna Morocho

DIRECTOR:

Ing. Jorge Fajardo Seminario

Cuenca, Septiembre 2013

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por Patricio Miguel Luna Morocho,
bajo mi supervisión

Ingeniero Jorge Fajardo Seminario

DIRECTOR DE TESIS

DECLARATORIA DE RESPONSABILIDAD

Yo, Luna Morocho Patricio Miguel declaro bajo juramento que el trabajo aquí escrito es de mi autoría, que no ha sido previamente presentado por ningún grado o calificación profesional y que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración cedo los derechos de propiedad intelectual correspondiente a este trabajo, a la Universidad Politécnica Salesiana, según lo establecido por la Ley de Propiedad intelectual, por su Reglamento y por la Normativa Institucional Vigente.

Luna Morocho Patricio Miguel

Dedicatoria

A la Virgen del Cisne, que ha permanecido siendo la fuerza impulsora de nuestra vida y a toda mi familia por haberme apoyado a lo largo de todos estos años.

Agradecimientos

En la culminación de este trabajo de tesis mi ferviente deseo es manifestar mis sinceros agradecimientos a todas las personas que de una u otra manera colaboraron en este proceso.

A toda mi familia que hizo posible la realización de este proyecto en todas sus etapas.

A todas las autoridades de la Universidad Politécnica Salesiana por ayudar al crecimiento profesional de toda la sociedad.

Al Ingeniero Jorge Fajardo que fue el guía que aportó con todos sus conocimientos y tiempo para el correcto desarrollo de esta tesis.

ÍNDICE

Índice de Contenidos.....	IV
Índice de Figuras.....	XI
Índice de Fórmulas.....	XII
Índice de Tablas.....	XIII
Índice de Siglas.....	XX
Abstract.....	XXI
Resumen.....	1
Introducción.....	2
1. ESTADO DEL ARTE DEL PROCESO DE RECICLADO DE CAUCHO ...	3
1.1.Introducción.....	4
1.1.1. Propiedades Físicas y Químicas del Caucho.....	5
1.1.2. Vulcanización.....	7
1.1.2.1.Azufre.....	9
1.1.3. Fuentes más Importantes de Contaminación del Caucho.....	10
1.2.Realidad Local.....	20
1.2.1. Obtención de Scrap.....	20
1.2.2. Tipos de Reciclaje de Caucho fuera de Utilización.....	27
1.2.3. Puntuación y Ponderación de Procesos.....	29
1.3.Realidad Nacional.....	30
1.3.1. Reencauche de Llantas con Banda de Rodamiento Factible.....	31
1.4.Realidad Mundial.....	36
1.5.Conclusión del Capítulo.....	45
2. TRITURACIÓN MECÁNICA DEL CAUCHO RECICLADO PROVENIENTE DE NEUMÁTICOS FUERA DE USO.....	46
2.1.Introducción.....	47

2.2.Principio de Trituración Mecánica.....	48
2.3.Métodos de Trituración Mecánica	49
2.3.1. Clasificación de Trituradores Mecánicos de Neumáticos	51
2.3.2. Puntuación y Ponderación de Métodos	52
2.4.Estructura de una Planta de Neumáticos fuera de Utilización	53
2.5.Conclusión del Capítulo.....	54
3. MAMPUESTOS	55
3.1.Introducción	56
3.2.Clasificación de Mampuestos.....	56
3.2.1. Ladrillos Cerámicos	56
3.2.1.1. Aparejos	56
3.2.1.2. Aparejo a Sogas	57
3.2.1.3. Aparejo a Panderete.....	57
3.2.1.4. Aparejo Inglés	58
3.2.1.5. Aparejo Palomero	58
3.2.2. Bloques Huecos Cerámicos	59
3.2.3. Bloques Huecos Portantes de Hormigón	59
3.2.4. Paneles	60
3.2.5. Proceso de Fabricación de Mampuestos	61
3.2.6. Fabricación de Bloques	61
3.2.6.1. Materiales.....	61
3.2.6.2. Dosificación.....	63
3.2.6.3. Moldeo y Fraguado.....	71

3.2.7.	Fabricación de Paneles	72
3.2.7.1.	Materiales.....	72
3.2.7.2.	Dosificación.....	73
3.2.7.3.	Moldeo y Fraguado.....	80
3.2.8.	Fabricación de Cilindros	82
3.2.8.1.	Materiales.....	83
3.2.8.2.	Dosificación.....	83
3.2.8.3.	Moldeo y Fraguado.....	90
3.3.	Resistencia a Compresión de Mampuestos.....	92
3.3.1.	Módulo de Elasticidad de Mampostería.....	93
3.3.2.	Comportamiento de Mampostería a Cortante.....	94
3.3.3.	Mecanismos de Falla en Mampostería	95
3.3.4.	Módulo de Comportamiento de Muros bajo Carga	97
3.4.	Conclusión del Capítulo.....	99

4. ENSAYOS PARA CARACTERIZACIÓN DE PRUEBAS DE MATERIAL COMPUESTO DE MATRIZ CERÁMICA CON CARGAS DE FIBRAS DE NEUMÁTICOS FUERA DE UTILIZACIÓN..... 100

4.1.	Introducción	101
4.1.1.	Transferencia de Calor	101
4.1.1.1.	Convección	102
4.1.1.2.	Conducción.....	102

4.1.1.3. Radiación	103
4.1.2. Acústica.....	105
4.1.2.1. Eco	107
4.2. Ensayos Mecánicos desarrollados en Mampuestos con Agregado de “FNFU”	108
4.2.1 Ensayo de compresión en cilindros desarrollados con Agregado de “FNFU”	108
4.2.2. Normativa.....	109
4.2.3. Equipos y Materiales.....	109
4.2.4. Procedimiento según la Norma ASTM C172	110
4.2.5. Resultados	111
4.2.5.1. Experimentación	111
4.2.5.2. Análisis de Comportamiento Mecánico.....	111
4.3. Ensayos de Compresión en Bloques con Agregado de “FNFU”	114
4.3.1. Normativa.....	114
4.3.2. Equipo y Materiales	115
4.3.3. Procedimiento según Norma INEN 640.....	117
4.3.4. Análisis de Resultados	118
4.3.4.1. Experimento 1A.....	118
4.3.4.2. Experimento 2A.....	118
4.3.4.3. Experimento 3A.....	119

4.3.4.4.	Experimento 4A	119
4.3.4.5.	Experimento 1B	120
4.3.4.6.	Experimento 2B	120
4.3.4.7.	Experimento 3B	121
4.3.4.8.	Experimento 4B	121
4.4.	Ensayos de Compresión en Paneles desarrollados con Agregado de “FNFU”	122
4.4.1.	Normativa.....	122
4.4.2.	Equipo y Materiales	122
4.4.3.	Procedimiento según Norma ASTM 640	123
4.4.4.	Análisis de Resultados	124
4.4.4.1.	Experimento 1C	124
4.4.4.2.	Experimento 2C	124
4.4.4.3.	Experimento 3C	125
4.4.4.4.	Experimento 4C	125
4.4.4.5.	Experimento 1D	126
4.4.4.6.	Experimento 2D	126
4.4.4.7.	Experimento 3D	127
4.4.4.8.	Experimento 4D	127
4.5.	Ensayos Acústicos en Mampuestos desarrollados con Agregado de “FNFU”	128
4.5.1.	Ensayo Acústico en Paneles desarrollados con Agregado de “FNFU”	128

4.5.2.	Normativa.....	129
4.5.3.	Equipos y Materiales.....	129
4.5.4.	Procedimiento según la Norma ASTM E492-09	131
4.5.5.	Análisis de Resultados	132
4.5.5.1.	Experimento 1E.....	132
4.5.5.2.	Experimento 2E.....	133
4.5.5.3.	Experimento 3E.....	133
4.5.5.4.	Experimento 4E.....	134
4.5.5.5.	Experimento 1F.....	135
4.5.5.6.	Experimento 2F.....	135
4.5.5.7.	Experimento 3F.....	136
4.5.5.8.	Experimento 4F.....	137
4.5.5.9.	Análisis de Comportamiento Acústico	137
4.6.	Ensayos de Transferencia de Calor en Cilindros con Agregado de “FNFU” ...	139
4.6.1.	Normativa.....	139
4.6.2.	Equipos y Materiales.....	139
4.6.3.	Procedimiento según la guía de práctica “COMPENDIO DESCRIPTIVO DE EQUIPOS Y GUÍAS DE PRÁCTICAS” del equipo HTC-10X	142
4.6.4.	Análisis de Resultados	143
4.6.4.1.	Experimento 1G.....	143

4.6.4.2. Experimento 2G.....	144
4.6.4.3. Experimento 3G.....	145
4.6.4.4. Experimento 4G.....	145
4.6.4.5. Experimento 1H.....	146
4.6.4.6. Experimento 2H.....	147
4.6.4.7. Experimento 3H.....	148
4.6.5.8. Experimento 4H.....	149
4.6.5.9. Análisis de Comportamiento Térmico de Mampuestos con Agregado de Fibras de “FNFU”	150
4.7. Conclusión del Capítulo.....	153
4.8. Conclusiones	153
4.9. Recomendaciones Futuras.....	153
Bibliografía	155
A. Informes de Pruebas de Compresión en Paneles	157
B. Informes de Pruebas de Compresión en Cilindros	163

4.8. Conclusiones 153

4.9. Recomendaciones Futuras..... 153

Bibliografía **155**

C. Informes de Pruebas de Compresión en Paneles **157**

D. Informes de Pruebas de Compresión en Cilindros **163**

Índice de Figuras

1.1. Unidad Estructural del Caucho Natural	2
1.2. Cadena de Polímeros del Caucho Natural	4
1.3. Cadenas de Hule unidas por acción del Azufre	5
1.4. Diagrama de Flujo de Vulcanización del Caucho	6
1.5. Poliisopreno Entrecruzado por acción del Azufre	7
1.6. Unión de Átomos de Carbono con Azufre	8
1.7. Fuentes más Importantes de Contaminación del Caucho	9
1.8. Composición del Caucho de la Banda de Rodamiento.....	12
1.9. Composición del Caucho de Innerliner	14
1.10. Composición del Caucho de Lateral.....	16
1.11. Gráfica Comparativa de Esfuerzo Máximo de Tracción	17
1.12. Gráfica Comparativa de Dureza	17
1.13. Gráfica Comparativa del Porcentaje de Elongación	18
1.14. Estructura de una Llanta Radial.....	19
1.15. Llantas de Equipo Original versus Reposición en el mes de Diciembre 2011	20
1.16. Gráfica Comparativa de Esfuerzo máximo de Tracción	22
1.17. Gráfica Comparativa de Porcentaje de Elongación.....	23
1.18. Gráfica Comparativa de Dureza	24
1.19. Gráfica Comparativa sobre Abrasión	25
1.20. Tipos de Reutilización de Caucho fuera de uso en Ecuador	28
1.21. Proceso de Reencauche.....	30
1.22. Bolso para laptop elaborado con lona publicitaria y caucho reciclado de llantas ..	31
1.23. Porcentajes de Reciclaje de Caucho fuera de Utilización por Regiones Geográficas del Ecuador	32
1.24. Polvo de Caucho granulado fabricado por Aliboc S.A.	33
1.25. Llantas con destino a la Ciudad de Guayaquil procedentes de Galápagos.....	33

1.26. Procesos de Reciclaje de caucho fuera de Utilización a Nivel Mundial	34
1.27. Estados de la Unión Americana con mayor aplicación de asfalto con agregado de caucho fuera de utilización.....	36
1.28. Evolución del Reciclaje de Llantas en Puerto Rico	37
1.29. Proceso de Trituración Mecánica aplicado en Puerto Rico	40
1.30. Porcentajes de Reciclaje de Caucho fuera de Utilización a Nivel Mundial	42
2.1. Planta de Trituración Mecánica.....	45
2.2. Recuperación Elástica del Caucho.....	46
2.3. Fragmentación del Caucho	47
2.4. Flujo de trabajo en una planta de trituración mecánica de neumáticos	51
3.1. Aparejo a Sogas de Ladrillos Cerámicos	56
3.2. Aparejo a Panderete de Ladrillos	56
3.3. Aparejo Inglés de Ladrillos.....	57
3.4. Aparejo Palomero de Ladrillos	57
3.5. Bloque Hueco Portante Cerámico.....	58
3.6. Bloque Hueco portante de Hormigón	59
3.7. Disposición de Paneles.....	59
3.8. Proceso de Elaboración de Mampuestos.....	61
3.9. Dimensiones de Bloque de Mampostería.....	62
3.10. Molde de Bloques.....	70
3.11. Fraguado de Bloques.....	71
3.12. Dimensiones de Paneles	72
3.13. Molde de Paneles	80
3.14. Verificación de Solidez en Paneles	81
3.15. Dimensiones de Cilindros	82
3.16. Dimensiones de Molde para Cilindros	89

3.17.	Cilindro obtenido para Experimentación	90
3.18.	Cilindro insertado en confinamiento controlado de experimentación.....	90
3.19.	Pilas de Mampostería para Ensayos de Compresión.....	91
3.20.	Ensayo de mampostería sujeta a Cortante.....	93
3.21.	Comportamiento de Fuerzas en Mampostería	94
3.22.	Fuerzas Provocantes de Flexión en Mampuestos.....	95
3.23.	Agrietamiento Inclinado.....	96
3.24.	Modelo de Comportamiento de Muros bajo Carga.....	97
4.1.	Convección Forzada.....	102
4.2.	Conducción de Calor a través de una pared plana de espesor Δx y área A_x	103
4.3.	Calor inducido por Radiación solar en muros de mampostería	104
4.4.	Disminución de paso de Energía en forma de calor en Mampostería.....	104
4.5.	Reflexión de Sonido sobre una superficie ajena a la fuente emisora.	107
4.6.	Ensayo de Compresión sobre un Cilindro de Concreto	108
4.7.	Muestra de Cilindro de Hormigón con agregado de “FNFU”	109
4.8.	Procedimiento de un ensayo de compresión en cilindros de hormigón	110
4.9.	Gráfica de Esfuerzo-Deformación Unitaria de probetas con diferentes porcentajes de Agregado de Caucho	112
4.10.	Gráfica de Resistencia a Compresión vs. Porcentaje de Caucho Agregado ...	113
4.11.	Incremento de peso por apilamiento en bloques	114
4.12.	Muestra de bloque de hormigón con agregado de “FNFU”	115
4.13.	Procedimiento de un ensayo de compresión en bloques de hormigón.	117
4.14.	Procedimiento de un ensayo de compresión en paneles de hormigón.	123
4.15.	Muestra de panel de hormigón con agregado de “FNFU”	129
4.16.	Diseño de maqueta para ensayo acústico en paneles	130
4.17.	Procedimiento de un ensayo acústico en paneles de hormigón.....	131
4.18.	Gráfica de Aislamiento Acústico en Paneles con fibras de “FNFU”	138
4.19.	Muestra de molde de cilindro de hormigón con agregado de “FNFU”	140

4.20. Equipo de transferencia de calor HT10XC	141
4.21. Proceso de ensayo de transferencia de calor en cilindros de hormigón.	142
4.22. Curva de Tendencia de Coeficiente de Conductividad Térmica.....	151
4.23. Efectos del Porcentaje de Relleno sobre las Propiedades del Compuesto	152
Certificado de Prueba 200006160641	159
Certificado de Prueba 200006160642.....	160
Certificado de Prueba 200006160643.....	161
Certificado de Prueba 200006160644.....	162
Certificado de Prueba 200006160645.....	163
Certificado de Prueba 200006160646.....	164
Certificado de Prueba 200006160614.....	165
Certificado de Prueba 200006160615.....	166
Certificado de Prueba 200006160616.....	167
Certificado de Prueba 200006160631	168
Certificado de Prueba 200006160632.....	169
Certificado de Prueba 200006160633.....	170
Certificado de Prueba 200006160634.....	172

Índice de Fórmulas

2.1.	Trabajo de Tensión Superficial	46
3.1.	Valor Correspondiente al Porcentaje de Aire.....	62
3.2.	Incremento de Volumen por Compactación	62
3.3.	Coefficiente de Volumen.....	62
3.4.	Volúmenes Reales por cada 100 bloques.....	63
3.5.	Volumen Total de Paneles	73
3.6.	Volumen del Cilindro.....	82
3.7.	Resistencia de Diseño a la Compresión	73
3.8.	Resistencia de Diseño a Compresión Diagonal	92
4.1.	Ley de Mezclas	112

Índice de Tablas

1.1.	Mayores Productores de Caucho en el Mundo	3
1.2.	Aplicaciones del Caucho Sintético	5
1.3.	Composición de una Llanta	10
1.4.	Composición del Caucho de la Banda de Rodamiento.....	11
1.5.	Propiedades Físicas del Caucho de la Banda de Rodamiento	13
1.6.	Composición del Caucho de Innerliner	13
1.7.	Propiedades Físicas del Caucho de Innerliner	14
1.8.	Composición del Caucho de Lateral.....	15
1.9.	Propiedades Físicas del Caucho de Lateral	16
1.10.	Llantas clasificadas como Equipo Original fabricadas en Continental Tire Andina..	20
1.11.	Propiedades Físicas de la Banda de Rodamiento con agregado de polvo de Caucho Reciclado.	21
1.12.	Alternativas de Procesos a Implementar por Continental Tire Andina	26
1.13.	Escala Ponderativa para determinar el Proceso Ideal de Reciclaje para Continental Tire Andina.....	27
1.14.	Alternativas del Proceso a Implementar para Continental Tire Andina	27
1.15.	Almacenadores de Llantas fuera de utilización en Puerto Rico.	38
1.16.	Llantas fuera de utilización mecánicamente trituradas en Puerto Rico.....	38
2.1.	Métodos de Trituración Mecánica.....	48
2.2.	Clasificación de Trituradores Mecánicos de Neumáticos	49
2.3.	Escala Ponderativa para determinar el Proceso Ideal de reducción de tamaño de caucho fuera de utilización para Continental Tire Andina	50

2.4.	Alternativas del Proceso de reducción de tamaño de caucho fuera de utilización a implementar para Continental Tire Andina	50
3.1.	Materiales Empleados para la Fabricación de Bloques	59
3.2.	Coeficientes de Peso y Volúmenes	63
3.3.	Valores de Peso y Volumen para elaboración de Bloques con un 0% de Caucho	64
3.4.	Valores de Peso y Volumen para elaboración de Bloques con un 5% de Caucho	64
3.5.	Cálculos de Peso y Volumen para elaboración de Bloques con un 5% de Caucho....	65
3.6.	Valores de Peso y Volumen para elaboración de Bloques con un 10% de Caucho...	66
3.7.	Cálculos de Peso y Volumen para elaboración de Bloques con un 10% de Caucho..	67
3.8.	Valores de Peso y Volumen para elaboración de Bloques con un 15% de Caucho ...	67
3.9.	Cálculos de Peso y Volumen para elaboración de Bloques con un 15% de Caucho..	68
3.10.	Materiales Empleados en la Fabricación de Paneles	71
3.11.	Coeficientes de Peso y Volúmenes.....	72
3.12.	Valores de Peso y Volumen para elaboración de Paneles con un 0% de Caucho.	73
3.13.	Valores de Peso y Volumen para elaboración de Paneles con un 5% de Caucho.	74
3.14.	Cálculos de Peso y Volumen para elaboración de Paneles con un 5% de Caucho	75
3.15.	Valores de Peso y Volumen para elaboración de Paneles con un 10% de Caucho....	75
3.16.	Cálculos de Peso y Volumen para elaboración de Paneles con un 10% de Caucho ..	76
3.17.	Valores de Peso y Volumen para elaboración de Paneles con un 15% de Caucho....	77
3.18.	Cálculos de Peso y Volumen para elaboración de Paneles con un 15% de Caucho ..	78

3.19.	Materiales empleados en la Fabricación de Cilindros	81
3.20.	Coeficientes de Peso y Volúmenes	82
3.21.	Valores de Peso y Volumen para elaboración de Cilindros con un 0% de Caucho ... 83	
3.22.	Valores de Peso y Volumen para elaboración de Cilindros con un 5% de Caucho ... 84	
3.23.	Cálculos de Peso y Volumen para elaboración de Cilindros con un 5% de Caucho.. 85	
3.24.	Valores de Peso y Volumen para elaboración de Cilindros con un 10% de Caucho	85
3.25.	Cálculos de Peso y Volumen para elaboración de Cilindros con un 10% de Caucho	86
3.26.	Valores de Peso y Volumen para elaboración de Cilindros con un 15% de Caucho	87
3.27.	Cálculos de Peso y Volumen para elaboración de Cilindros con un 15% de Caucho	88
3.28.	Módulo de Elasticidad en Mampostería	91
3.29.	Índices de Daño en Mampostería	97
3.30.	Índices de Daño en Mampostería	97
4.1.	Fuentes de Sonido.....	106
4.2.	Datos de compresión de cilindro con agregado de “FNFU”	111
4.3.	Deformación Unitaria de probetas sujetas a Compresión	113
4.4.	Descripción de bloques y porcentajes de agregado de “FNFU”	116
4.5.	Datos de máquina de compresión “MetroCom”	116
4.6.	Datos de compresión de bloque con 0% de agregado de “FNFU”	118
4.7.	Datos de compresión de bloques con 30% de agregado de “FNFU” fino	119
4.8.	Datos de compresión de bloques con 40% de agregado de “FNFU” fino.....	119
4.9.	Datos de compresión de bloques con 50% de agregado de “FNFU” fino.....	120
4.10.	Datos de compresión de bloque con 0% de agregado grueso de “FNFU”	120

4.11.	Datos de compresión de bloque con 30% de agregado grueso de “FNFU”	121
4.12.	Datos de compresión de bloque con 40% de agregado grueso de “FNFU”	121
4.13.	Datos de compresión de bloque con 50% de agregado grueso de “FNFU”	122
4.14.	Descripción de paneles y porcentajes de agregado de “FNFU”	122
4.15.	Datos de compresión de paneles con 0% de agregado de “FNFU”	124
4.16.	Datos de compresión de paneles con 5% de agregado de “FNFU” fino	125
4.17.	Datos de compresión de paneles con 10% de agregado de “FNFU” fino	125
4.18.	Datos de compresión de paneles con 15% de agregado de “FNFU” fino.	126
4.19.	Datos de compresión de panel con 0% de agregado grueso de “FNFU”	126
4.20.	Datos de compresión de panel con 5% de agregado grueso de “FNFU”	127
4.21.	Datos de compresión de bloque con 10% de agregado grueso de “FNFU”	127
4.22.	Datos de compresión de panel con 15% de agregado grueso de “FNFU”	128
4.23.	Descripción de paneles y porcentajes de agregado de “FNFU”	128
4.24.	Datos de ensayo acústico en paneles con 0% de agregado de “FNFU”	132
4.25.	Datos de ensayo acústico en paneles con 5% de agregado fino de “FNFU”	133
4.26.	Datos de ensayo acústico en paneles con 10% de agregado fino de “FNFU”	134
4.27.	Datos de ensayo acústico en paneles con 15% de agregado fino de “FNFU”	134
4.28.	Datos de ensayo acústico en paneles con 0% de agregado de “FNFU”	135
4.29.	Datos de ensayo acústico en paneles con 5% de agregado grueso de “FNFU” ...	136
4.30.	Datos de ensayo acústico en paneles con 10% de agregado grueso de “FNFU”	136
4.31.	Datos de ensayo acústico en paneles con 15% de “FNFU” grueso	137
4.32.	Datos de comportamiento acústico de paneles con agregado de “FNFU”	138
4.33.	Descripción de paneles y porcentajes de agregado de “FNFU”	141
4.34.	Datos de ensayos térmicos en cilindros con 0% de agregado de “FNFU”	143
4.35.	Datos de ensayo acústico en paneles con 5% de agregado fino de “FNFU”	144
4.36.	Datos de ensayo térmico en cilindros con 10% de agregado fino de “FNFU”	145
4.37.	Datos de ensayo térmico en cilindros con 15% de agregado fino de “FNFU”	146
4.38.	Datos de ensayo térmico en cilindros con 0% de agregado de “FNFU”	147
4.39.	Datos de ensayo térmico en cilindros con 5% de “FNFU” grueso	148

4.40.	Datos de ensayo térmico en cilindros con 10% de “FNFU” grueso.....	149
4.41.	Datos de ensayo térmico en cilindros con 15% de “FNFU” grueso	150
4.42.	Datos de comportamiento térmico en mampuestos con agregado de “FNFU” ...	151
4.43.	Datos sobre Rendimiento óptimo de Mampuestos con Agregado de “FNFU” ...	152

Índice de Siglas

FNFU (Fibras de Neumáticos fuera de Utilización)	101
--	-----

Resumen

El Medio Ambiente tiene limitadas fuentes de recursos, el más limitado recurso de la humanidad es el tiempo, la degradación es algo inminente y sin posibilidad de arreglo, la contaminación reduce el espacio y la expectativa de vida de todos los seres en la naturaleza por lo que es necesario reutilizar en lo posible los elementos que causan problemáticas en el entorno, surge el reciclaje como respuesta a esta necesidad, darle de esta manera nuevos usos al producto desechado. La carrera espacial causó el surgimiento de nuevos materiales en donde los polímeros empezaron a manufacturarse, facilitando nuevas formas de movilización y transporte, el caucho se convirtió en el elemento polimérico fundamental de toda esta revolución al formar los neumáticos se convirtieron en algo indispensable en todo tipo de transporte, desde automóviles hasta aerodeslizadores, su tiempo de degradación el ambiente supera los quinientos años por lo que causa un gran apilamiento y por lo tanto una gran contaminación por los vectores que se originan, es por esto que este estudio da una pauta acerca de la reutilización del caucho como relleno en materiales estructurales proporcionando un incremento a sus propiedades dándole de esta manera nuevos usos a un producto ya desechado y sin posibilidades de cumplir tareas de forma eficiente.

En la presente tesis se efectúa el estudio de diversas formas de reutilización y ensayos que demuestran la factibilidad de la aplicación de este elemento como agregado de materiales estructurales. En primera instancia se realizó una recopilación de todas las maneras existentes de reducción del caucho en fibras de distintos tamaños además de todas las formas de aplicación que se le dan a este material reprocesado en la actualidad, posteriormente a esto se desarrolló una intensa investigación que dio a conocer diversos y variados datos revolucionarios en materia térmica además así como acústica, toda la experimentación indicada en el presente proyecto se realizó bajo explícita normativa para cada tipo de ensayo, por esta razón todos y cada uno de los datos son totalmente confiables además de reales en cada uno de los ensayos realizados.

Introducción

En la necesidad de innovar en las aplicaciones del caucho fuera de utilización, específicamente aquel destinado a la fabricación de neumáticos, sale a la relucir la preponderante necesidad de obtener ventaja y aceptación en al campo industrial de nuevas formas de reciclaje de caucho en función de las funciones presentadas a fin de sustituir procesos ya existentes.

Todos los escenarios de producción no pueden ser instaurados sin un estudio previo de procesos productivos, espacios necesarios y maquinaria adecuada, este proyecto partiendo de la obtención de materias primas plantea formas lógicas de procesos para el correcto ensamblaje de organización de ensayos además de obtención y análisis de datos necesarios para un proceso investigativo tan centrado y extenso.

En virtud de esta necesidad el presente proyecto busca la introducción de fibras de caucho fuera de utilización como rellenos de materiales estructurales tomando en cuenta todas sus fortalezas y debilidades en el sector industrial destinado a la producción masiva, como parte fundamental de este estudio está planteado un grupo de ensayos destructivos que revelan datos nuevos de importancia superior en el campo de reutilización así como la correcta interpretación de los mismos plasmados en gráficas que indican de esta manera el progreso de toda la investigación desde sus inicios hasta que se logró importantes cambios en la estructura de los ensayos realizados para una mejora de propiedades así como de sectores de aplicación.

CAPÍTULO

1

**ESTADO DEL ARTE DEL PROCESO DE RECICLADO DE
CAUCHO**

Capítulo 1

Estado del Arte del Proceso de Reciclado de Caucho

1.1 Introducción

El caucho es un polímero de muchas unidades, encadenadas de un hidrocarburo elástico, el isopropeno C_5H_8 que surge como una emulsión lechosa (conocida como látex) en la savia de varias plantas, pero que también puede ser producido sintéticamente [1].

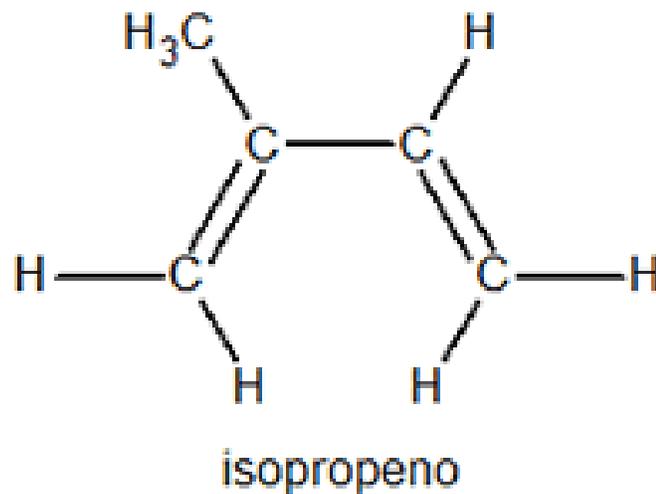


Figura 1.1: Unidad Estructural del Caucho Natural. Fuente: [1]

El caucho natural fue utilizado en Europa posterior al descubrimiento de América, se encuentra como solución en el látex conteniendo de 2 - 4% de materia proteica, de 1-4% de resinas, ácidos grasos, y otros, el resto es el hidrocarburo del caucho, con el calor se hace blando y pegajoso, y con temperaturas bajas es duro y frágil [2].

El caucho sintético se refiere a Estireno-Butadieno, que es el de mayor consumo para la fabricación de llantas. También se puede utilizar caucho polibutadieno, caucho isobuteno-isopreno, caucho isobuteno-isopreno halogenado, compuestos de azufre, resinas fenólicas, hidrocarburos aromáticos, nafténicos y parafínicos, crudos pesados [2], la tabla 1.1 resume los países de mayor producción de caucho.

Tabla 1.1: Mayores Productores de Caucho en el Mundo.

Fuente: [1]

País	Toneladas Métricas por Año
Malasia	1291500
Tailandia	1258000
Indonesia	1175000
India	323500
China	240000
Filipinas	168000
Nigeria	140900

1.1.1 Propiedades Físicas y Químicas del Caucho.

El caucho en estado natural es un hidrocarburo blanco. El compuesto de caucho más simple es el isopreno o 2-metilbutadieno, cuya fórmula química es C_5H_8 , la figura 1.2 muestra la cadena polimérica del caucho natural.

A una temperatura ambiente de 20 °C es líquido, alrededor de -195 °C, el caucho puro es un sólido duro y transparente. De 0 a 10 °C es frágil y opaco, y por encima de 20 °C se torna blando, flexible y translúcido. La densidad del caucho a 0 °C. es de 0.950 a 20 °C. es de 0.934 , la molécula de caucho posee un peso molecular medio de 5×10^5 g/mol[1].

En estado puro no es hidrosoluble, es soluble en benceno, petróleo, hidrocarburos clorados y disulfuro de carbono, se descompone a temperaturas superiores a los 200 °C [1].

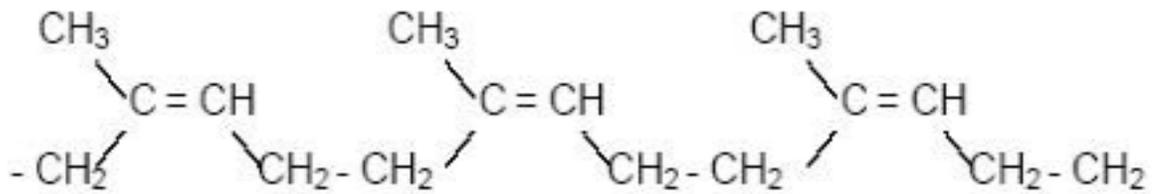


Figura 1.2: Cadena de Polímeros del Caucho Natural. Fuente: [1]

Debido a su naturaleza plástica el caucho adquiere una gran deformación permanente, aunque la plasticidad puede modificarse por acción de productos químicos, experimenta un fenómeno denominado deformación residual o estiramiento permanente, que se da cuando el caucho bruto ha sido estirado y deformado durante algún tiempo no tiene capacidad de regresar a su estado original.

Todas estas propiedades del caucho le dan un muy amplio campo de aplicación en el sector industrial, para empaques en maquinaria que está sujeta a grandes presiones, en rodillos de imprenta, productos resistentes al envejecimiento, además de neumáticos como se muestra en la tabla 1.2; el caucho repele el agua, no es hidrosoluble y tiene una biodegradabilidad muy lenta la cual se encuentra cercana a los 500 años, lo cual no lo hace amigable con el ambiente.

Tabla 1.2: Aplicaciones del Caucho Sintético.

Fuente: El Autor

TIPO	NATURALEZA	APLICACIONES
S	Copolímeros del butadieno y estireno	Neumáticos
N	Copolímeros del butadieno y acronitrilo	Productos resistentes al calor
Neopreno	Polímeros del cloropeno	Productos resistentes al envejecimiento
Vinilo	Cloruro de polivinilo y alcohol	Chapado
Poliuretano	Poliésteres	Espuma de Calzado
Siliconas	Clorosilanos	Empaques
Polisulfuros	Productos resultantes de la reacción de dicloruros orgánicos y polisulfuros alcalinos	Rodillos de Imprenta
Acrílicos	Derivados de la clorhidrina	Aislantes

1.1.2 Vulcanización

Para la obtención de caucho estable y resistente al ataque químico, una de las operaciones unitarias que le da al caucho las propiedades necesarias, es la vulcanización, la cuál surge gracias a la acción del azufre mostraddo en la figura 1.3.

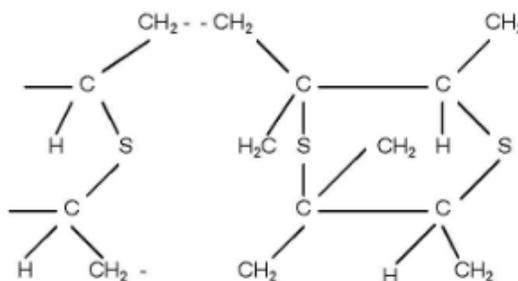


Figura 1.3: Cadenas de hule unidas por acción de azufre.

Fuente: [1]

Durante el proceso de vulcanización, los polímeros lineales paralelos cercanos constituyen puentes de entrecruzamiento entre sí, posteriormente se unen dos cadenas de hule por acción del azufre, en sitios en donde se encuentran dobles ligaduras carbono-carbono, como se muestra en la figura 1.4.

El resultado final es que las moléculas elásticas de caucho quedan unidas entre sí a una mayor o menor extensión. Esto forma un caucho más estable, duro, con mayor durabilidad, más resistente al ataque químico y sin perder la elasticidad natural. También transforma la superficie pegajosa del material en una superficie suave que no se adhiere al metal o a los sustratos plásticos.

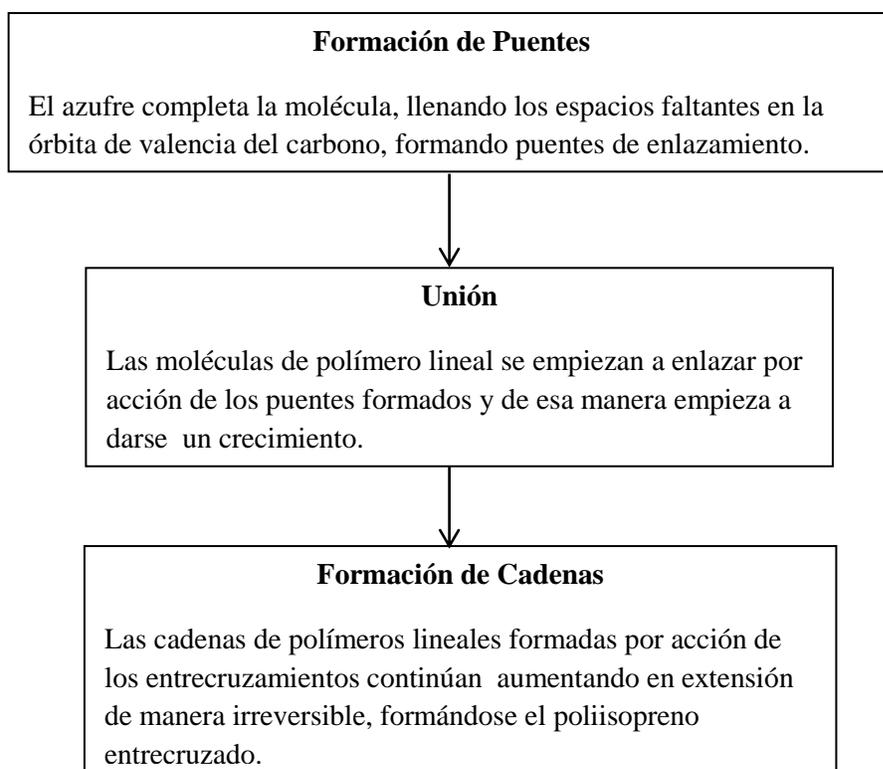


Figura 1.4: Diagrama de Flujo de Vulcanización del Caucho.

Fuente: El Autor

Los electrones de valencia en el último nivel de configuración electrónica dan a conocer los lugares de enlace de los átomos de carbono con azufre, dándose así una mayor extensión del poliisopreno llevando a cabo la vulcanización como se aprecia en la figura 1.5.

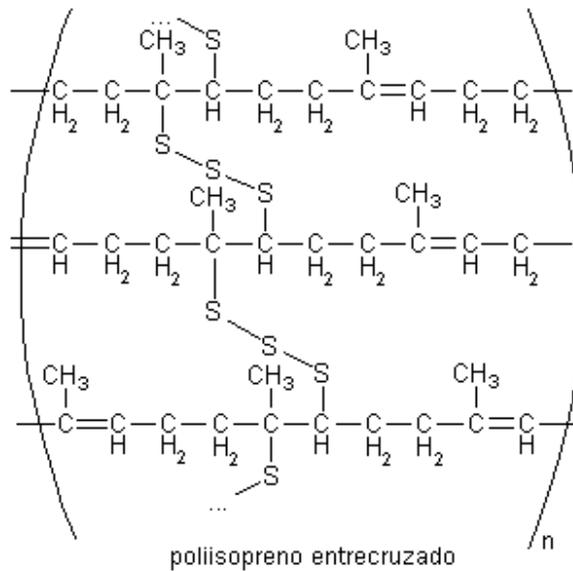


Figura 1.5: Poliisopreno entrecruzado por acción del azufre.

Fuente: [2]

1.1.2.1 Azufre

Es un elemento no metálico de color amarillo pálido, su número atómico es 16 y su masa atómica es de 32,066 uma, es micronizado o dispersado en aceite mineral o en materiales poliméricos.

En consecuencia el azufre posee una valencia electrónica de 6 por lo que se combina con los dobles enlaces de las moléculas de caucho formando puentes de cadenas de azufre, proporcionando impermeabilidad y resistencia química, además de conservar su elasticidad.

La valencia electrónica 2,4 y 6 es compartida por Carbono, Silicio y Germanio, un átomo se satura con ocho electrones en la órbita exterior, esta órbita determina su valencia, que a su vez indica los potenciales enlaces que posee.

El átomo de Carbono tiene 6 electrones en su último nivel de valencia, por lo que posee dos enlaces potenciales, por lo que en el proceso de vulcanización el átomo de Azufre completa estos espacios faltantes en la órbita del Carbono llenando así la configuración electrónica de este nivel, como se muestra en la figura 1.6.

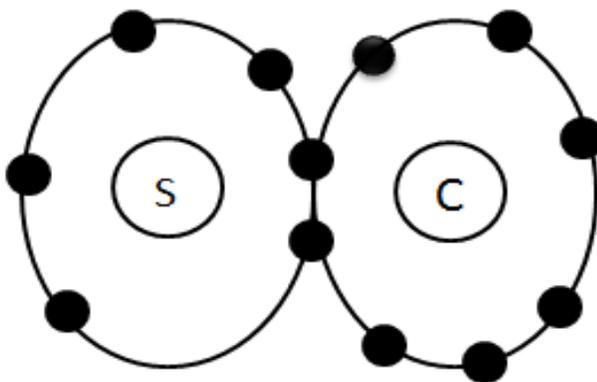


Figura 1.6: Unión de Átomos de Carbono con Azufre.

Fuente: El Autor.

1.1.3 Fuentes más importantes de Contaminación del Caucho

El caucho es utilizado en relación de sus cualidades, por su flexibilidad se usa para la fabricación de mangueras, neumáticos y rodillos para una amplia variedad de máquinas, en varios tipos de amortiguadores y mecanismos de las carcasas de máquinas para reducir vibraciones, su impermeabilidad y resistencia al agua se aprovecha para construir ropa impermeable, trajes de buceo, empaques.

La resistencia a la electricidad del caucho lo convierte en un óptimo material aislante, utilizado en guantes, zapatos, carcasas de teléfonos y además en medidores y aparatos de radio, el coeficiente de rozamiento del caucho, alto en superficies secas y bajo en superficies húmedas, se aprovecha para correas de transmisión y cojinetes lubricados con agua en bombas para pozos profundos, la figura 1.7 muestra las mayores fuentes de contaminación de caucho.

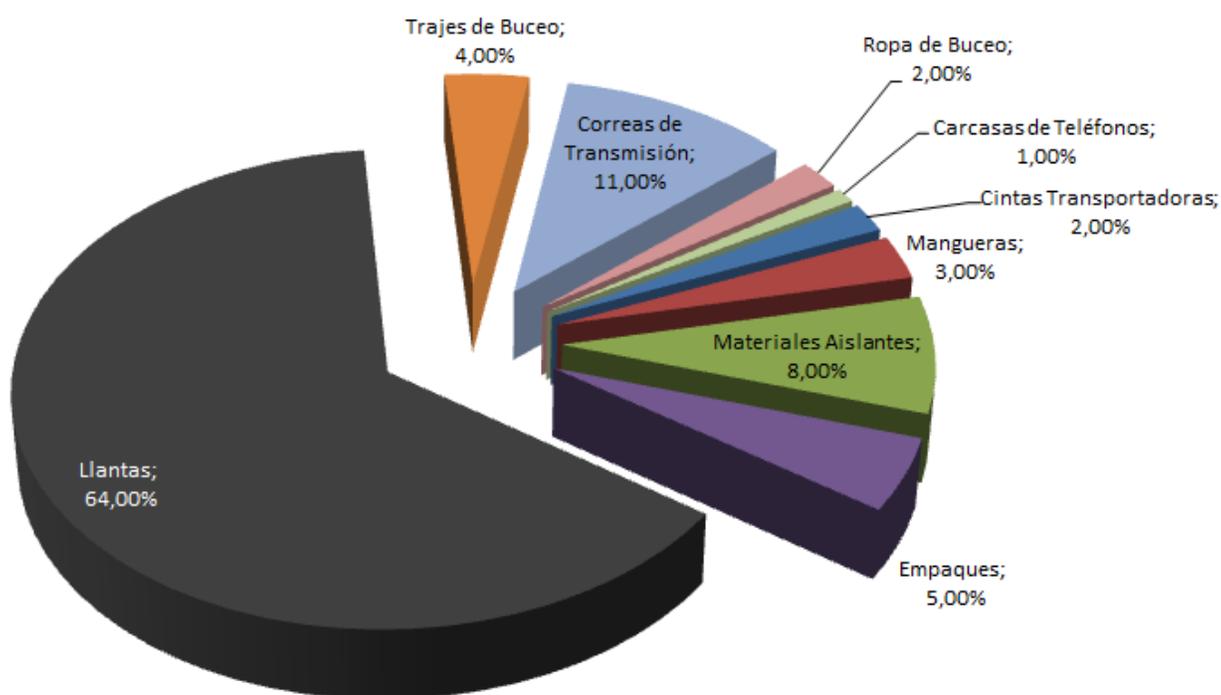


Figura 1.7: Fuentes más Importantes de Contaminación del Caucho.

Fuente: El Autor

Por consiguiente la fuente más importante de contaminación del caucho son las llantas fuera de utilización que están compuestas de distintos elementos que forman su estructura, entre los que se destaca el uso de caucho natural y de caucho sintético como

los compuestos que tienen un mayor porcentaje de utilización en su construcción [1], además es de suma importancia el negro de humo que también posee una intervención importante dentro de la composición y por el cual la llanta toma el su color negro característico y la dureza necesaria para tener un rendimiento aceptable y soportar de mejor manera el desgaste al alcanzar su máxima temperatura de trabajo [4], el resto de componentes de la llanta se detallan en la Tabla 1.3.

Tabla 1.3: Composición de una Llanta.

Fuente: [4]

Compuesto	Porcentaje
Caucho Natural	19%
Caucho Sintético	26%
Negro de Humo	23%
Tejidos	9%
Alambre	3%
Aceite	6%
Óxido Esteárico	6%
Óxido de Zinc	4%
Sulfuro	3%
Acelerantes	1%

La parte que sufre mayor desgaste durante su vida de servicio es la banda de rodamiento [5] , que es la superficie en la que se encuentra grabado el labrado correspondiente a cada tipo de llanta y que a su vez se encuentra en contacto directo con el suelo, cabe destacar que el rodamiento es la primera parte de la llanta en construirse, en comparación con los demás tipos de caucho de los que está compuesta la llanta, el caucho con el que está construida esta banda es el que posee la mayor dureza , todo esto debido a su composición que está detallada en la tabla 1.4.

Tabla 1.4: Composición del Caucho de la Banda de Rodamiento.

Fuente: [4]

Compuesto	Partes por ciento de Caucho (phr)
SBR1500 (Caucho Butadieno Estireno 1500)	70
BR1200 (Caucho Butadieno 1200)	20
N234 (Negro de Carbón)	75
Aceite	25
Óxido de Zinc	5
Ácido Esteárico	1
Struktol 40 MS (Lubricante)	3
TMQ (Trimetil Dihidroquinolina)	2
IPPD (Isopropil fenil fenilendiamina)	2
Antilux 654	1.5
TBBS (Sub sulfonilo sulfenamidas)	1.5
Azufre	2.4

El negro de carbón desempeña un papel importante en otorgar la dureza necesaria a la banda de rodamiento por lo que posee una gran intervención dentro de su composición como se muestra en la figura 1.8.

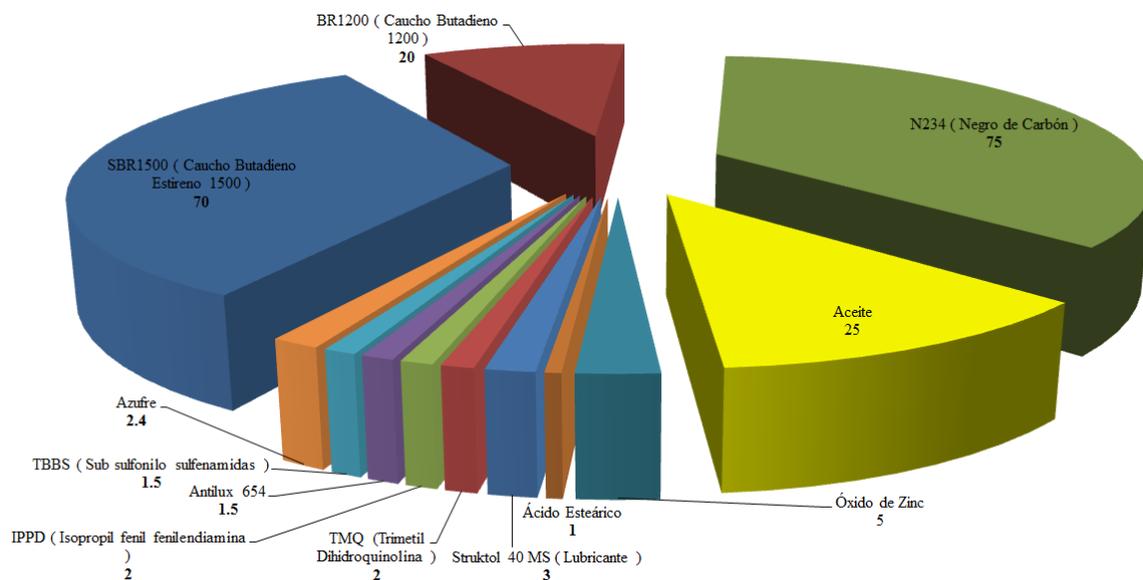


Figura 1.8: Composición del Caucho de la Banda de Rodamiento.

Fuente: El Autor.

De acuerdo a esta composición que ha sido mencionada en la tabla 1.4 se obtiene una serie de propiedades que son óptimas para un excelente rendimiento de la banda de rodamiento, ya que debe permanecer en su lugar y sin sufrir degradación al alcanzar su máxima temperatura de trabajo [4] que se alcanza luego de una hora de trabajo con la carga apropiada y la presión que es recomendada para cada tipo de llanta, de esta manera todas estas características que se alcanzan con la composición que posee esta banda, se dan a conocer en la tabla 1.5.

Tabla 1.5: Propiedades Físicas del Caucho de la Banda de Rodamiento.

Fuente: [4]

Propiedades Físicas	Resultados Numéricos
Esfuerzo Máximo de Tracción (MPa)	16.5
Elongación	423%
Dureza Shore A	74
Pruebas Lupke (23 °C)	31%
Prueba Lupke (70 °C)	38%
Abrasión DIN (mm ³)	90

Análogamente el innerliner es la parte que reemplaza al tubo en las llantas radiales, es la parte interna de la llanta [5] es muy importante dentro de su estructura, su composición se detalla en la Tabla 1.6.

Tabla 1.6: Composición del Caucho de Innerliner.

Fuente: [4]

Compuesto	Partes por ciento de Caucho (phr)
BIIR X2 (Caucho Butadieno X2)	100
N660 (Negro de Carbón)	60
Resina	4
Struktol 40 MS (Lubricante)	7
Ácido Parafínico	8
Ácido Esteárico	2
Maglita	0.17
Óxido de Zinc	3.3
Azufre	0.55
MBTS (Acelerador)	1.65

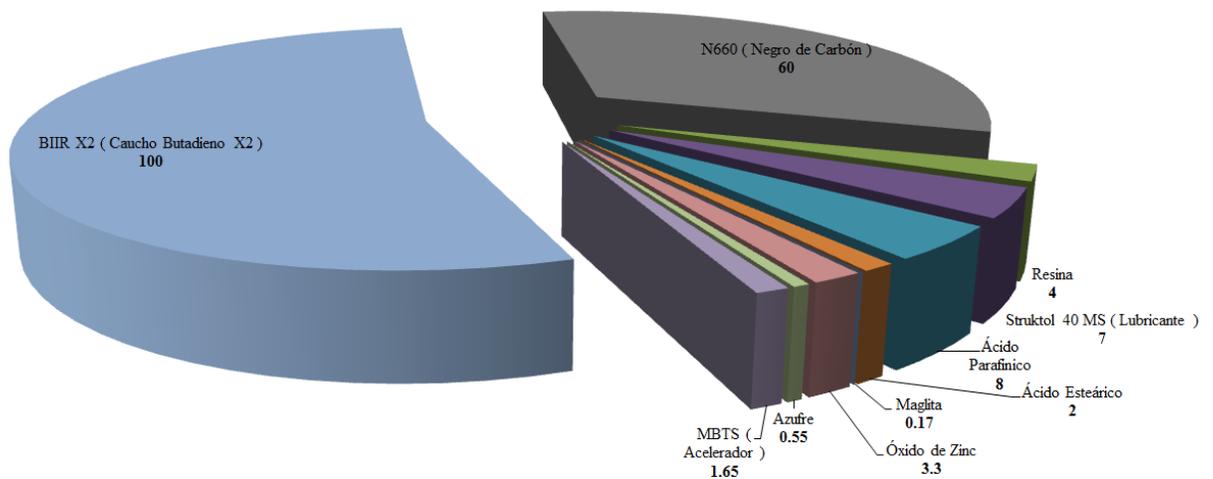


Figura 1.9: Composición del Caucho de Innerliner.

Fuente: El Autor.

De la misma manera el caucho del innerliner [5] es más suave que el tipo de caucho que se utiliza en la producción de la banda de rodamiento, en otras palabras sus propiedades son distintas ya que no tiene contacto con ninguna superficie y su función es ser la estructura interna conteniendo el fluido comprimido internamente.

Tabla 1.7: Propiedades Físicas del Caucho de Innerliner.

Fuente: [4]

Propiedades Físicas	Resultados Numéricos
Esfuerzo Máximo de Tracción (MPa)	9.5
Elongación	786 %
Dureza Shore A	52
Permeabilidad al aire (a.m ² /Pa.s)	63.1
Pruebas Lupke (23 °C)	30
Pruebas Lupke (70 °C)	37

Las pruebas Lupke son pruebas de rebote que se practican en cada tipo de caucho que se debe testear, se realiza a diferentes temperaturas que es a 23°C y a 70°C, se mide la cantidad de rebotes que se dan sobre el caucho luego de que el péndulo lo

golpea se basa en el principio de resiliencia, que define el comportamiento que un material presenta ante los golpes, por lo tanto la fragilidad es menor, cuanto mayor es la resistencia del material que está siendo probado [5].

Por otra parte la superficie lateral de la llanta es la parte en que se encuentra grabado el serial, las normas de fabricación, la marca y las diferentes indicaciones de montaje y cuidado [1] , el caucho del que está fabricada posee la composición mostrada en la tabla 1.8.

Tabla 1.8: Composición del Caucho del Lateral.

Fuente. [4]

Compuesto	Partes por ciento de Caucho (phr)
SIR20 (Caucho Natural)	100
Negro de Humo	45
Aceite	5
Óxido de Zinc	5
Ácido Esteárico	2
TMQ (Trimetil Dihidroquinolina)	4
IPPD (Isopropil fenil fenilendiamina)	1.5
Cera	2
Resina	5
TBBS (Sub sulfonilo sulfenamidas)	1.8
Azufre	1.5

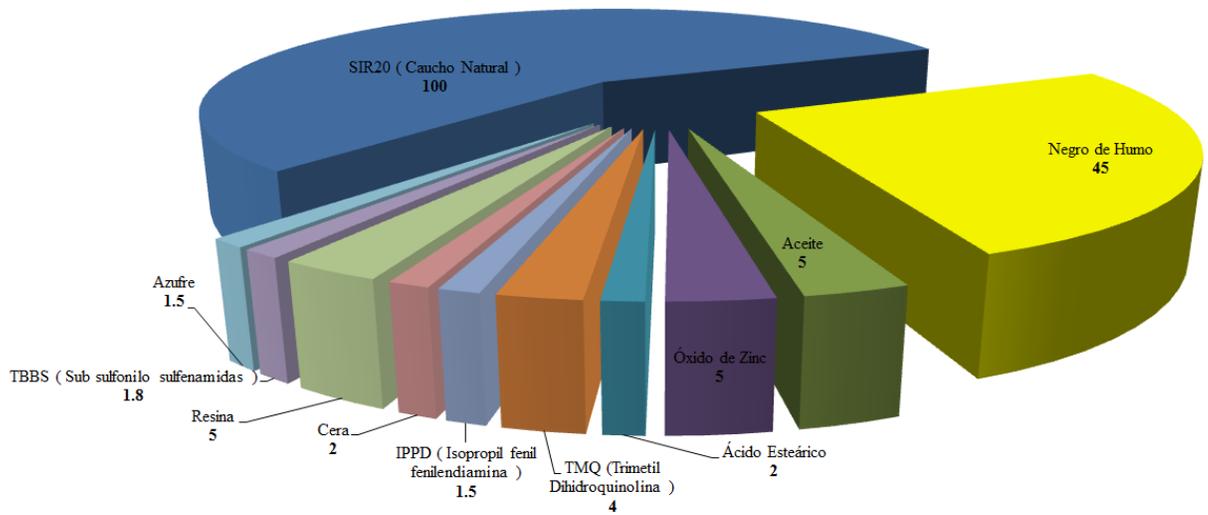


Figura 1.10: Composición del Caucho de Lateral.

Fuente: El Autor.

En consecuencia las propiedades físicas del caucho del lateral son afectadas por su composición ya descrita en la Tabla 1.6, además la dureza es menor que la del tipo de caucho que se utiliza para la banda de rodadura, como se puede notar en la tabla 1.9 y en la figura 1.11.

Tabla 1.9: Propiedades Físicas del Caucho de Lateral.

Fuente: [4]

Propiedades Físicas	Resultados Numéricos
Esfuerzo Máximo de Tracción (MPa)	14.2
Elongación %	564
Dureza Shore A	57
Pruebas Lupke (23 °C)	50
Pruebas Lupke (70 °C)	59

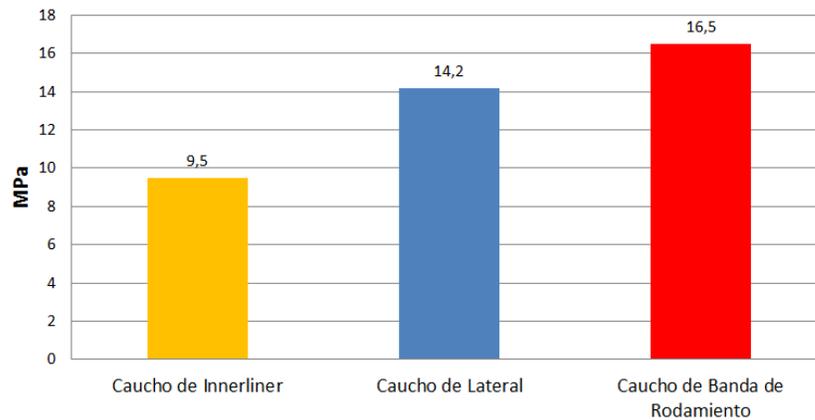


Figura 1.11: Gráfica Comparativa de Esfuerzo Máximo de Tracción.

Fuente: El Autor.

De la misma manera las propiedades físicas agregadas al caucho de lateral por su composición ya mencionadas en la tabla anterior, son menores en dureza al caucho de la banda de rodamiento ya que en su desempeño no tiene contacto con superficies que le causen desgaste excesivo como se aprecia en la figura 1.12.

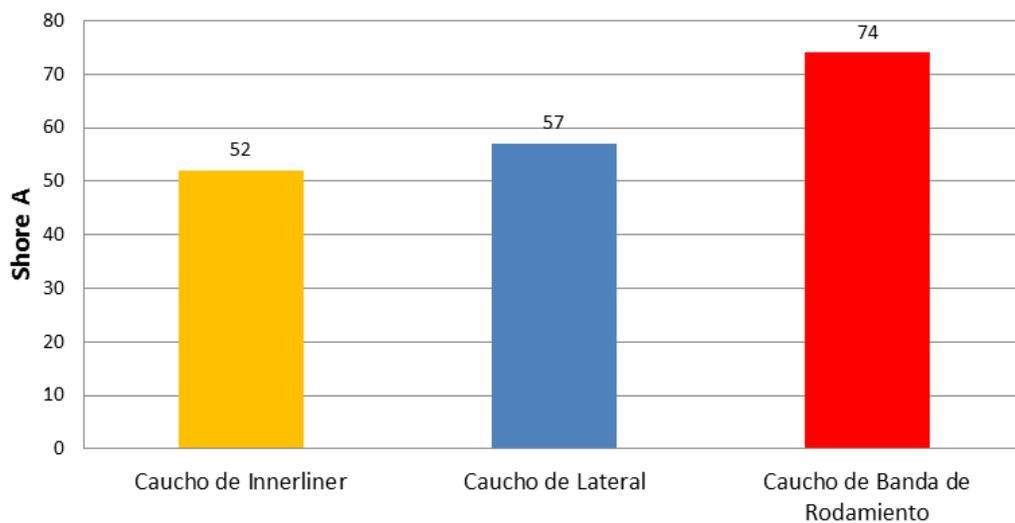


Figura 1.12: Gráfica Comparativa de Dureza.

Fuente: [4]

La elongación no es igual en todos los tipos de caucho como se aprecia en la figura 1.13, pues a mayor elongación se reduce la dureza, es por esto que el caucho de

rodamiento posee menor elongación que el innerliner y el lateral que necesitan ser estirados en el tambor de expander y carcasa para la elaboración de la llanta.

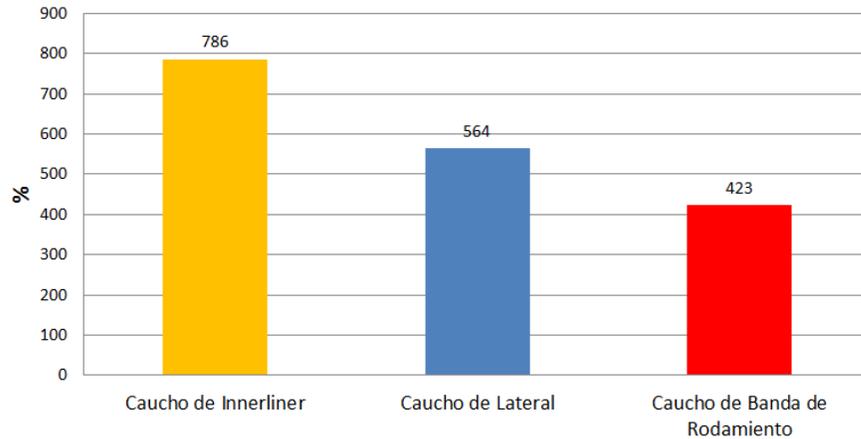


Figura 1.13: Gráfica Comparativa de Porcentaje de Elongación.

Fuente: El Autor.

1.2 Realidad Local

1.2.1 Obtención de Scrap

En la ciudad de Cuenca se fabricó la primera llanta el día 22 de Diciembre de 1962 [4] por Continental Tire Andina, dentro de la producción de la empresa se producen tres tipos de llanta las primeras son las llantas de Equipo Original, que son las llantas que están con todas las magnitudes dentro de especificación dadas por Continental, ya sean en fuerzas radiales, laterales, conicidad o de balanceo dinámico además de apariencia visual como se aprecia en la figura 1.14, las llantas de Reposición son aquellas cuyas magnitudes están fuera de especificación pero dentro de tolerancia, y por último las llantas Scrap son aquellas que están fuera de especificación y de tolerancia, existen cuatro clases de Scrap [5].

Los pliegos de caucho se consideran Scrap I cuando están con demasiado aire atrapado y dan afloramientos, que el calibre no sea adecuado o que no esté apto para ser extruído en las tuberías, el Scrap II se refiere a los núcleos de llantas CVT (Commercial

Vehicle Tires) que son las llantas para vehículo comercial con aro mayor a 16 pulgadas o PLT (Passenger and Light Truck) que son las llantas para camiones pequeños y para transporte de pasajeros con una medida de aro hasta 16 pulgadas, luego se tiene los Breaker que son las correas de acero que serán situadas por debajo de la banda de rodamiento y sobre los pliegos de nylon y del innerliner, por último dentro de este tipo de Scrap III se tiene a los textiles que están dentro de la estructura de la llanta teniendo así al nylon, poliéster, y al tramado, el Scrap III que comprende carcacas mal construidas y llantas dañadas previo a la vulcanización, por último el Scrap IV que son las llantas ya vulcanizadas que tienen una apariencia visual fuera de especificación o cuyas magnitudes radiales, laterales, de conicidad o balanceo dinámico están por muy lejos de ser liberadas como de Equipo Original o de Reposición.

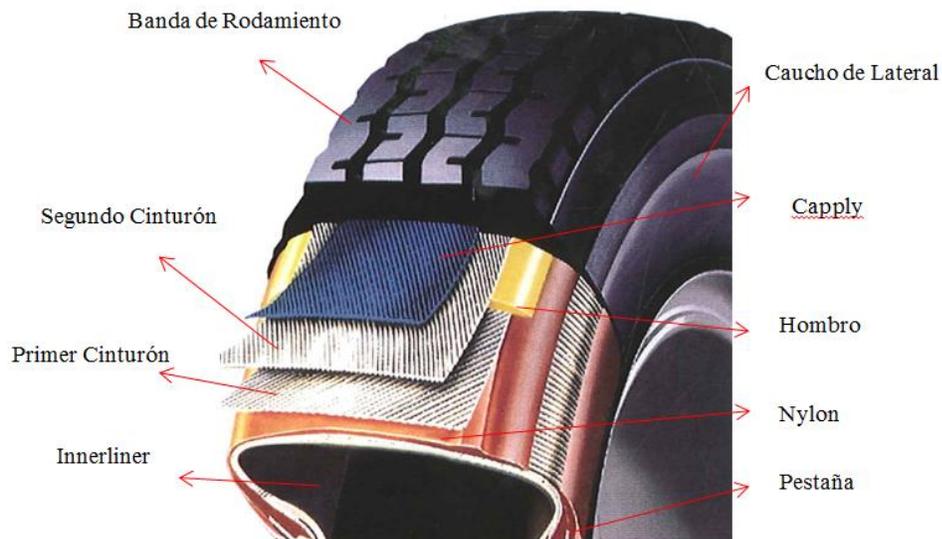


Figura 1.14: Estructura de una llanta radial.

Fuente: El Autor

Las llantas catalogadas como equipo original están en la tabla 1.10 y son las que se dirigen a las ensambladoras y deben tener una mejor presentación y un menor número de defectos que las que son normalmente comercializadas al público en general.

Tabla 1.10: Llantas clasificadas como Equipo Original fabricadas en Continental Tire Andina. Fuente: Continental Tire Andina

Modelo	Línea de Colores impresa en el Rodamiento				Costo	Cliente
185/60R14 Power Contact	Blanco	Rojo	Verde	Naranja	\$ 24,52	General Motors - Quito / Columbia
195/55R15 Power Contact	Naranja	Blanco			\$ 25,17	General Motors - Quito
235/60R16 4x4 Contact	Amarillo				\$ 37,67	General Motors - Quito
175/70R13 82T Altimax	Marrón	Amarillo	Verde		\$ 21,65	KIA
205/75R15 Grabber SUV	Rojo	Marrón	Blanco		\$ 37,67	General Motors - Quito
245/70R16 CrossContact	Rojo	Blanco	Verde	Amarillo	\$ 51,90	Mazda
225/70R15 Vanco	Blanco	Naranja	Amarillo	Rojo	\$ 47,44	General Motors - Quito / Mazda
195R14C C200	Amarillo	Marrón	Verde	Naranja	\$ 41,39	KIA
255/70R16 CrossContact	Amarillo	Blanco	Verde	Marrón	\$ 55,09	Mazda

Los ingresos de llantas de equipo original se observan en la figura 1.15, se observa las llantas de equipo original en verde y de reposición en azul, donde se observa un predominio de las llantas que se destinan a las ensambladoras de automotores.

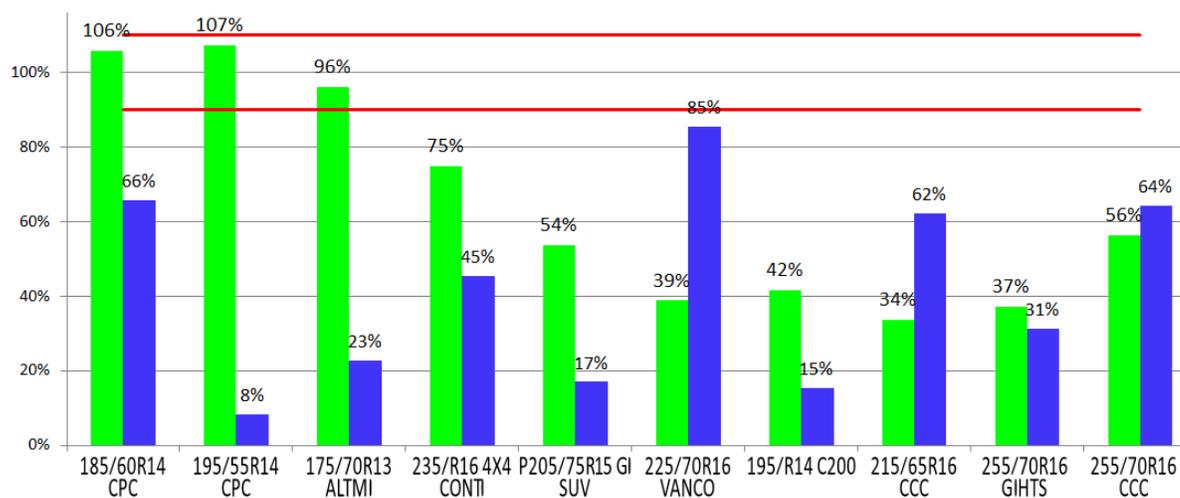


Figura 1.15: Llantas de equipo original versus reposición en el mes de Diciembre 2011.

Fuente: Continental Tire Andina

La disposición final de las llantas usadas ha llegado a representar un problema técnico, económico, ambiental y de salud pública. En efecto, las llantas son difíciles de compactar en un relleno sanitario, haciendo que este proceso sea costoso y presentando además el inconveniente de que ocupan demasiado espacio.

Su almacenamiento en grandes cantidades provoca problemas estéticos y riesgo de incendios difíciles de extinguir. Su uso como combustible en hornos que no cuentan con la tecnología de control adecuada genera graves problemas de emisiones contaminantes a la atmósfera [7].

Tabla 1.11: Propiedades Físicas de la Banda de Rodamiento con agregado de polvo de Caucho Reciclado.

Fuente: [4]

Propiedades Físicas	Resultados	Resultados con Agregado de Polvo de Caucho Reciclado
Esfuerzo Máximo de Tracción (MPa)	16.5	16.6
Elongación	423%	400%
Dureza Shore A	74	77
Prueba Lupke (23 °C)	31%	30%
Prueba Lupke (70 °C)	38%	37%
Abrasión DIN (mm ³)	90	101

En consecuencia es algo muy acertado entonces implementar sistemas de reciclaje de caucho de neumáticos fuera de utilización que no afecten al medio ambiente, y es así que surge la creación de polvo de obtenido a partir de caucho reciclado que mezclado con caucho nuevo aumenta sus propiedades físicas como el esfuerzo máximo de tracción que se ve incrementado como se aprecia en la figura 1.16 y además reduce costos de fabricación de nuevas llantas.

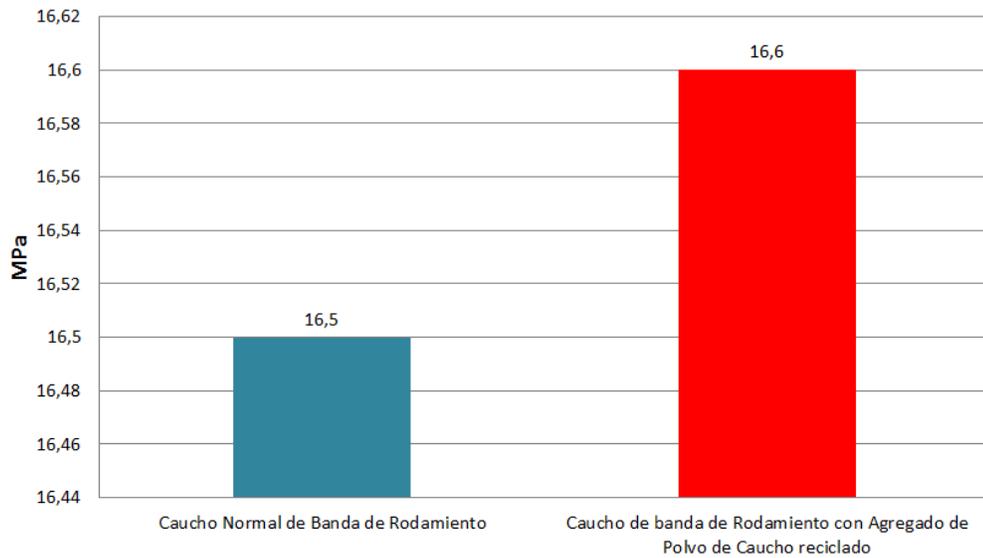


Figura 1.16: Gráfica Comparativa de Esfuerzo Máximo de Tracción.

Fuente: El Autor.

El incremento no es significativo en lo que se refiere al esfuerzo máximo de tracción como se aprecia en la figura 1.16, pero la llanta está destinada a soportar abrasión y elongación, no estará continuamente cargada en toda su estructura, el peso se distribuirá en manera radial por lo que esta disminución no representa algo realmente importante en la fabricación de una nueva llanta.

La elongación como se ve en la figura 1.17 disminuye al utilizar agregado de polvo de caucho reciclado en la composición de una nueva llanta, pues la adhesión nunca iguala a la de la composición original.

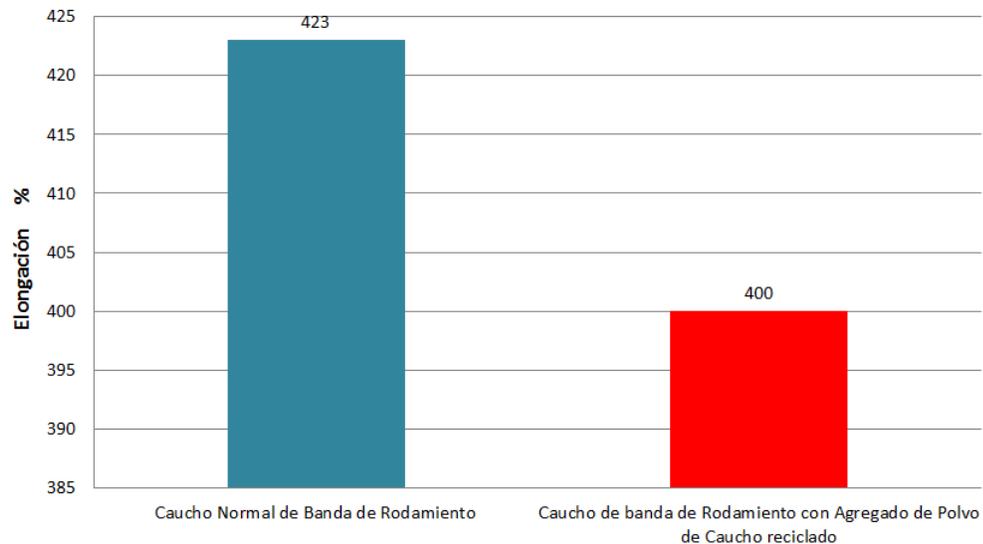


Figura 1.17: Gráfica Comparativa de Porcentaje de Elongación.

Fuente: El Autor.

El descenso de la elongación indica una menor facilidad de estirar el rodamiento sobre el tambor de la máquina expansora, lo que aumenta la creación de empalmes voluminosos y por lo tanto la posibilidad de que se den fuerzas radiales demasiado altas, entonces las probabilidades de defectos aumentan y crear Scrap IV se hace más posible, pero esto se puede remediar tan solo dando cortes perfectos en la longitud del rodamiento, sin necesidad de esperar operaciones milagrosas por parte del obrero que fabrica la carcasa de la llanta.

La dureza Shore A es incrementada al incluir agregado de polvo de caucho reciclado en la banda de rodamiento como se ve en la figura 1.18, aumentando el lapso de utilización de la llanta y reduciendo fuerzas radiales al tener un punto alto que no posee una dureza superior al punto bajo de la llanta, pues al tener dureza uniforme se reduce la deformación continua de la estructura de la llanta y por lo tanto se reduce el golpeteo en la estructura del automóvil.

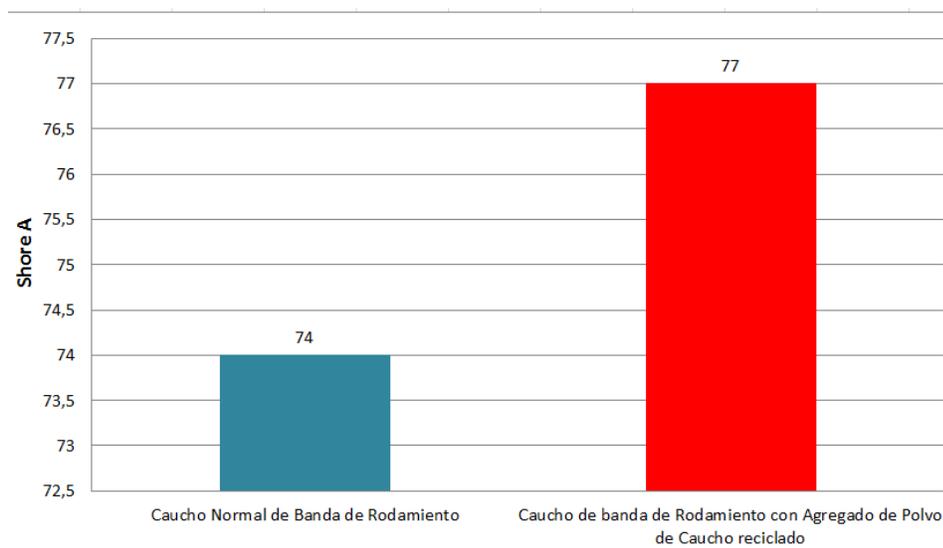


Figura 1.18: Gráfica Comparativa de Dureza.

Fuente: El Autor

De la misma manera se pudo observar en la tabla 1.18 que la dureza Shore A aumenta, además que la resistencia a la abrasión se ve muy superior y esto es lo que en realidad interesa ya que reduce el desgaste por consiguiente la vida útil de una llanta se ve extendida.

Una llanta requiere una resistencia a la abrasión alta, esto determina la vida útil de la banda de rodamiento que tiene contacto directo con la superficie del suelo, esta resistencia se ve incrementada al utilizar polvo de caucho reciclado en su estructura como se ve en la figura 1.19.

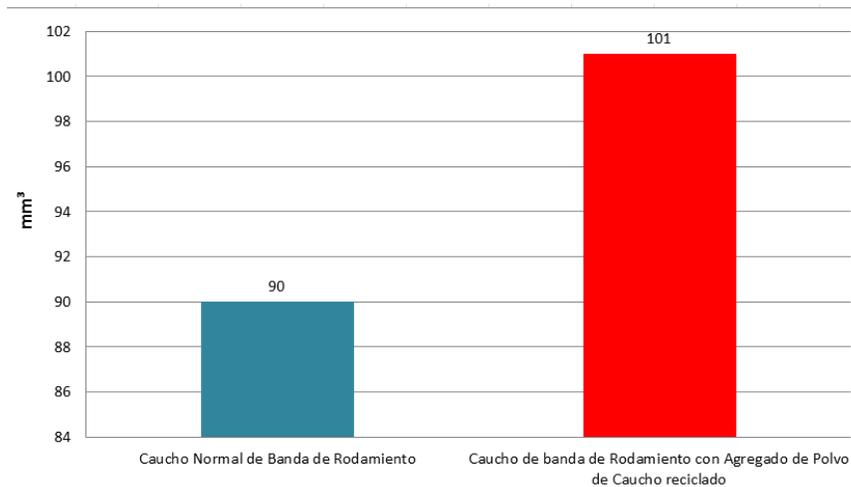


Figura 1.19: Gráfica Comparativa sobre Abrasión.

Fuente: El Autor.

1.2.2 Tipo de Procesos de Reciclaje de Caucho fuera de Utilización.

Este análisis comparativo es sugerido para el reciclaje de caucho fuera de utilización.

Los posibles métodos que se pueden emplear para este propósito son los siguientes:

- Regeneración.
- Pirólisis.
- Trituración Criogénica.
- Trituración Mecánica.

Las ventajas y desventajas de los procesos mencionados se encuentran en la tabla 1.12.

Tabla 1.12: Alternativas de Procesos a Implementar por Continental Tire Andina.

Fuente: El Autor.

	VENTAJAS	DESVENTAJAS
REGENERACIÓN	<ul style="list-style-type: none"> • Se obtienen productos con unas características muy similares al caucho virgen. • El precio del caucho regenerado es menor por lo que puede sustituir de forma total o parcial al caucho virgen en una mezcla. 	<ul style="list-style-type: none"> • No es recomendable que se aplique completamente en productos que estén destinados para prestaciones mecánicas, ya que su resistencia mecánica es mucho menor al del caucho virgen. • Se requiere una óptima elección de materia prima así como de las condiciones de proceso. • Es un proceso que requiere profundos conocimientos químicos además de instalaciones sofisticadas.
PIRÓLISIS	<ul style="list-style-type: none"> • La obtención de negro de humo es elevada y muy valiosa ya que puede ser comercializado a fabricantes de neumáticos. • Los gases de pirólisis se utilizan como combustible para uso interno de calderas, hornos y quemadores ya que tienen un elevado poder calorífico. • Los productos que son obtenidos luego del proceso de pirólisis son principalmente: gas similar al propano que se puede emplear para uso industrial; aceite industrial líquido que se puede refinar en diesel. 	<ul style="list-style-type: none"> • La generación de subproductos peligrosos para la salud como las dioxinas es inevitable. • Se deben utilizar revestimientos refractarios de gran calidad en los hornos que desencadena en un elevado costo. • Los distintos componentes que forman la llanta tienen diferente velocidad de combustión, por lo que este proceso es complicado de controlar • Las características de los productos dependen de las condiciones del proceso agregándole dificultad a las instalaciones pirólicas.
TRITURACIÓN CRIOGÉNICA	<ul style="list-style-type: none"> • Se obtiene una buena separación de cenizas y una excelente molienda. • La recuperación de los materiales que conforman los materiales de los neumáticos fuera de utilización se realiza de forma no contaminante. • Las partículas obtenidas son de menor tamaño, de superficie más suave y con una menor oxidación superficial. 	<ul style="list-style-type: none"> • El costo de implementación y mantenimiento es elevado y poco accesible a la industria. • La deficiente calidad de los productos obtenidos así como la dificultad material y económica para purificar y separar el caucho y los diferentes materiales del producto que ha sido triturado.
TRITURACIÓN MECÁNICA	<ul style="list-style-type: none"> • Mínima generación de residuos, así que evita la degradación del medio ambiente. • Permite reutilizar un material muy elaborado en la fabricación de nuevos productos evitando así su degradación total • Los productos obtenidos son de alta calidad y libres de impurezas al no estar en contacto con factores químicos. • La trituración con sistemas mecánicos es el paso previo en los diferentes métodos de recuperación y rentabilización de los residuos de llantas fuera de utilización. 	<ul style="list-style-type: none"> • El aprovechamiento del producto obtenido no se encuentra debidamente desarrollado a pesar de tener un amplio mercado. • Existe un costo elevado por la necesidad de un mantenimiento continuo de la maquinaria.

1.2.3 Puntuación y Ponderación de Procesos

Tabla 1.13: Escala Ponderativa para determinar el Proceso Ideal de Reciclaje para Continental Tire Andina. Fuente: El Autor.

Escala Ponderativa	
Proceso Excelente para el Reciclaje de Caucho fuera de utilización	3
Proceso BUENO para el Reciclaje de Caucho fuera de utilización	2
Proceso DEFICIENTE para el Reciclaje de Caucho fuera de utilización	1
No es aconsejable implementar este proceso	0

Tabla 1.14: Alternativas del Proceso a Implementar para Continental Tire Andina.

Fuente: El Autor.

	Regeneración	Pirolisis	Trituración Mecánica	Trituración Criogénica
Calidad de productos obtenidos	2	2	3	3
Conocimientos requeridos del proceso	1	1	3	1
Costos elevados de implementación	2	0	2	0
Generación de subproductos peligrosos	3	0	3	2
Ahorro de recursos energéticos	2	1	2	1
De acuerdo a la infraestructura	2	1	3	0
Aplicación de productos obtenidos	2	3	3	3
Niveles de producción más elevados	2	2	3	2
Se puede hacer uso de la capacidad instalada	1	2	3	2
Desarrollo constante de aplicaciones para este proceso	1	2	2	2
	18	14	27	16

Según lo expuesto en la tabla 1.14 se puede determinar que el mejor proceso para el reciclaje de caucho fuera de utilización es el proceso de trituración mecánica, del cual se partirá los posteriores análisis de factibilidad y la puesta en marcha del proyecto.

1.3 Realidad Nacional

En Ecuador no se explota el amplio mercado que trae el reciclaje de caucho fuera de utilización, lo que más se utiliza para alargar la vida de un producto como los neumáticos es el Reencauche, que no se considera como una alternativa de reciclaje, ya que el caucho cumple la misma función que tenía en su inicio sin pasar a formar parte de otros productos que se pueden fabricar con caucho fuera de utilización, en su mayoría el caucho fuera de utilización se va directo a vertederos sin recibir un tratamiento de reducción de tamaño,

En la figura 1.20 se puede apreciar los tipos de reutilización que se dan en Ecuador con un gran énfasis en el Reencauche.

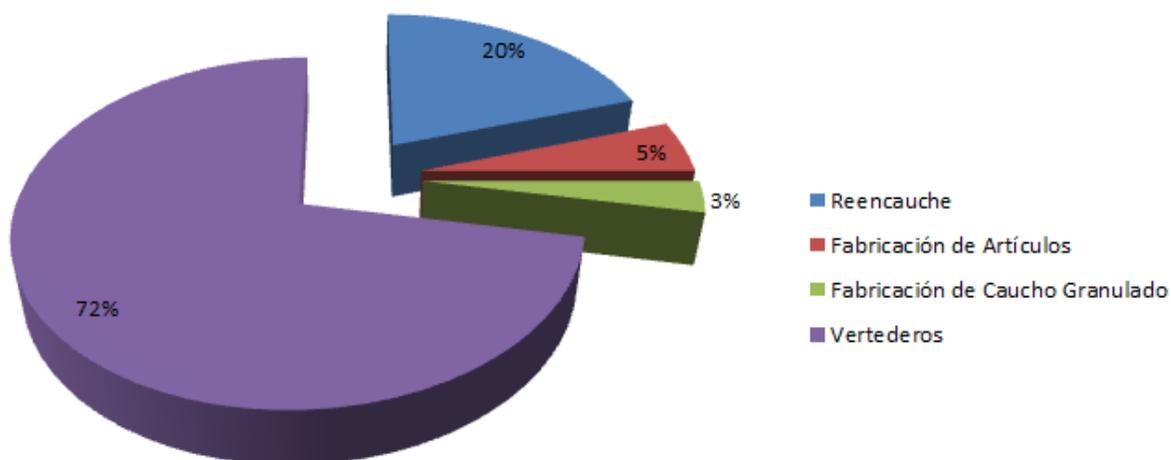


Figura 1.20: Tipos de reutilización de caucho fuera de uso en Ecuador.

Fuente: El Autor.

1.3.1 El Reencauche de Llantas con Banda de Rodamiento Factible.

El Reencauche de llantas es una industria establecida desde principios del siglo anterior , esta es una industria que produce alrededor de dos billones de llantas reencauchadas y vendidas anualmente , estas llantas pueden ser utilizadas a la misma velocidad de una llanta nueva, sin perder seguridad, esfuerzo y comodidad, debido a estos beneficios el presidente de los Estados Unidos firmó una orden administrativa, en octubre de 1993 ordenando a todas las agencias federales del gobierno reemplazar las llantas originales de los vehículos, por llantas reencauchadas [7], actualmente en Ecuador se reencaucha el 20% de todas las llantas usadas en el transporte pesado, y así se convierte en uno de los países que menor porcentaje de reencauche tiene, los países con mayor porcentaje de reencauche son Brasil con el 120% y Estados Unidos con el 100% [2] .

Este procedimiento tan solo puede darse si la banda de rodamiento aún tiene un labrado mayor a 5 milímetros de profundidad, pues sin esta característica el proceso no es posible, ya que el daño llegaría a los cinturones de acero afectando el aislamiento de la llanta, entonces el peligro de explosión se hace inminente. El objetivo del reencauche es la economía al reducir el costo de una llanta nueva, y de forma secundaria es ayudar al medio ambiente reduciendo el impacto ambiental que produce el acumulamiento en vertederos y espacios abiertos.

Por otro lado para que el reencauche tenga la mayor seguridad que sea posible debe estar sujeto a la norma NTE-INEN 2581 Y NTE-INEN 2582 [2], en la figura 1.21 se detalla el procedimiento.

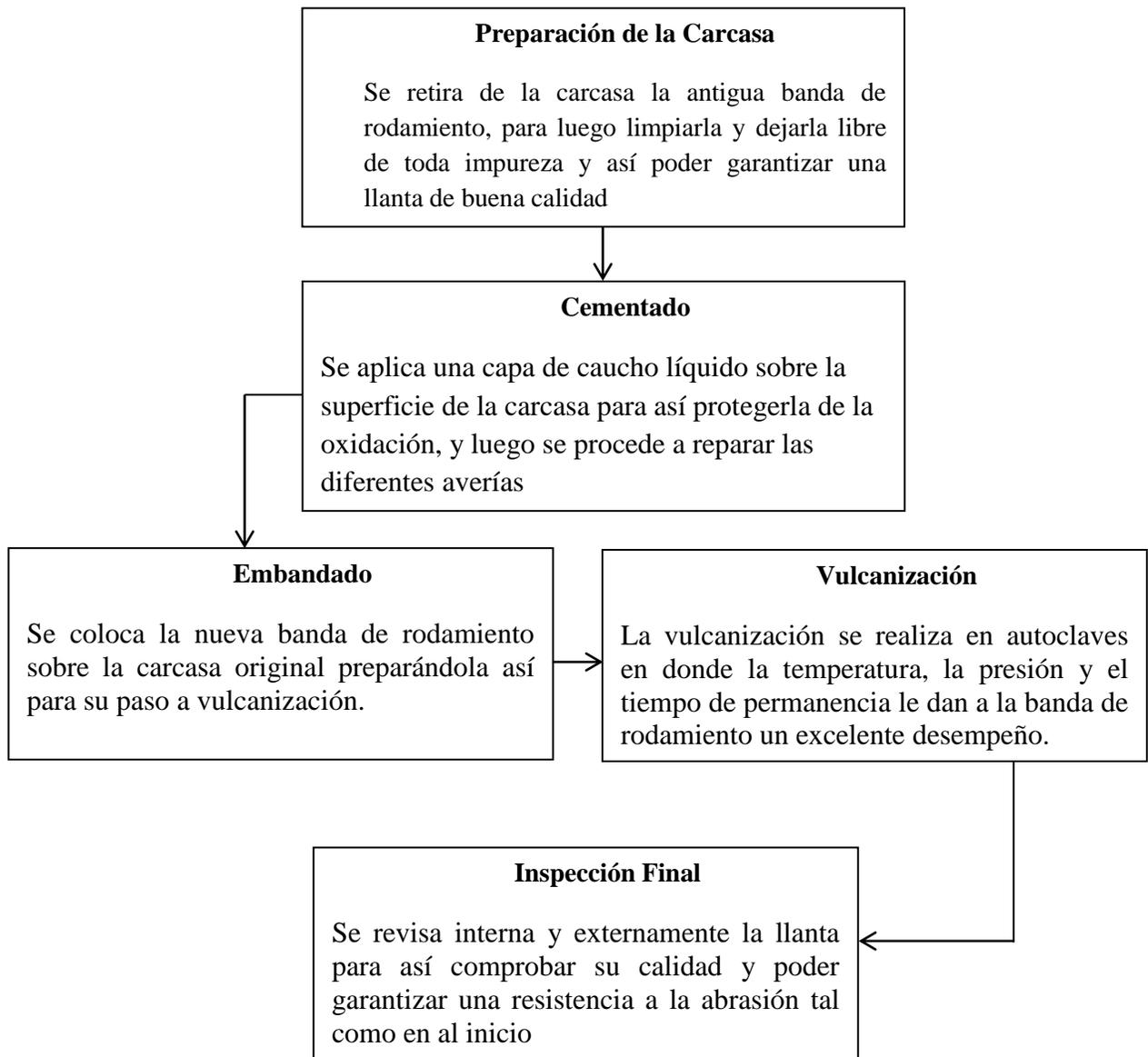


Figura 1.21: Proceso de Reencauche.

Fuente: El Autor.

En forma adicional al Reencauche en Ecuador el reciclaje de Caucho proveniente de llantas fuera de utilización nos da un recuento de pequeñas e innovadoras

empresas que vieron en esto un camino para aminorar el impacto ambiental y darle una nueva vida, el reciclaje de llantas empezó a darse en el año 2008 con la empresa “Fui Reciclado” de la ciudad de Quito que hasta el momento ha utilizado 10215.6 metros cuadrados de lona publicitaria y 1207 kilogramos de caucho de llantas [8] en artículos como mochilas, bolsos, cartucheras, billeteras y demás accesorios de uso estudiantil.



Figura 1.22: Bolso para laptop elaborado con lona publicitaria y caucho reciclado de llantas. Fuente: ALIBOCSA [Citado el: 20 de Septiembre de 2012.]

Esta empresa tiene como objetivos:

- Fomentar la conciencia ambiental tanto en productores como en consumidores.
- Contribuir a la conservación del ambiente mediante reutilización de materiales.
- Diseñar y producir accesorios de uso diario utilizando materiales de larga vida ya desechados.
- Crear nuevas fuentes de trabajo enfocadas a grupos necesitados de la sociedad y artesanos.

Por otra parte en la ciudad de Tulcán la empresa “Nimby Technologies” de procedencia italiana ofrece la creación y diseño de plantas de reciclaje de caucho de neumáticos fuera de utilización que surge de la necesidad de resolver de manera práctica, ecológica y económica el problema de manejo de desechos.

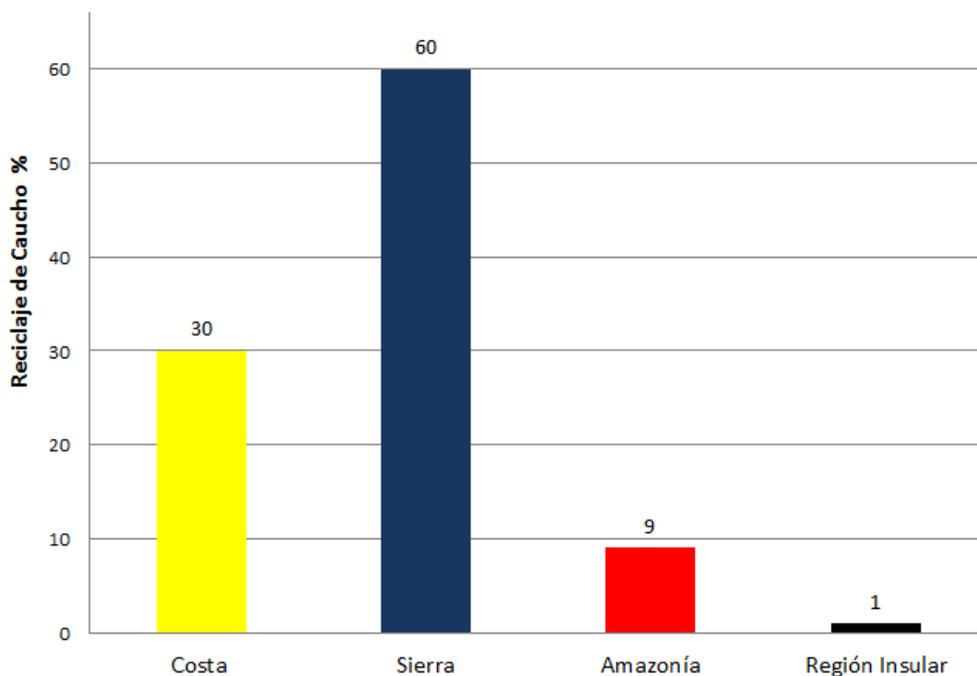


Figura 1.23: Porcentajes de Reciclaje de Caucho fuera de Utilización por Regiones Geográficas del Ecuador. Fuente: El Autor.

Los objetivos de Nimby Technologies se enuncian a continuación:

- Crear nuevas fuentes de empleo, que sean amigables con el medio ambiente y con su entorno.
- Aportar con tecnología al desarrollo de la economía interna del país.
- Mitigar el impacto ambiental producido por el apilamiento de neumáticos fuera de utilización aprovechando sus propiedades físicas.

Existe además “Aliboc S.A.” asentada en la ciudad de Guayaquil, comprometida con el país y con el medio ambiente, por lo que ha desarrollado la tecnología para fabricar en primera instancia *polvo de caucho granulado*, de donde se obtienen productos netamente ecológicos los cuales son: Para el mejoramiento del asfalto para la construcción de carreteras y la fabricación de pisos ecológicos para proyectos de vivienda, sector comercial, industrial, educativo, deportivo, de la salud, y numerosas aplicaciones más [9].



Figura 1.24: Polvo de Caucho granulado fabricado por Aliboc S.A.

Fuente: ALIBOCSA [Citado el: 20 de Septiembre de 2012.]

En consecuencia en el mes de Agosto del 2012 se recogieron alrededor de 10000 llantas que estaban esparcidas por el Archipiélago de Galápagos y que fueron con destino a la ciudad de Guayaquil para ser procesadas en “Aliboc S.A.” de esta manera se podrá utilizar el caucho granulado que se va a obtener de estas llantas para creación de pisos sintéticos y canchas artificiales.



Figura 1.25: Llantas con destino a la Ciudad de Guayaquil procedentes de Galápagos.

Fuente: ALIBOCSA [Citado el: 20 de Septiembre de 2012]

1.4 Realidad Mundial

En muchos países de América Latina y el Caribe las llantas usadas son utilizadas como fuente de energía en fábricas de ladrillo, cemento, entre otras, en hornos que generalmente no cuentan con la tecnología adecuada, razón por la que se generan problemas de contaminación ambiental debido a las emisiones tóxicas producto de una combustión incompleta y de la ausencia de los sistemas de lavado de gases y retención de material particulado [7].

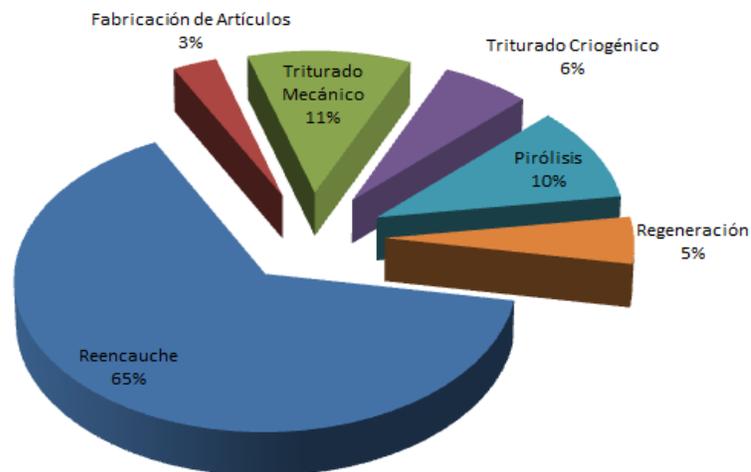


Figura 1.26: Procesos de Reciclaje de caucho fuera de Utilización a Nivel Mundial.

Fuente: El Autor

La separación de estos materiales en sus componentes originales resulta en un proceso difícil, razón por la cual el reciclaje de las llantas usadas se ha orientado mayormente a su aprovechamiento en conjunto, aunque ya existen diferentes empresas en el mundo que ofrecen el servicio de manejo de llantas usadas procesándolas para convertirlas en materia prima para asfalto, pistas atléticas, tapetes, entre otros.

Existen unos 240 hornos de cemento en Estados Unidos, de los cuales, entre 40 y 50 están equipados con los precalentadores y precalcinadores necesarios para utilizar caucho de llantas fuera de utilización eficazmente [7]. Una cantidad indeterminada de estas plantas pueden quemar neumáticos enteros. Alrededor de un 20% de los hornos de cemento están localizados en zonas en donde pueden obtener coque de petróleo a precios más bajos. Por lo tanto, es técnica y económicamente factible usar caucho como combustible auxiliar para un mínimo de 40 hornos de cemento. Si estos hornos utilizan caucho como combustible auxiliar (a una media de 1,5 millones de toneladas de caucho de llantas anuales), se consume más del 20% de las llantas generadas anualmente en Estados Unidos [7]. Esta estimación no incluye a los hornos sin precalentadores que podrían utilizar caucho de llantas fuera de utilización. Por otra parte el estudio del caucho proveniente de llantas fuera de utilización ha tenido un desarrollo importante en Europa. Suiza fue el primer país en desarrollar este concepto en la década de los 60 y tuvo la patente de éste conocida como “*rubit*” [10]. En países como Francia se empezaron a mejorar las propiedades del asfalto añadiéndole caucho, carbón y polietileno [10].

De igual manera en Estados Unidos el caucho-asfalto es una tecnología que ha demostrado ser económicamente viable en ciertas situaciones. Cuando se trata de una vía rural con poco tráfico el uso de este material puede resultar desventajoso en términos económicos. Por el contrario, en áreas donde se tenga un problema constante de agrietamiento y deterioro del asfalto, causado por tráfico excesivo o por condiciones extremas de temperatura, resulta ser una alternativa económica.

Es así que estados como Arizona, Florida y California utiliza el caucho-asfalto en donde quiera que se presente agrietamiento como se muestra en la figura 1.27, siempre y cuando se necesite un período de vida grande de la vía. Esto se debe al alto costo del caucho asfalto, alrededor del doble del costo del asfalto convencional.

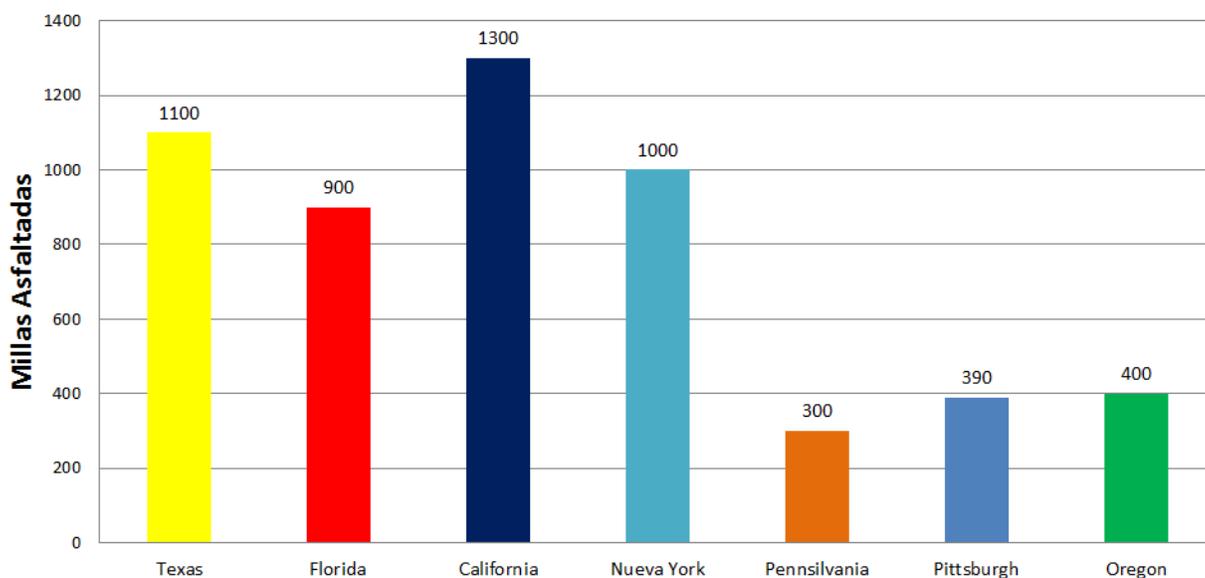


Figura 1.27: Estados de la Unión Americana con mayor aplicación de asfalto con agregado de caucho fuera de utilización. Fuente: El Autor

En consecuencia el caucho-asfalto comúnmente utilizado en Arizona contiene un 20% en peso de goma triturada. Arizona ha asfaltado 1,100 millas (1,770 km) de carreteras con caucho-asfalto, equivalente a 120,000 toneladas de las cuales, como se mencionó anteriormente, el 20% es caucho [10]. Algunas de las ventajas que trae el uso del caucho-asfalto son: mayor durabilidad de la superficie, menor mantenimiento, buen rodaje y mayor reducción de ruido.

Por otro lado el hormigón en que se utiliza caucho de llantas fuera de utilización triturado usado para bloques y barreras de sonido es una alternativa que presenta un mediano beneficio económico y un mediano consumo de caucho. Sin embargo, las características y propiedades de los productos fabricados con ésta se mejoran notablemente.

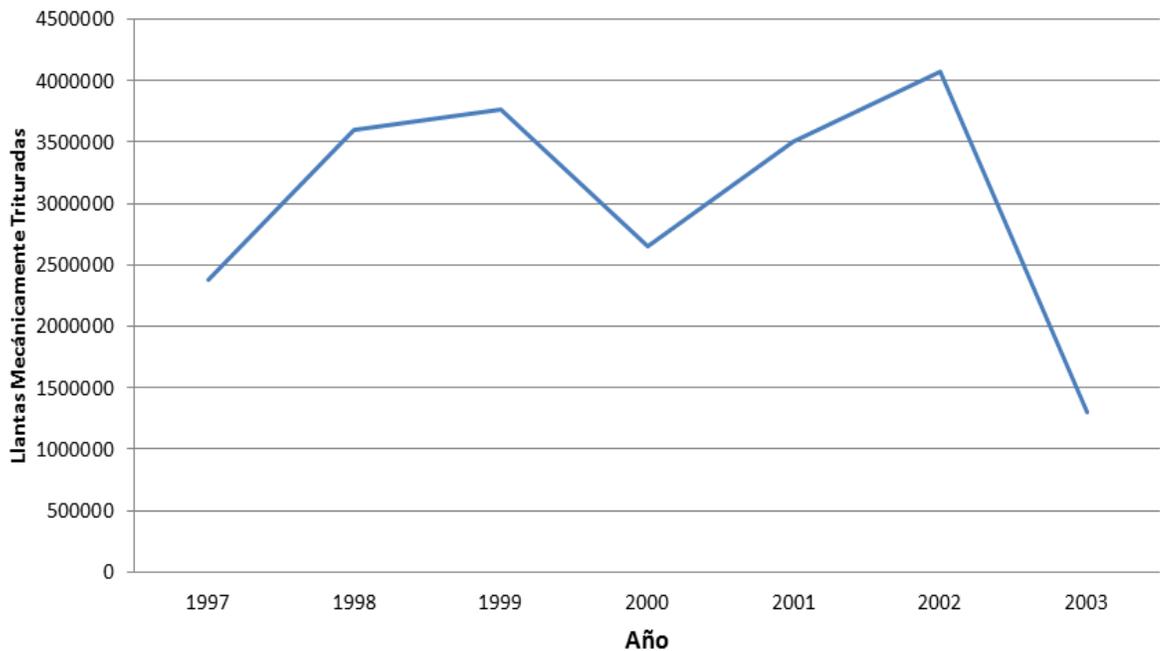


Figura 1.28: Evolución del Reciclaje de Llantas en Puerto Rico.

Fuente: El Autor

No obstante Puerto Rico es uno de los países del Caribe que más ha incursionado en la obtención de caucho reciclado de llantas fuera de utilización, actualmente, existen en Puerto Rico unos 3,400 almacenadores de llantas [10].

Tabla 1.15: Almacenadores de Llantas fuera de utilización en Puerto Rico.

Fuente: [3].

Región de Puerto Rico	Almacenadores de Llantas
San Juan	1567
Arecibo	465
Guayama	359
Mayagüez	547
Ponce	462

Por esto en la actualidad en la Isla se recoge la totalidad de neumáticos desechados, los cuales se disponen de dos formas: se exporta el neumático completo o se tritura para producir material reciclado. Aproximadamente la mitad de los neumáticos desechados que se producen en la Isla están siendo exportados hacia Estados Unidos. La labor de exportar está siendo llevada a cabo por dos empresas: Terralina Environmental y Techniques Recycling [10].

Tabla 16: Llantas fuera de utilización mecánicamente trituradas en Puerto Rico.

Fuente: [3]

Año	Llantas fuera de utilización mecánicamente trituradas
1997	2381303
1998	3604388
1999	3766402
2000	2645775
2001	3505853
2002	4069854
2003	1296335

El proceso de triturado mecánico utilizado en Puerto Rico sigue el siguiente proceso:

- Las llantas son recogidas en el centro de acopio y se transportan a la planta.
- Entra a la trituradora primaria donde se obtienen pedazos entre 2" y 6" (5.08 y 15.24 cm).
- Entonces se realiza un primer proceso de selección donde los pedazos mayores de 6" (15.24 cm) son llevados de nuevo a la trituradora primaria.
- Se sigue hacia la trituradora secundaria donde se obtienen pedazos entre 5/8" y 1/4" (1.59 y 0.63 cm).
- Los pedazos de llanta pasan al primer sistema de magnetos donde se recoge el 95% de los alambres de acero.
- De allí pasan a la trituradora terciaria (granuladora), donde se obtienen cuatro tipos de tamaño: Malla 4, Malla 2.8-1.4, Malla 1.4-0.850 y Malla 0.600).
- Se somete el material al segundo sistema de magnetos para la extracción del remanente de acero.
- A continuación, en un separador se recuperan las partículas de tamaño Malla 0.600 y se separa el nylon grueso. Los tamaños Malla 4 - 0.850 continúan hacia la tabla de gravedad.
- En la tabla de gravedad se encuentra el tercer sistema de magnetos. Después de pasar por éste se considera que el producto es 99.96% libre de metal.
- Desde la tabla de gravedad se continúa hacia el área de clasificación en donde se separan en los siguientes tamaños: Malla 4, Malla 2.8-1.4 y Malla 1.4-0.850 [10].
- Por último, con la ayuda de una empacadora todo el material es colocado en sacos quedando listo para salir de la planta.

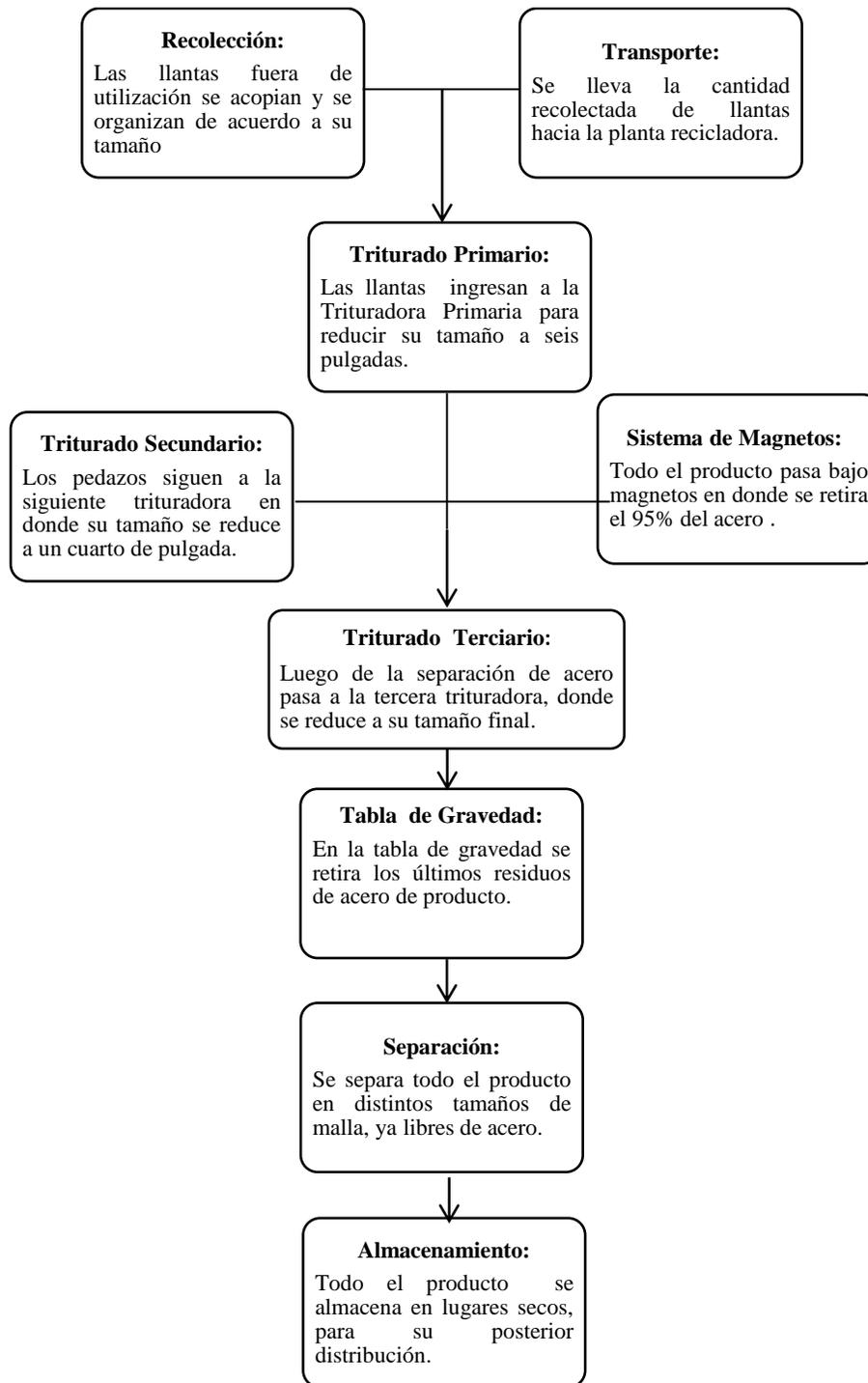


Figura 1.29: Proceso de Trituración Mecánica aplicado en Puerto Rico.

Fuente: El Autor

En México se han iniciado programas de investigación, reciclaje de llantas usadas, tales como Ciudad Juárez y Tijuana. Se conocen experiencias similares en la frontera entre EE.UU y México, el Departamento de Transporte logró un récord mundial al utilizar toneladas de llantas recicladas en el asfalto de carreteras en el condado.

El estado de Arizona fue de los primeros en utilizar llantas recicladas. Texas adoptó el proceso de reciclaje de llantas en 1976, y desde entonces han logrado utilizar toneladas de llantas. Han pavimentado 700 millas de carreteras [7].

El caucho de llantas fuera de utilización ayudan a evitar la corrosión, pues el sol usualmente parte el asfalto, le quita sus propiedades así que actúa como un protector solar, por lo que dura más, además ayuda en la flexibilidad.

Es así que el proceso consiste en demoler las llantas recicladas en trozos tan pequeños como migajas de pan, para después mezclarlas con el asfalto y así cubrir las carreteras. El proceso logra que las carreteras sean más duraderas.

El asfalto regular dura unos ocho años y con el asfalto de liga dura unos 12 años [7], es así como México apoya a disminuir el impacto ambiental y crea a su vez mejores fuentes de empleo, dando su aporte además con nuevas ideas como es aplicar caucho de llantas fuera de utilización como protector solar en el pavimento de las carreteras del país.

De la misma manera Brasil siendo el país más grande de América Latina propuso en la década de los noventa, una nueva tecnología que utiliza solventes orgánicos para separar el caucho del armazón metálico y del nylon de las llantas, posibilitando su recuperación y reciclaje.

En São Paulo la empresa Midas Elastómeros, del grupo paulista Vibrapar Participações inició el proceso de reciclaje de llantas, de forma experimental, en Itupeva. A partir de diciembre de 2001 [7], la fábrica empezó a gran escala, comenzando a reciclar anualmente de 5 a 6 millones de llantas y otros residuos de caucho. La tecnología usada separa el nylon, acero y caucho. La capacidad instalada de la fábrica, para 20 mil toneladas por año, procesará 70% de caucho recuperado (en polvo), 20% de filamentos de acero y 10% de fibras de nylon [7].

El acero será finalmente vendido a las siderúrgicas, el caucho será comercializado para fábricas de tapetes, suelas de calzados, llantas y otros artefactos. Puede sustituir el 30% de material virgen, es decir, el comprador tendrá que reprocesar el nylon para retirar algunos residuos de caucho. Brasil descarta, anualmente, cerca de 20 millones de llantas de todos los tipos: para tractor, camión, automóvil, carroza, moto, avión y bicicleta, entre otros.

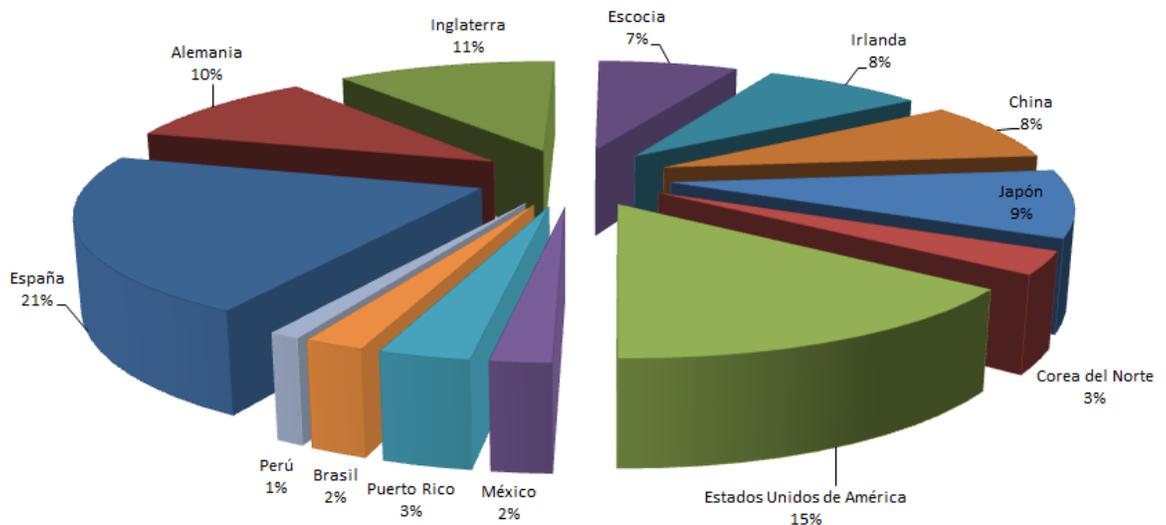


Figura 1.30: Porcentajes de Reciclaje de Caucho fuera de Utilización a Nivel Mundial.

Fuente: El Autor

En Perú situada en la ciudad de Lima se encuentra la planta Reencauchadora El Sol , empresa para la reparación y reconstrucción de neumáticos, con más de cincuenta

años en el mercado peruano, donde se realiza reencauche al frío y a su vez se atiende a los diversos sectores de la economía: transporte urbano, interurbano, de carga, construcción, minería de cielo abierto y subterránea, llantas industriales, en este país el reencauche es la forma de reciclaje de llantas más expandido aunque el reciclaje de caucho de llantas fuera de utilización por medios mecánicos, criogénicos o químicos aún no se ha visto reconocido, en cambio se ha dado la prohibición respecto a la importación de llantas usadas, mediante Decreto Supremo N° 003-97-SA, del 07.06.97 [7], por razones de sanidad, seguridad vial y protección del medio ambiente.

Esta norma legal expresa que las llantas usadas constituyen medios adecuados para el desplazamiento y proliferación de vectores que prosperan en lugares oscuros y húmedos para sobrevivir; y que pueden permanecer dos años en estados de huevo y larva hasta lograr su desarrollo, pudiendo convertir en endémicas determinadas zonas a nivel nacional por ser transmisores vinculados con las condiciones ambientales del país.

1.5 Conclusión del Capítulo

En este capítulo se enunciaron las diferentes propiedades del caucho, sus principales fuentes de contaminación, además de las posibles formas de reutilización del mismo; por lo que se pudo conjeturar que el mayor porcentaje de caucho fuera de utilización que se produce a nivel mundial proviene de neumáticos fuera de uso, además algo muy importante fue la deducción del método más conveniente para la reutilización de este tipo de caucho; que es la trituración mecánica, por lo que este proyecto se referirá a esta modalidad de reciclaje siendo el idóneo para este estudio.

CAPÍTULO

2

**TRITURACIÓN MECÁNICA DEL CAUCHO RECICLADO
PROVENIENTE DE NEUMÁTICOS FUERA DE USO**

Capítulo 2

Trituración mecánica del caucho reciclado proveniente de neumáticos fuera de uso

2.1 Introducción

La Trituración Mecánica es la manera más eficiente y económica de reducir considerablemente el tamaño de neumáticos fuera de utilización, los beneficios que ofrece en contraste con las desventajas que se dan otorgan confiabilidad de su aplicación para fines de reciclaje de caucho fuera de utilización.

Por consiguiente es el método del cual parte el estudio del presente capítulo y que además servirá para la obtención de distintos tamaños de partículas de caucho para experimentación y compilación de datos que a su vez van a proporcionar confiabilidad al estudio del presente proyecto, en la figura 2.1 se ilustra una planta de trituración mecánica.

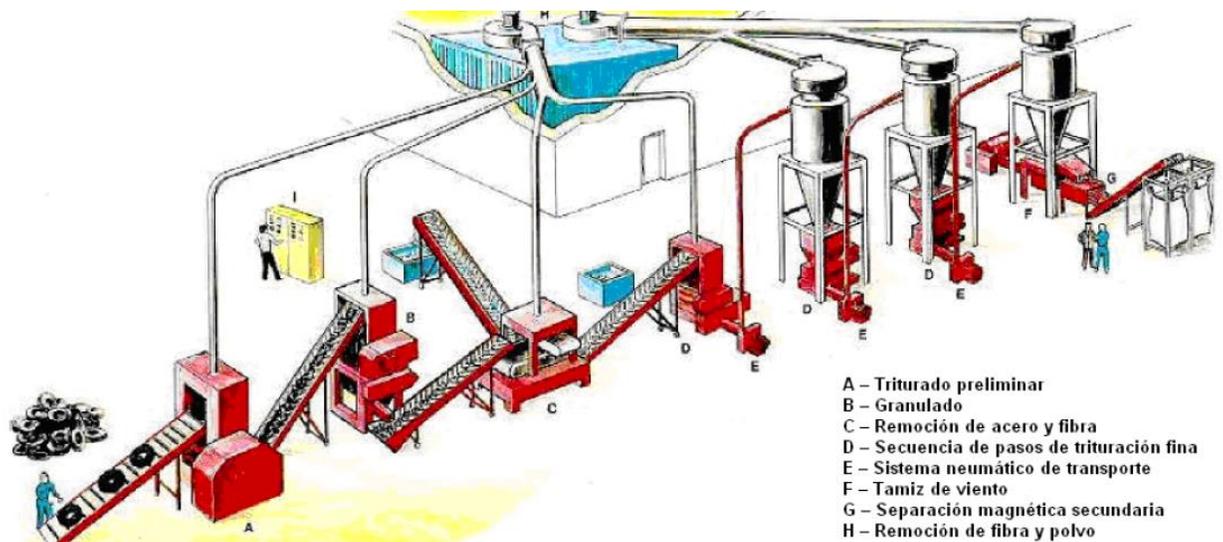


Figura 2.1: Planta de Trituración Mecánica.

Fuente: El Autor

2.2 Principio de Trituración Mecánica

La trituración se da al separar la estructura de las moléculas de un sólido sobre el que se aplicó un esfuerzo que supera su límite de fluencia, el caucho al estar constituido de largas cadenas poliméricas, tiene la propiedad de ser extremadamente elástico y tiende a recuperar su forma inicial luego de retirarse la fuerza aplicada sobre él, como se aprecia en la figura 2.2.

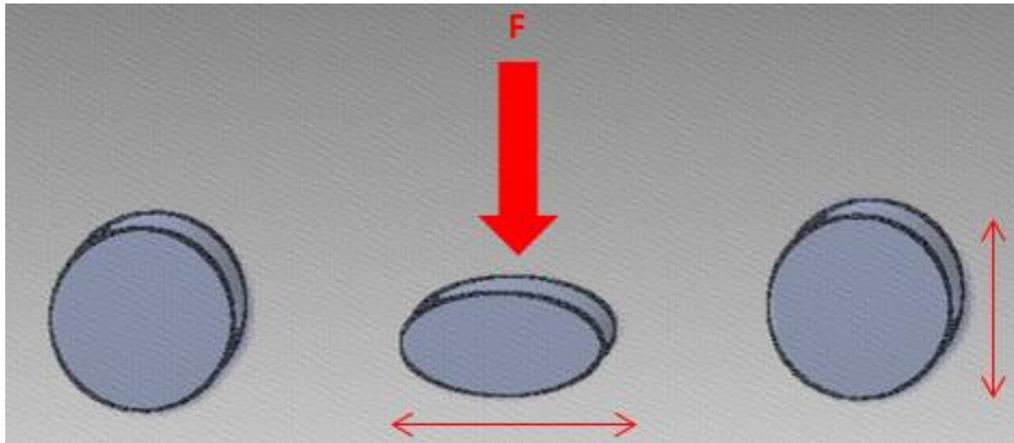


Figura 2.2: Recuperación elástica del caucho.

Fuente: El Autor.

Una partícula se considera como un volumen de control de frontera fija, o sea un sistema cerrado, lo que la termodinámica define como una región en el espacio que se ha tomado para estudio y análisis, a través de la parte exterior de un volumen de control no se puede transportar materia, esta no puede entrar o salir de la región delimitada por la frontera del sistema.

El trabajo de tensión superficial es la forma de energía que actúa por unidad de longitud y hace posible el estiramiento de la superficie de la partícula de caucho sobre su límite de resistencia, se determina por la fórmula 2.1.

$$W_{superficial} = \int_1^2 \sigma_s dA \quad [2.1]$$

El factor 2 se debe a que la partícula tiene como máximo dos superficies de contacto con el exterior, y σ_s es la fuerza de la tensión superficial por unidad de longitud presente en la partícula que como producto de su disminución surge la fractura.

La fragmentación ocurre y entonces las partículas producto de la trituración tratan de recuperar su forma primaria, este es un ciclo que se repite indefinidamente hasta lograr la completa trituración del caucho por acción de la fuerza ejercida sobre este como se aprecia en la figura 2.3.

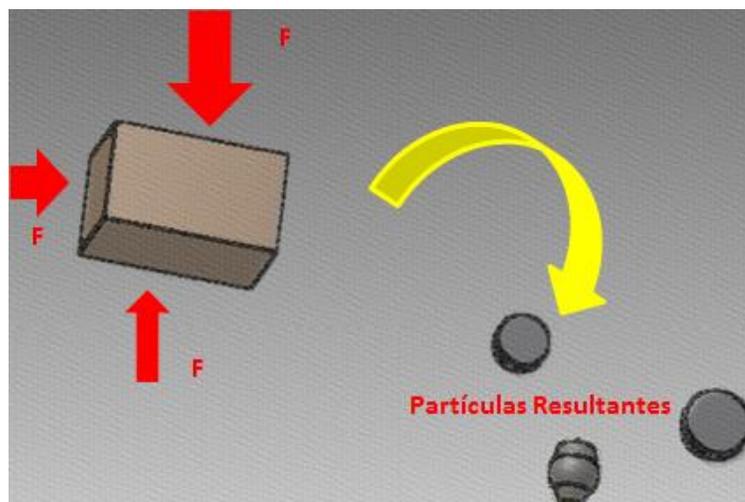


Figura 2.3: Fragmentación de Caucho.

Fuente: El Autor.

2.3 Métodos de Trituración Mecánica

Una reducción de tamaño se da al destruir repetidamente la estructura física original del sólido que se necesita procesar, para esto se necesita crear el escenario adecuado y determinar el método requerido de molienda para la consecución de este objetivo, todos estos procesos se realizan a temperatura ambiente, por lo que no son extremadamente elaborados y sus instalaciones no se tornan demasiado complejas, siendo posible su levantamiento, todo esto se detalla en la tabla 2.1.

Tabla 2.1: Métodos de Trituración Mecánica.

Fuente: El Autor.

Método	Principio Físico	Requisitos	Ventajas	Desventajas	Referencias
Trituradora de Martillo	Trituración y desintegración.	<ul style="list-style-type: none"> - Alimentación Intermitente. - Alimentar subproductos desintegrados. 	<ul style="list-style-type: none"> - Extracción automatizable. - No produce atascamientos 	<ul style="list-style-type: none"> - Falta de repuestos. - Constantes fracturas. 	[15]
Trituradora Buhler	Trituración y desintegración.	<ul style="list-style-type: none"> - Sólidos de cualquier tipo. - Alimentación constante. 	<ul style="list-style-type: none"> - Producción más rápida. - Libre de vibraciones excesivas. 	<ul style="list-style-type: none"> - Mantenimiento o complicado. - Constantes reposiciones. 	[15]
Molienda por desintegración.	Desintegración	<ul style="list-style-type: none"> - Estructura uniforme de los materiales a triturarse. - Los materiales a triturarse deben tener durezas bajas. 	<ul style="list-style-type: none"> - Puede ser realizada por un solo operario. - Fácil mantenimiento 	<ul style="list-style-type: none"> - Producto final muy grande. - Poca capacidad de alimentación. 	[15], [16]
Molienda por cizallamiento	Corte	<ul style="list-style-type: none"> - Material de alimentación pequeño. - Ambiente libre de vibraciones. 	<ul style="list-style-type: none"> - El mantenimiento es rápido y sencillo. - Proceso rápido. 	<ul style="list-style-type: none"> - Baja calidad del producto final - Poca automatización 	[15]
Molienda por aplastamiento	Aplastamiento	<ul style="list-style-type: none"> - Alimentación intermitente. - Dureza controlada del material. 	<ul style="list-style-type: none"> - Instalación sencilla. - Dos modalidades de trabajo. 	<ul style="list-style-type: none"> - Bloqueos de motor. - Peligro de atrapamiento. 	[15]

2.3.1 Clasificación de Trituradores Mecánicos de Neumáticos

Esta clasificación está concebida para dar a conocer los diferentes trituradores que existen, algo muy relevante dentro de esto es el número de ejes que posee la maquinaria, pues este parámetro muestra la robustez que tendrá finalmente el triturador, lo que desencadena en vibraciones que pueden afectar el proceso de fragmentación, el principio de accionamiento de cada uno de estos se da a conocer en la tabla 2.2.

Tabla 2.2: Clasificación de Trituradores Mecánicos de Neumáticos.

Fuente: El Autor.

Tipo	Principio de Accionamiento	Ventajas	Desventajas	Referencias
Triturador mecánico de un eje	Principio de guillotina	<ul style="list-style-type: none"> – Libre de sobrecargas de accionamiento. – Alta seguridad industrial. – Transmisión de potencia libre de vibraciones. 	<ul style="list-style-type: none"> – Desalineación del eje principal. – Requiere procesos posteriores. 	[15]
Triturador mecánico de dos ejes	Trituración por corte	<ul style="list-style-type: none"> – Proceso automatizable. – Elevada emisión acústica. 	<ul style="list-style-type: none"> – Baja velocidad de corte. – Vibraciones permanentes. 	[15], [16], [19]
Triturador mecánico de cuatro ejes	Trituración por corte	<ul style="list-style-type: none"> – Gran estabilidad de la maquinaria. – Mantenimiento sencillo. – Óptimo torque de trituración. 	<ul style="list-style-type: none"> – Complicada operación. – Instalaciones complejas. 	[15]

2.3.2 Puntuación y Ponderación de Métodos

Tabla 2.3: Escala Ponderativa para determinar el Proceso Ideal de reducción de tamaño de caucho fuera de utilización para Continental Tire Andina. Fuente: El Autor.

Escala Ponderativa	
Proceso Excelente para reducción de tamaño de caucho fuera de utilización	3
Proceso BUENO para reducción de tamaño de caucho fuera de utilización	2
Proceso DEFICIENTE para reducción de tamaño de caucho fuera de utilización	1
No es aconsejable implementar este proceso	0

Tabla 2.4: Alternativas del Proceso de reducción de tamaño de caucho fuera de utilización a implementar para Continental Tire Andina. Fuente: El Autor.

	Trituración mecánico de un eje	Triturador mecánico de dos ejes	Triturador mecánico de cuatro ejes
Calidad de productos obtenidos	2	3	3
Conocimientos requeridos del proceso	1	3	3
Costos elevados de implementación	2	3	1
Generación de subproductos peligrosos	3	3	3
De acuerdo a la infraestructura	2	3	2
Aplicación de productos obtenidos	2	3	3
Niveles de producción más elevados	2	2	3
Se puede hacer uso de la capacidad instalada	1	3	3
Desarrollo constante de aplicaciones para este proceso	1	3	2
	16	26	23

Según lo expuesto en la tabla 2.4 se puede determinar que el mejor proceso para la reducción de caucho de neumáticos fuera de utilización es el proceso en el que actúa el triturador mecánico de dos ejes.

2.4 Estructura de una Planta de neumáticos fuera de utilización

Una planta está compuesta de secciones que crean un orden de trabajo y en ocasiones originan cuellos de botella, cada sección prepara el material para la siguiente, de manera que ninguna etapa es independiente de la anterior, en el caso de trituración de neumáticos una planta precisa de seis secciones, además de una serie de bandas transportadoras para conectar los pasos continuos y un sistema de filtración de aire como se puede observar en la figura 2.4.

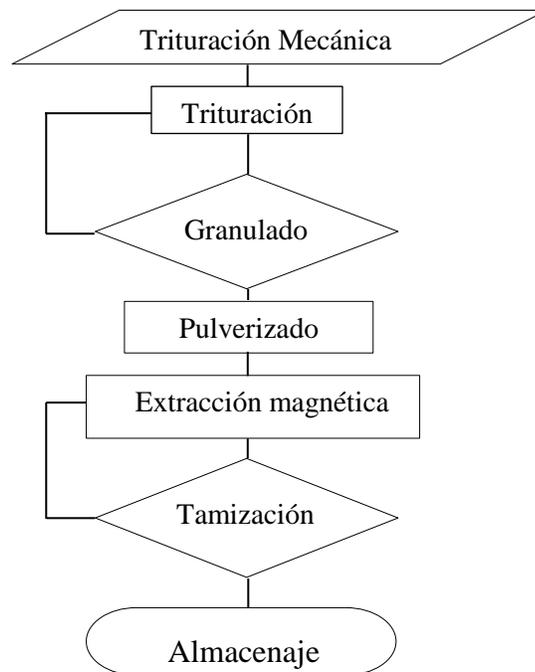


Figura 2.4: Flujo de trabajo en una planta de trituración mecánica de neumáticos

Fuente: El Autor

2.5 Conclusión de Capítulo

La trituración mecánica es un proceso elaborado que incluye distintas etapas de fragmentación y separación, este es la mejor forma de reciclaje de caucho fuera de uso, el producto proveniente de todo este proceso tiene muchas aplicaciones que van desde la creación de adoquines hasta integrar la mezcla para nuevos tipos de neumáticos con una mayor resistencia a la abrasión, el mejor tipo de triturador mecánico que se puede aplicar en una planta es el que posee dos ejes siendo el que tiene mayor torque y por lo tanto mayor capacidad de fragmentación por lo que es el más utilizado en la industria, la trituración se hace en etapas que disminuyen el diámetro de las partículas de caucho según sea su demanda y aplicación, por lo que es el método de estudio del presente proyecto para obtención de polvo de caucho fuera de utilización.

CAPÍTULO

3

MAMPUESTOS

Capítulo 3

Mampuestos

3.1 Introducción

En el campo de la construcción se utilizan elementos que tienen como finalidad formar parte en división de ambientes, por consiguiente están destinados a proveer aislamiento térmico y aislamiento acústico, además de dar una apariencia atractiva al ambiente en que están siendo aplicados, en contraste los mampuestos en su diseño no son concebidos para soportar cargas estructurales elevadas, aunque se les asigna además de los beneficios ya mencionados, la tarea de reforzar la parte interna de la estructura de una construcción.

3.2 Clasificación de Mampuestos

3.2.1 Ladrillos Cerámicos

Son mampuestos cuya sección según cualquier plano que sea paralelo a la superficie de asiento tenga un área neta mayor al 80% del área bruta correspondiente, no presenten agujeros cuyas secciones transversales según el mismo plano tenga un área individual mayor que el 4% del área bruta, y los espesores de pared no sean superiores a 25 mm [1].

3.2.1.1 Aparejo

Se define como aparejo a la manera en que se deben disponer los ladrillos al elaborar un muro, estipulando así una disposición homogénea en el crecimiento de cualquier construcción [2].

3.2.1.2 Aparejo a Sogas

En este tipo de aparejo la principal referencia que se toma para la construcción de un muro es la longitud del ladrillo, en consecuencia el espesor del muro se ve reducido a el ancho del ladrillo, en nuestro país es el más utilizado en construcción, por ser el aparejo más económico en su elaboración.

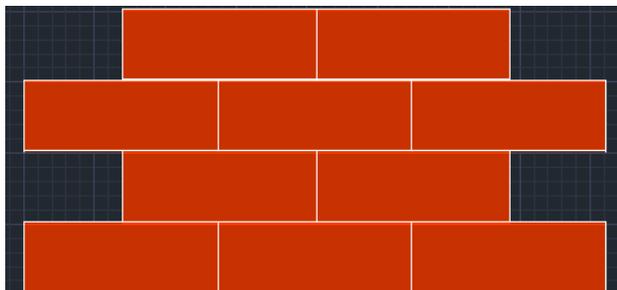


Figura 3.1: Aparejo a Sogas de Ladrillos Cerámicos.

Fuente: El Autor.

3.2.1.3 Aparejo a Panderete

Es un aparejo que no está destinado a soportar cargas más allá que la de su propio peso, su espesor está dado por el grosor de la pieza, por lo que se utiliza en la elaboración de tabiques.

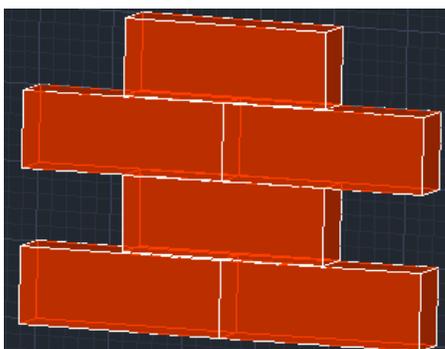


Figura 3.2: Aparejo a Panderete de Ladrillos.

Fuente: El Autor.

3.2.1.4 Aparejo Inglés

Para este caso se alternan los ladrillos en ancho y espesor, el espesor del muro es dictado por la longitud del ladrillo, se emplea mucho para muros en fachadas de ladrillo de cara vista, requiere mano de obra más experimentada, por lo tanto es más costosa su implementación.

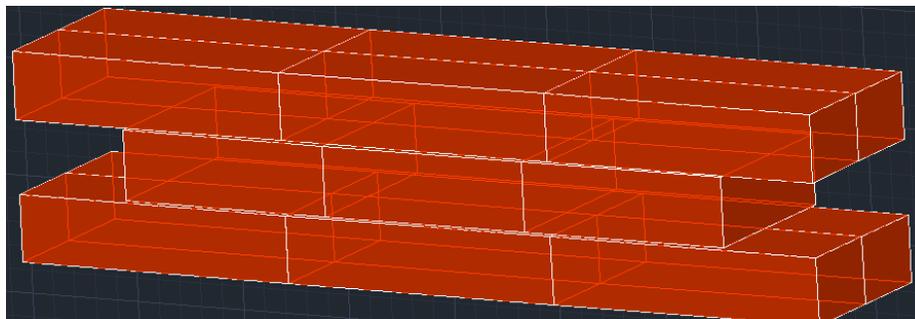


Figura 3.3: Aparejo Inglés de Ladrillos.

Fuente: El Autor.

3.2.1.5 Aparejo Palomero

Un aparejo de este tipo posee espacios en su estructura, es de tipo provisional para ventilación de una estancia, utilizándose principalmente en estructuras cubiertas, cabe destacar que el espesor de la pared se debe al grosor de la pieza.

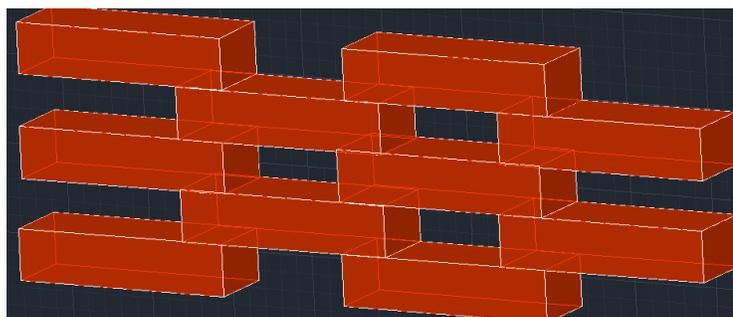


Figura 3.4: Aparejo Palomero de Ladrillos.

Fuente: El Autor.

3.2.2 Bloques Huecos Portantes Cerámicos

Estos son piezas destinadas a la construcción de muros, se fabrican a partir de cemento, arena y agregados pétreos, su sección según cualquier plano paralelo a la superficie de asiento tenga un área neta mayor al 40% del área bruta [1].



Figura 3.5: Bloque Hueco Portante Cerámico

Fuente: El Autor.

3.2.3 Bloques Huecos Portantes de Hormigón

Se consideran como bloques huecos portantes, aquellos mampuestos que son elaborados de hormigón cuya sección según cualquier plano paralelo a la superficie de asiento tenga un área neta mayor al 40% del área bruta [1].

Los muros de bloque se construyen en forma similar a los de ladrillo, aunque es muy común que los elementos de este tipo actúen como muros de carga.

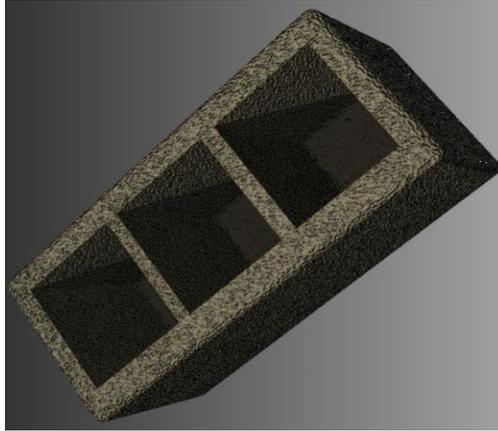


Figura 3.6: Bloque Hueco Portante de Hormigón.

Fuente: El Autor.

3.2.4 Paneles

Un panel es un mampuesto que no posee cualidades estructurales favorables para una construcción, no son destinados a soportar cargas axiales, radiales o de flexión, el principal y único objetivo de este tipo de mampuestos es el aislamiento tanto auditivo como térmico, además de otorgar un ambiente atractivo al espacio en donde se aplican.

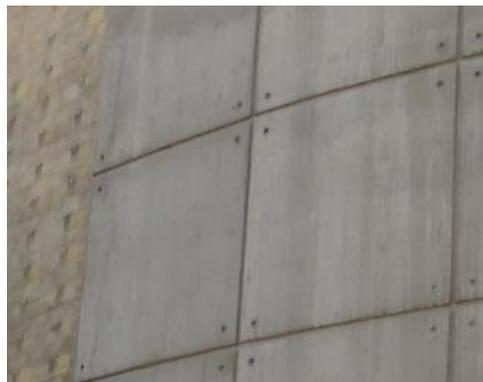


Figura 3.7: Disposición de Paneles.

Fuente: El Autor.

3.2.5 Proceso de Fabricación de Mampuestos

La producción de mampuestos sigue una serie de pasos que garantizan así la perfecta combinación de elementos inmersos en la construcción que se detallan en la figura 3.8.

La producción de mampuestos consiste en las siguientes etapas básicas: selección de materiales, dosificación, moldeado, curado y almacenamiento.

3.2.6 Fabricación de Bloques

Los bloques fueron dosificados de acuerdo a cálculos que se realizarán para determinar las distintas masas de cada elemento que estuvo presente en la elaboración del bloque, además mediante un trabajo de campo que se realiza en la bloquera Pimbo en la vía a Salasaca de la Provincia de Tungurahua.

3.2.6.1 Materiales

Los materiales que se emplean en la fabricación de bloques tradicionales se enuncian en la tabla 3.1 son los mismos que se utilizarán en la elaboración de los bloques con agregado de caucho.

Tabla 3.1: Materiales empleados en la fabricación de bloques.

Fuente: El Autor

Material	Lugar de Procedencia
Agua	Bloquera “Pimbo”
Polvo de Cascajo	Bloquera “Pimbo”
Cemento Portland Tipo 1P	Cemento Chimborazo
Caucho	Salasaca

Estos materiales fueron comprados y transportados a la bloquera Pimbo en donde se procede a la manufactura de los bloques mejorados.

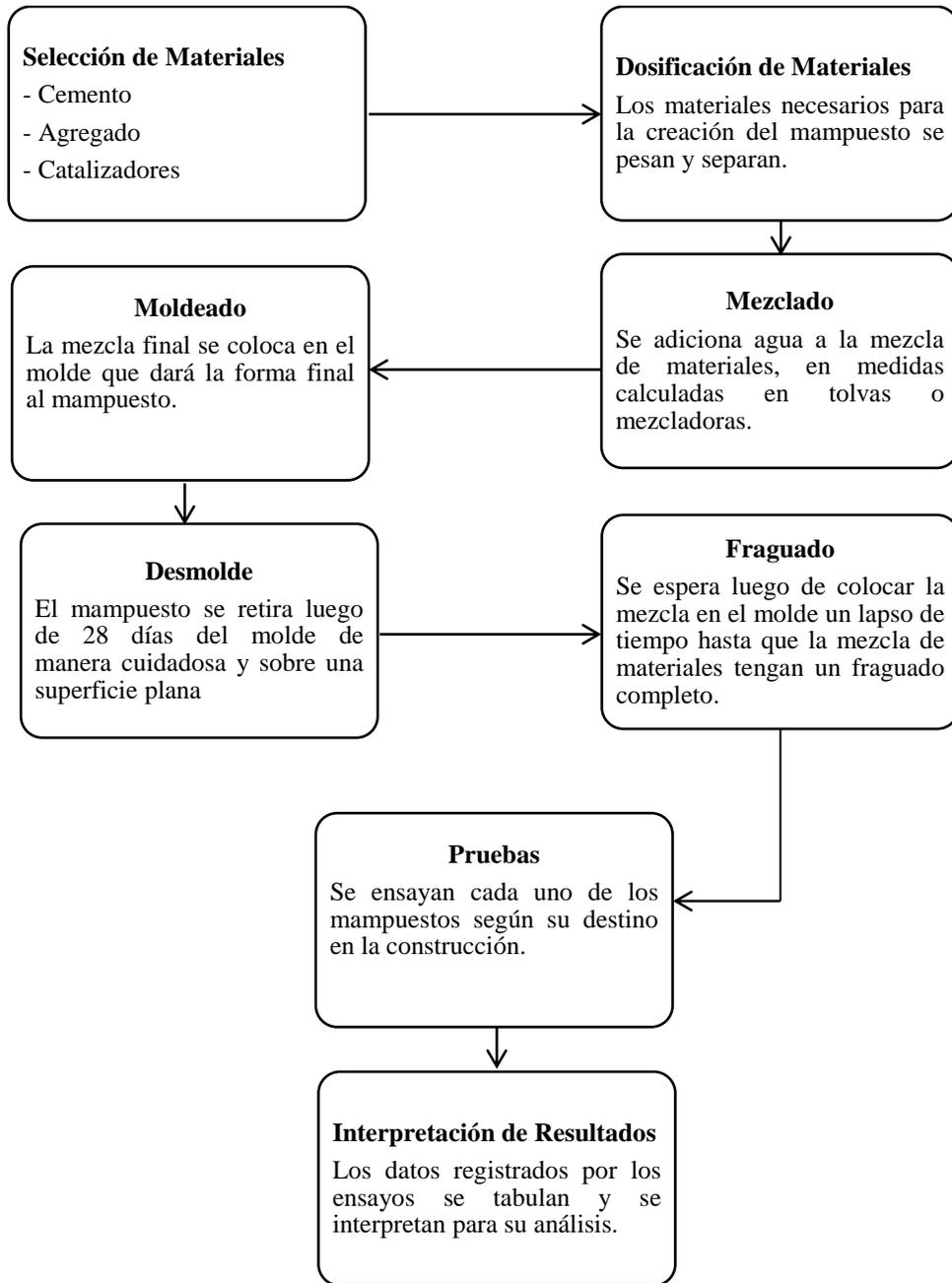


Figura 3.8: Proceso de Elaboración de Mampuestos.

Fuente: El Autor.

3.2.6.2 Dosificación

El volumen de la mezcla se define para tres bloques que servirán de muestra, se calcula el volumen del bloque, según las medidas mostradas en la figura 3.9.

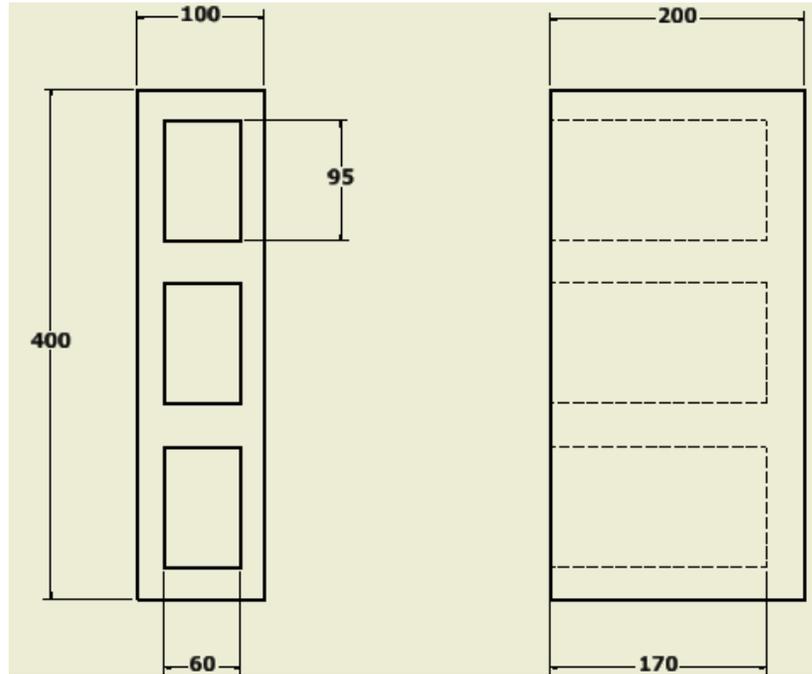


Figura 3.9: Dimensiones de bloque de mampostería.

Fuente: El Autor.

$$\text{Volumen} = [(400) (200) (100)] \text{ mm}^3$$

$$\text{Volumen} = 8000000 \text{ mm}^3$$

$$\text{Volumen de Agujeros} = [(95) (60) (170)] [3] \text{ mm}^3$$

$$\text{Volumen de Agujeros} = 2907000 \text{ mm}^3$$

$$\text{Volumen Neto} = (8000000 - 2907000) \text{ mm}^3$$

$$\text{Volumen Neto} = 5093000 \text{ mm}^3$$

$$\text{Volumen Neto Total} = [(5093000) (3)] \text{ mm}^3$$

$$\text{Volumen Neto Total} = 15297000 \text{ mm}^3$$

El volumen correspondiente al porcentaje de aire se estima en el 5% por los espacios que quedan entre el cascajo y el caucho [1] para lo cual se utiliza la fórmula 3.1.

$$\text{Volumen Correspondiente al Porcentaje de Aire} = [(0.05) (\text{Volumen Neto Total})] \quad [3.1]$$

$$\text{Volumen Correspondiente al Porcentaje de Aire} = [(0.05) (15297000)] \text{ mm}^3$$

$$\text{Volumen Correspondiente al Porcentaje de Aire} = 763950 \text{ mm}^3$$

En el proceso de compactación del bloque el volumen se reduce en un 30% por un reajuste de los componentes [1], en donde se utiliza la fórmula 3.2.

$$\text{Incremento de Volumen por Compactación} = (0.3) (\text{Volumen Neto Total}) \quad [3.2]$$

$$\text{Incremento de Volumen por Compactación} = (0.3) (15297000) \text{ mm}^3$$

$$\text{Incremento de Volumen por Compactación} = 4589100 \text{ mm}^3$$

Para calcular los porcentajes de todos los componentes en función del peso del cemento, se considera un valor (x) como el peso real del cemento y así ubicarlo en la fórmula 3.3.

Densidad del cascajo: 0.7 kg/dm^3

Dosificación del cascajo por cada 100 bloques: 7 carretillas

$$\text{Coeficiente de Volumen} = \frac{\text{Dosificación del cascajo por cada 100 bloques}}{\text{Densidad del cascajo}} \quad [3.3]$$

$$\text{Coeficiente de Volumen} = \frac{7 \text{ carretillas}}{0.7 \text{ kg/dm}^3}$$

$$\text{Coeficiente de Volumen} = 10x$$

Tabla 3.2: Coeficientes de Peso y Volúmenes.

Fuente: El Autor

Material	Dosificación al Peso	Densidad (kg/dm ³)	Peso por cada 100 bloques (kg)	Volúmenes reales por cada 100 bloques (dm ³)
Agua	0.70	1.00	0.7x	0.7x
Cascajo	7.00	0.7	7x	10x
Caucho	-	0.95	-	-
Cemento	1.00	3.1	1x	0.32x

La sumatoria de volúmenes reales por cada 100 bloques es de 11.02x

$$\Sigma \text{ volúmenes reales} + \% \text{ aire} = \text{Volumen total de bloques} + \% \text{ Compactación} \quad [3.4]$$

$$11.02x + 763950 \text{ mm}^3 = 15297000 \text{ mm}^3 + 4589100 \text{ mm}^3$$

$$x = \frac{15297000 \text{ mm}^3 + 4589100 \text{ mm}^3 - 763950 \text{ mm}^3}{11.02}$$

$$x = 1735222,3230 \text{ mm}^3$$

$$x = 1.73 \text{ kg}$$

El valor de x corresponde al peso del cemento calculado para la elaboración de tres bloques.

Para determinar el peso del resto de los materiales se debe reemplazar el valor correspondiente x ya calculado por los coeficientes respectivos.

Tabla 3.3: Valores de peso y volumen para elaboración de bloques con un 0% de caucho. Fuente: El Autor

Material	Dosificación al Peso	Densidad (kg/dm ³)	Peso por cada 100 bloques (kg)	Volúmenes reales por cada 100 bloques (dm ³)
Agua	0.70	1.00	3.00	1.21
Cascajo	7.00	0.7	12.14	17.3
Caucho	-	0.95	-	-
Cemento	1.00	3.1	1.73	0.55

El mismo procedimiento para el resto de porcentajes de caucho con los que se fabricarán los bloques que son 5%, 10% y 15% de incorporación de caucho.

Tabla 3.4: Valores de peso y volumen para elaboración de bloques con un 5% de caucho. Fuente: El Autor

Material	Dosificación al Peso	Densidad (kg/dm ³)	Peso por cada 3 bloques (kg)	Volúmenes reales por cada 3 bloques (dm ³)
Agua	0.70	1.00	0.7x	0.7x
Cascajo	7.00	0.7	7x	10x
Caucho	0.05	0.95	0.05x	0.05x
Cemento	1.00	3.1	1x	0.32x

La sumatoria de volúmenes reales es de 11.07x

$$\Sigma \text{ volúmenes reales} + \% \text{ aire} = \text{Volumen total de bloques} + \% \text{ Compactación}$$

$$11.07x + 763950 \text{ mm}^3 = 15297000 \text{ mm}^3 + 4589100 \text{ mm}^3$$

$$x = \frac{15297000 \text{ mm}^3 + 4589100 \text{ mm}^3 - 763950 \text{ mm}^3}{11.07}$$

$$x = 14163970,83 \text{ mm}^3$$

$$x = 1.72 \text{ kg}$$

Tabla 3.5: Cálculos de peso y volumen para elaboración de bloques con un 5% de caucho. Fuente: El Autor

Material	Dosificación al Peso	Densidad (kg/dm ³)	Peso por cada 3 bloques (kg)	Volúmenes reales por cada 3 bloques (dm ³)
Agua	0.70	1.00	1.20	1.2
Cascajo	7.00	0.7	12.04	17.2
Caucho	0.05	0.95	0.09	0.09
Cemento	1.00	3.1	1.72	0.55

Los valores de peso y volumen para fabricar bloques con un 10% de caucho agregado se calculan de igual manera al utilizar x como factor representativo del peso de cemento calculado.

Tabla 3.6: Valores de peso y volumen para elaboración de bloques con un 10% de caucho. Fuente: El Autor

Material	Dosificación al Peso	Densidad (kg/dm ³)	Peso por cada 3 bloques (kg)	Volúmenes reales por cada 3 bloques (dm ³)
Agua	0.70	1.00	0.7x	0.7x
Cascajo	7.00	0.7	7x	10x
Caucho	0.10	0.95	0.10x	0.11x
Cemento	1.00	3.1	1x	0.32x

La sumatoria de volúmenes reales es de 11.13x

Σ volúmenes reales + % aire = Volumen total de bloques + % Compactación

$$11.07x + 763950 \text{ mm}^3 = 15297000 \text{ mm}^3 + 4589100 \text{ mm}^3$$

$$x = \frac{15297000 \text{ mm}^3 + 4589100 \text{ mm}^3 - 763950 \text{ mm}^3}{11.13}$$

$$x = 1649433,96 \text{ mm}^3$$

$$x = 1.65 \text{ kg}$$

Ahora se reemplaza el valor de x en los valores de la tabla anterior y se obtiene los valores reales que deben aplicarse, para utilizar un 5% de caucho agregado.

Tabla 3.7: Cálculos de peso y volumen para elaboración de bloques con un 10% de caucho. Fuente: El Autor

Material	Dosificación al Peso	Densidad (kg/dm ³)	Peso por cada 3 bloques (kg)	Volúmenes reales por cada 3 bloques (dm ³)
Agua	0.70	1.00	1.15	1.15
Cascajo	7.00	0.7	11.55	16.5
Caucho	0.10	0.95	0.17	0.18
Cemento	1.00	3.1	1.65	0.53

El último porcentaje que se va a agregar a la mezcla es el 15% de caucho, y sus estimaciones se encuentran en la tabla 3.8.

Tabla 3.8: Valores de peso y volumen para elaboración de bloques con un 15% de caucho. Fuente: El Autor

Material	Dosificación al Peso	Densidad (kg/dm ³)	Peso por cada 3 bloques (kg)	Volúmenes reales por cada 3 bloques (dm ³)
Agua	0.70	1.00	0.7x	0.7x
Cascajo	7.00	0.7	7x	10x
Caucho	0.15	0.95	0.15x	0.16x
Cemento	1.00	3.1	1x	0.32x

La sumatoria de volúmenes reales es de 11.18x

$\Sigma \text{ volúmenes reales} + \% \text{ aire} = \text{Volumen total de bloques} + \% \text{ Compactación}$

$$11.07x + 763950 \text{ mm}^3 = 15297000 \text{ mm}^3 + 4589100 \text{ mm}^3$$

$$x = \frac{15297000 \text{ mm}^3 + 4589100 \text{ mm}^3 - 763950 \text{ mm}^3}{11.18}$$

$$x = 1710389,09 \text{ mm}^3$$

$$x = 1.81 \text{ kg}$$

Se reemplaza el valor de x , y así de esta manera se tienen los valores reales de peso y volumen de cada uno de los componentes de la mezcla tal como se ve en la tabla 3.9.

Tabla 3.9: Valores de peso y volumen para elaboración de bloques con un 15% de caucho. Fuente: El Autor

Material	Dosificación al Peso	Densidad (kg/dm^3)	Peso por cada 3 bloques (kg)	Volúmenes reales por cada 3 bloques (dm^3)
Agua	0.70	1.00	1.27	1.27
Cascajo	7.00	0.7	12.67	18.1
Caucho	0.15	0.95	0.27	0.27
Cemento	1.00	3.1	1.81	0.58

3.2.6.3 Moldeo y Fraguado

El molde de acero mostrado en la figura 3.10 recibe la mezcla previamente calculada en porcentajes, está situado sobre una superficie vibratoria cuyo movimiento compacta la mezcla del bloque hasta tener la consistencia necesaria para que sea retirado.

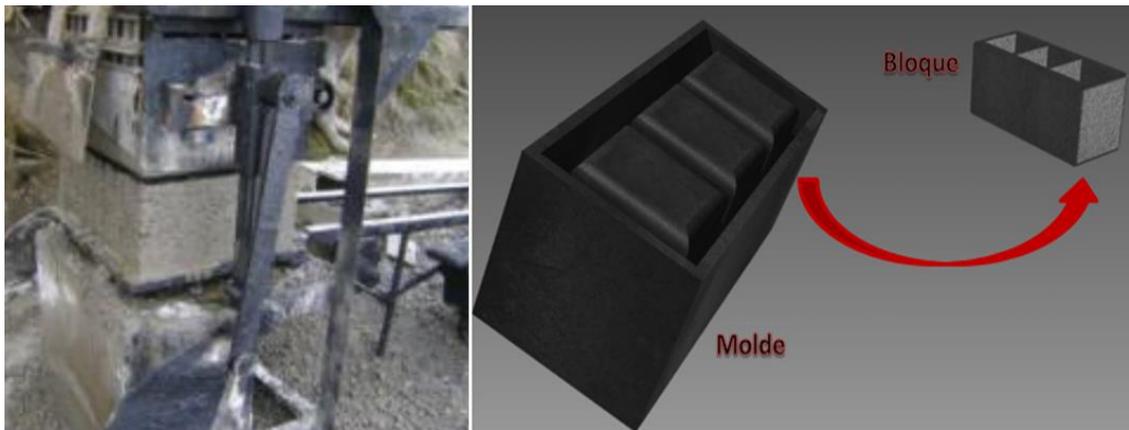


Figura 3.10: Molde de bloques.

Fuente: El Autor.

Existe una gran ventaja de la conformación de moldes, ya que en un mismo molde se pueden fabricar miles de bloques por día como se ve en la figura 3.11, ya que simplemente se retiran luego de ser compactados y se fraguan bajo condiciones ambientales por un período de 28 días sin necesidad de estar insertado dentro de un molde por este lapso de tiempo.

Los bloques que están en proceso de fraguado no se apilan para así evitar deformaciones y posibles fracturas en su estructura hasta que están completamente secos.



Figura 3.11: Fraguado de bloques

Fuente: El Autor.

3.2.7 Fabricación de Paneles

Los paneles se dosificaron de acuerdo a cálculos de las distintas masas de cada elemento que estuvo presente en la elaboración del panel, además mediante un trabajo de campo que se realiza en la bloquera Pimbo en la vía a Salasaca de la Provincia de Tungurahua.

3.2.7.1 Materiales

Los materiales que se emplean en la fabricación de paneles se enuncian en la tabla 3.10 son los mismos que se emplean en la elaboración de los paneles con agregado de caucho.

Tabla 3.10: Materiales empleados en la fabricación de paneles.

Fuente: El Autor

Material	Lugar de Procedencia
Agua	Bloquera “Pimbo”
Arena	Bloquera “Pimbo”
Cemento Portland Tipo 1P	Cemento Chimborazo
Caucho	Salasaca

3.2.7.2 Dosificación

El volumen de la mezcla se define para cada panel que sirven de muestra, se calcula el volumen del panel, según las medidas mostradas en la figura 3.12.

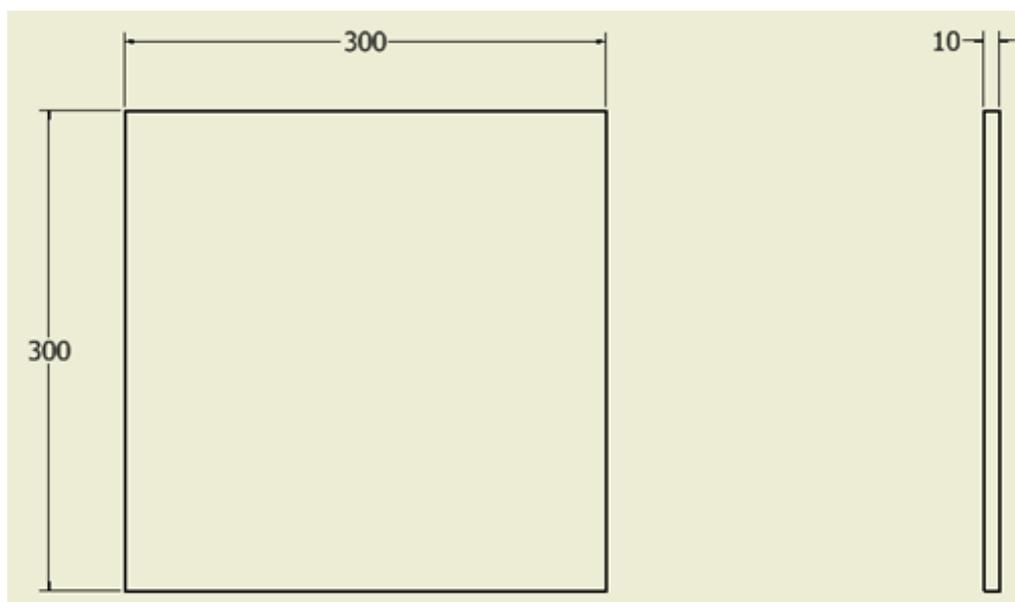


Figura 3.12: Dimensiones de paneles

Fuente: El Autor.

$$Volumen = [(300) (300) (10)] mm^3$$

$$Volumen = 900000 mm^3$$

$$Volumen Neto Total = 900000 mm^3$$

Para calcular los porcentajes de todos los componentes en función del peso del cemento, se considera un valor (x) como el peso real del cemento.

Densidad de arena: 1.5 kg/dm³

Dosificación del arena por cada 100 paneles: 3 carretillas

$$Coeficiente de Volumen = \frac{\text{Dosificación de arena por cada 100 paneles}}{\text{Densidad de arena}}$$

$$Coeficiente de Volumen = \frac{3 \text{ carretillas}}{1.5 \text{ kg/dm}^3}$$

$$Coeficiente de Volumen = 2x$$

Tabla 3.11: Coeficientes de Peso y Volúmenes.

Fuente: El Autor

Material	Dosificación al Peso	Densidad (kg/dm ³)	Peso por cada 100 paneles (kg)	Volumen real por cada 100 paneles (dm ³)
Agua	0.70	1.00	0.7x	0.7x
Arena	3.00	1.5	2x	1.33x
Caucho	-	0.95	-	-
Cemento	1.00	3.1	3x	0.97x

La sumatoria de volúmenes reales por cada 100 paneles es de 3x.

$$\Sigma \text{ volúmenes reales} = \text{Volumen total de paneles}$$

[3.5]

$$2,35x = 900000 \text{ mm}^3$$

$$x = \frac{900000 \text{ mm}^3}{2,35}$$

$$x = 382987,67 \text{ mm}^3$$

$$x = 0,33 \text{ kg}$$

El valor de x corresponde al peso de cemento calculado para la elaboración de cada panel.

Para determinar el peso del resto de los materiales se reemplaza el valor correspondiente x ya calculado por los coeficientes respectivos.

Tabla 3.12: Valores de peso y volumen para elaboración de paneles con un 0% de caucho. Fuente: El Autor

Material	Dosificación al Peso	Densidad (kg/dm ³)	Peso por cada 100 paneles (kg)	Volumen real por cada 100 paneles (dm ³)
Agua	0.70	1.00	0.23	0.23
Arena	3.00	1.5	0.66	0.44
Caucho	-	0.95	-	-
Cemento	1.00	3.1	0.99	0.32

El mismo procedimiento para el resto de porcentajes de caucho con los que se fabricarán los paneles que son 5%, 10% y 15% de incorporación de caucho.

Tabla 3.13: Valores de peso y volumen para elaboración de paneles con un 5% de caucho. Fuente: El Autor

Material	Dosificación al Peso	Densidad (kg/dm ³)	Peso por cada panel (kg)	Volumen real por cada panel (dm ³)
Agua	0.70	1.00	0.7x	0.7x
Arena	3.00	1.5	2x	1.33x
Caucho	0.05	0.95	0.05x	0.05x
Cemento	1.00	3.1	3x	0.97x

La sumatoria de volúmenes reales es de 3.05x

$$\Sigma \text{ volúmenes reales} = \text{Volumen total de paneles}$$

$$3.05x = mm^3$$

$$x = \frac{900000mm^3}{3.05}$$

$$x = 295081,9 mm^3$$

$$x = 0.29 kg$$

Tabla 3.14: Cálculos de peso y volumen para elaboración de paneles con un 5% de caucho. Fuente: El Autor

Material	Dosificación al Peso	Densidad (kg/dm ³)	Peso por cada panel (kg)	Volumen real por cada panel (dm ³)
Agua	0.70	1.00	0.203	0.20
Arena	3.00	0.7	0.58	0.39
Caucho	0.05	0.95	0.02	0.09
Cemento	1.00	3.1	0.87	0.55

Los valores de peso y volumen para fabricar paneles con un 10% de caucho agregado se calculan de igual manera al utilizar x como factor representativo del peso de cemento calculado.

Tabla 3.15: Valores de peso y volumen para elaboración de paneles con un 10% de caucho. Fuente: El Autor

Material	Dosificación al Peso	Densidad (kg/dm ³)	Peso por cada panel (kg)	Volumen real por cada panel (dm ³)
Agua	0.70	1.00	0.7x	0.7x
Arena	3.00	1.5	2x	1.33x
Caucho	0.10	0.95	0.10x	0.10x
Cemento	1.00	3.1	3x	0.97x

La sumatoria de volúmenes reales es de 3.10x

Σ volúmenes reales = Volumen total de paneles

$$3.10x = 900000mm^3$$

$$x = \frac{900000 mm^3}{3.10}$$

$$x = 299822.6 mm^3$$

$$x = 0.30 kg$$

Ahora se reemplaza el valor de x en los valores de la tabla anterior y se obtiene los valores reales que deben aplicarse, para utilizar un 10% de caucho agregado.

Tabla 3.16: Cálculos de peso y volumen para elaboración de paneles con un 10% de caucho. Fuente: El Autor

Material	Dosificación al Peso	Densidad (kg/dm ³)	Peso por cada panel (kg)	Volumen real por cada panel (dm ³)
Agua	0.70	1.00	0.21	0.20
Arena	3.00	1.5	0.58	0.39
Caucho	0.10	0.95	0.03	0.03
Cemento	1.00	3.1	0.87	0.28

El último porcentaje que se va a agregar a la mezcla es el 15% de caucho, y sus estimaciones se encuentran en la tabla 3.17.

Tabla 3.17: Valores de peso y volumen para elaboración de paneles con un 15% de caucho. Fuente: El Autor

Material	Dosificación al Peso	Densidad (kg/dm ³)	Peso por cada panel (kg)	Volumen real por cada panel (dm ³)
Agua	0.70	1.00	0.7x	0.7x
Arena	3.00	1.5	2x	1.33x
Caucho	0.15	0.95	0.15x	0.16x
Cemento	1.00	3.1	1x	0.32x

La sumatoria de volúmenes reales es de 2.51x

$$\Sigma \text{ volúmenes reales} = \text{Volumen total de paneles}$$

$$2.51x = 900000 \text{ mm}^3$$

$$x = \frac{900000 \text{ mm}^3}{2.51}$$

$$x = 358565.73 \text{ mm}^3$$

$$x = 0.36 \text{ kg}$$

Se reemplaza el valor de x , y así de esta manera se tienen los valores reales de peso y volumen de cada uno de los componentes de la mezcla tal como se ve en la tabla 3.18.

Tabla 3.18: Valores de peso y volumen para elaboración de paneles con un 15% de caucho. Fuente: El Autor

Material	Dosificación al Peso	Densidad (kg/dm ³)	Peso por cada panel (kg)	Volumen real por cada panel (dm ³)
Agua	0.70	1.00	0.25	0.25
Arena	3.00	1.5	0.72	0.48
Caucho	0.15	0.95	0.04	0.04
Cemento	1.00	3.1	1.08	0.35

3.2.7.3 Moldeo y Fraguado

Los paneles reposan dentro de un molde durante todo su proceso de fraguado, el molde que se observa en la figura 3.13, es un confinamiento especialmente diseñado para reducir el área de secado del panel, dado que el área mayor del panel es de 90000 mm³ y su área menor es de 3000 mm³, entonces la mejor superficie para optimizar el secado uniforme es la que tiene una menor área y esto se logra con moldes verticales y desmontables.

El diseño óptimo de panel llegó a su diseño final luego de constantes fracasos en modelos de moldes que no contaban con una capacidad óptima para un desmolde seguro luego del tiempo de fraguado de 28 días, el confinamiento se lubricó con manteca vegetal en toda superficie que tenga contacto con la mezcla previamente calculada, este último y definitivo diseño fue algo que nunca se ha fabricado, la eliminación de clavos y elementos de sujeción roscados disminuye por completo las vibraciones violentas al retirar el producto final del molde.

En la figura 3.13 se observa los rieles que acogen las dos placas que dan forma al panel, al ser desmontable y fácil de armar puede ser utilizado muchas veces ya que su exterior tan solo se sujeta con una correa plástica lo que compacta el molde y lo convierte en el más eficiente método de crear paneles.

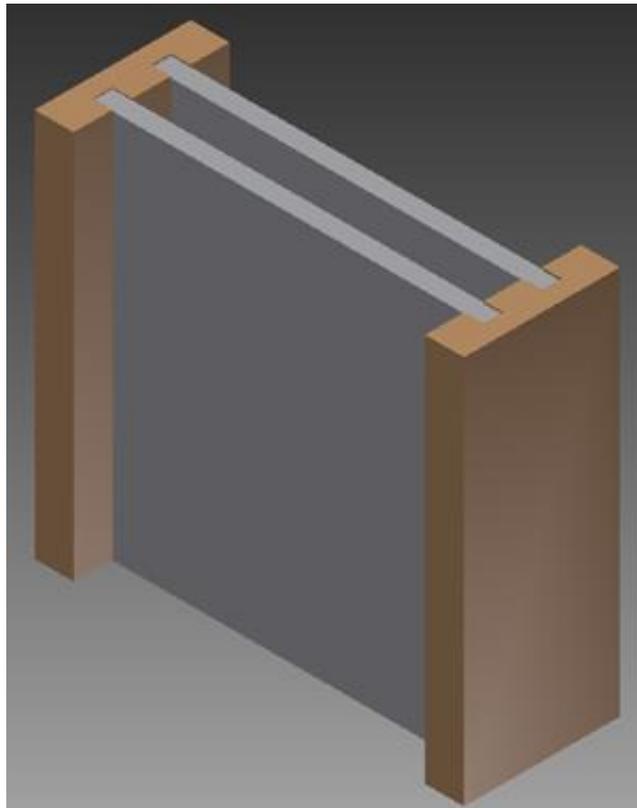


Figura 3.13: Molde de paneles

Fuente: El Autor.

Los paneles retirados del molde fueron apilados y almacenados según el porcentaje de caucho que posee cada uno de ellos hasta su posterior proceso de experimentación.

En la figura 3.14 se observa la prueba que se hizo a cada uno de los paneles para verificar su solidez, esto se hizo con tres golpes aleatorios en la superficie mayor del panel para así verificar que son aptos para ser apilados y que poseen una consistencia adecuada.



Figura 3.14: Verificación de solidez en paneles

Fuente: El Autor.

3.2.8 Fabricación de Cilindros

Los cilindros se dosificaron de acuerdo a cálculos de las distintas masas de cada elemento que estuvo presente en la elaboración del panel, además mediante un trabajo de campo que se realiza en la bloquera Pimbo en la vía a Salasaca de la Provincia de Tungurahua.

3.2.8.1 Materiales

Los materiales que se emplean en la fabricación de cilindros se enuncian en la tabla 3.19 son los mismos que se utilizaron para la fabricación de paneles con agregado de caucho.

Tabla 3.19: Materiales empleados en la fabricación de cilindros.

Fuente: El Autor

Material	Lugar de Procedencia
Agua	Bloquera “Pimbo”
Arena	Bloquera “Pimbo”
Cemento Portland Tipo 1P	Cemento Chimborazo
Caucho	Salasaca

3.2.8.2 Dosificación

El volumen de la mezcla se define para cilindro que sirven de muestra, se calcula el volumen del cilindro, según las medidas mostradas en la figura 3.15.

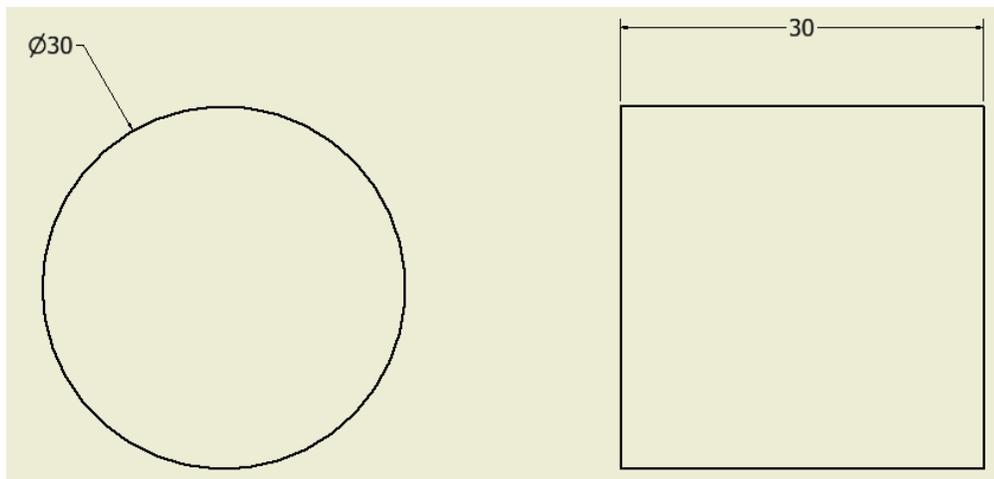


Figura 3.15: Dimensiones de cilindros

Fuente: El Autor.

$$Volumen = \pi r^2 h \quad [3.6]$$

$$Volumen = [(\pi) (30)^2 (30)] \text{ mm}^3$$

$$Volumen \text{ Neto Total} = 84780 \text{ mm}^3$$

Para calcular los porcentajes de todos los componentes en función del peso del cemento, se considera un valor (x) como el peso real del cemento.

Densidad de arena: 1.5 kg/dm³

Dosificación del arena por cada 100 paneles: 1 carretilla

$$\text{Coeficiente de Volumen} = \frac{\text{Dosificación de arena por cada cilindro}}{\text{Densidad de arena}}$$

$$\text{Coeficiente de Volumen} = \frac{1 \text{ carretilla}}{1.5 \text{ kg/dm}^3}$$

$$\text{Coeficiente de Volumen} = 0.67x$$

Tabla 3.20: Coeficientes de Peso y Volúmenes.

Fuente: El Autor

Material	Dosificación al Peso	Densidad (kg/dm ³)	Peso por cada cilindro (kg)	Volumen real por cada cilindro (dm ³)
Agua	0.70	1.00	0.7x	0.7x
Arena	1.00	1.5	1x	0.67x
Caucho	-	0.95	-	-
Cemento	1.00	3.1	2x	0.66x

La sumatoria de volúmenes reales por cada cilindro es de 2.03x

$\Sigma \text{ volúmenes reales} = \text{Volumen total de cilindros}$

$$2.03x = 84780 \text{ mm}^3$$

$$x = \frac{84780 \text{ mm}^3}{2.03}$$

$$x = 41763.5 \text{ mm}^3$$

$$x = 0.042 \text{ kg}$$

El valor de x corresponde al peso de cemento calculado para la elaboración de cada cilindro.

Para determinar el peso del resto de los materiales se reemplaza el valor correspondiente x ya calculado por los coeficientes respectivos.

Tabla 3.21: Valores de peso y volumen para elaboración de cilindros con un 0% de caucho. Fuente: El Autor

Material	Dosificación al Peso	Densidad (kg/dm ³)	Peso por cada cilindro (kg)	Volumen real por cada cilindro (dm ³)
Agua	0.70	1.00	0.029	0.029
Arena	1.00	1.5	0.042	0.028
Caucho	-	0.95	-	-
Cemento	1.00	3.1	0.084	0.028

El mismo procedimiento para el resto de porcentajes de caucho con los que se fabricarán los bloques que son 5%, 10% y 15% de incorporación de caucho.

Tabla 3.22: Valores de peso y volumen para elaboración de cilindros con un 5% de caucho. Fuente: El Autor

Material	Dosificación al Peso	Densidad (kg/dm ³)	Peso por cada cilindro (kg)	Volúmenes reales por cada cilindro (dm ³)
Agua	0.70	1.00	0.7x	0.7x
Arena	1.00	1.5	1x	0.67x
Caucho	0.05	0.95	0.05x	0.05x
Cemento	1.00	3.1	2x	0.65x

La sumatoria de volúmenes reales es de 1.69x

$$\Sigma \text{ volúmenes reales} = \text{Volumen total de cilindros}$$

$$1.69x = 84780 \text{ mm}^3$$

$$x = \frac{84780 \text{ mm}^3}{1.69}$$

$$x = 50165,9 \text{ mm}^3$$

$$x = 0.05 \text{ kg}$$

Tabla 3.23: Cálculos de peso y volumen para elaboración de bloques con un 5% de caucho. Fuente: El Autor

Material	Dosificación al Peso	Densidad (kg/dm ³)	Peso por cada panel (kg)	Volúmenes reales por cada panel (dm ³)
Agua	0.70	1.00	0.031	0.031
Arena	1.00	0.7	0.040	0.028
Caucho	0.05	0.95	0.011	0.010
Cemento	1.00	3.1	0.081	0.027

Los valores de peso y volumen para fabricar paneles con un 10% de caucho agregado se calculan de igual manera al utilizar x como factor representativo del peso de cemento calculado.

Tabla 3.24: Valores de peso y volumen para elaboración de paneles con un 10% de caucho. Fuente: El Autor

Material	Dosificación al Peso	Densidad (kg/dm ³)	Peso por cada panel (kg)	Volúmenes reales por cada panel (dm ³)
Agua	0.70	1.00	0.7x	0.7x
Arena	1.00	1.5	1x	0.67x
Caucho	0.10	0.95	0.10x	0.10x
Cemento	1.00	3.1	2x	0.66x

La sumatoria de volúmenes reales es de 2.13x

$\Sigma \text{ volúmenes reales} = \text{Volumen total de cilindros}$

$$2.13x = 84780 \text{ mm}^3$$

$$x = \frac{84780 \text{ mm}^3}{2.13}$$

$$x = 39802.8 \text{ mm}^3$$

$$x = 0.039 \text{ kg}$$

Ahora se reemplaza el valor de x en los valores de la tabla anterior y se obtiene los valores reales que deben aplicarse, para utilizar un 10% de caucho agregado.

Tabla 3.25: Cálculos de peso y volumen para elaboración de cilindros con un 10% de caucho. Fuente: El Autor

Material	Dosificación al Peso	Densidad (kg/dm ³)	Peso por cada cilindro (kg)	Volumen real por cada cilindro (dm ³)
Agua	0.70	1.00	0.027	0.027
Arena	1.00	1.5	0.039	0.026
Caucho	0.10	0.95	0.004	0.004
Cemento	1.00	3.1	0.078	0.026

El último porcentaje que se va a agregar a la mezcla es el 15% de caucho, y sus estimaciones se encuentran en la tabla 3.26.

Tabla 3.26: Valores de peso y volumen para elaboración de cilindros con un 15% de caucho agregado. Fuente: El Autor

Material	Dosificación al Peso	Densidad (kg/dm ³)	Peso por cada panel (kg)	Volúmenes reales por cada panel (dm ³)
Agua	0.70	1.00	0.7x	0.7x
Arena	1.00	1.5	1x	0.67x
Caucho	0.15	0.95	0.15x	0.15x
Cemento	1.00	3.1	1x	0.66x

La sumatoria de volúmenes reales es de 2.18x

$$\Sigma \text{ volúmenes reales} = \text{Volumen total de cilindros}$$

$$2.18x = 84780 \text{ mm}^3$$

$$x = \frac{84780 \text{ mm}^3}{2.18}$$

$$x = 38889.91 \text{ mm}^3$$

$$x = 0.039 \text{ kg}$$

Se reemplaza el valor de x , y así de esta manera se tienen los valores reales de peso y volumen de cada uno de los componentes de la mezcla tal como se ve en la tabla 3.27.

Tabla 3.27: Valores de peso y volumen para elaboración de cilindros con un 15% de caucho. Fuente: El Autor

Material	Dosificación al Peso	Densidad (kg/dm ³)	Peso por cada 3 bloques (kg)	Volúmenes reales por cada 3 bloques (dm ³)
Agua	0.70	1.00	0.27	0.027
Arena	1.00	1.5	0.04	0.026
Caucho	0.15	0.95	0.06	0.006
Cemento	1.00	3.1	0.078	0.027

3.2.8.3 Moldeo y Fraguado

El diseño del molde obedece a las dimensiones del cilindro como se aprecia en la figura 3.16, se fabricó en material polimérico garantizando de esta manera bordes lisos y cero imperfecciones, la lubricación en las paredes de contacto fue controlada con manteca vegetal ya que es el lubricante que más tiempo soporta dentro de un molde sin disolverse junto a la mezcla y así dando una mayor facilidad de extracción de cada una de las muestras.

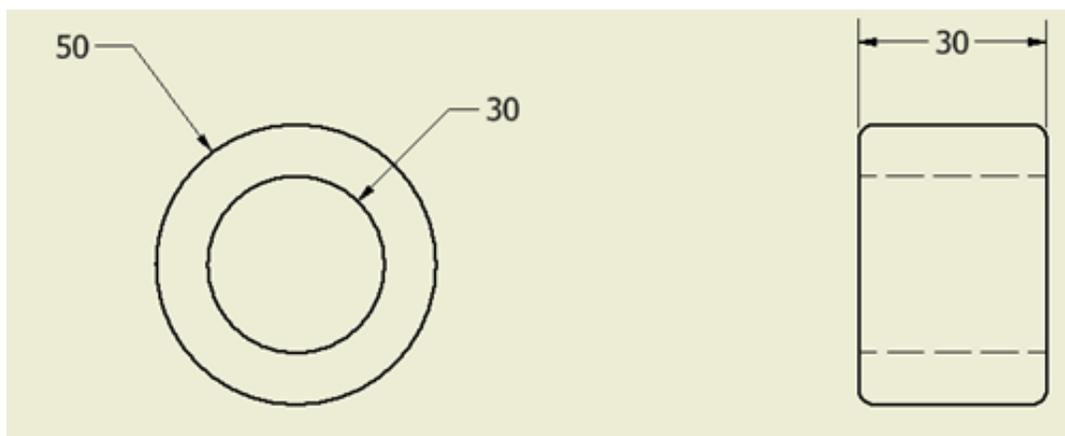


Figura 3.16: Dimensiones de molde para cilindros

Fuente: El Autor.

Los cilindros fraguaron en 28 días que es la edad a la que el concreto está completamente endurecido, cada una de las muestras se retiró de los moldes y se almacenaron según el porcentaje de agregado de caucho como se aprecia en la figura 3.17, los excesos de material se liman para evitar deformaciones en la forma del cilindro para su posterior experimentación.



Figura 3.17: Cilindro obtenido para experimentación

Fuente: El Autor.

En la figura 3.18 se observa la posición final que ocupa cada cilindro para su experimentación por esto su diámetro es exacto y su longitud encaja perfectamente con los sensores de temperatura del instrumento de medición.



Figura 3.18: Cilindro insertado en confinamiento controlado de experimentación

Fuente: El Autor.

3.3 Resistencia de Mampuestos a Compresión

La resistencia a la compresión se determina realizando pruebas de pilas, las cuales se conforman de por lo menos tres piezas sobrepuestas que se ensayan a la edad de 28 días como se observa en la figura 3.19.

La resistencia del diseño a la compresión se calcula según la fórmula 3.7.

$$f_m^* = \frac{\bar{f}_m}{1+2.5c_m} \quad [3.7]$$

En donde \bar{f}_m es la media de la resistencia de las pilas a compresión y c_m es el coeficiente de variación de la resistencia a compresión de las pilas de mampostería [11].

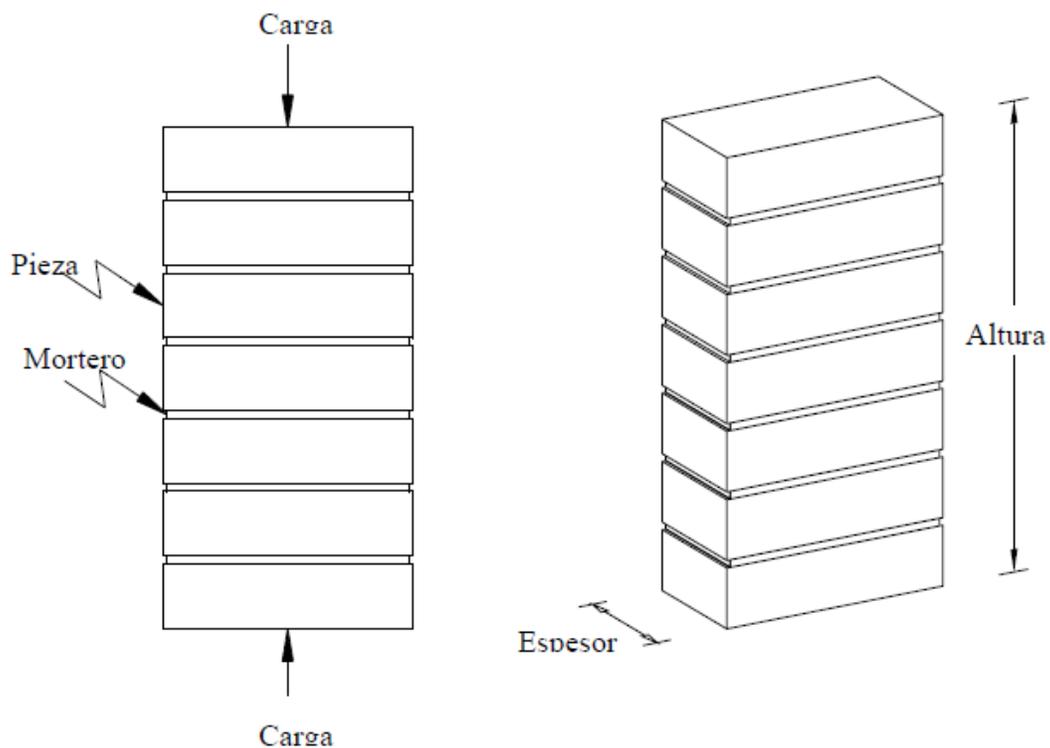


Figura 3.19: Pilas de Mampostería para Ensayos de Compresión

Fuente: [11]

3.3.1 Módulo de Elasticidad de Mampostería

Posterior a los ensayos efectuados en pilas, se puede estimar el módulo de elasticidad de mampostería de manera aproximada según la tabla 3.28.

Tabla 3.28: Módulo de Elasticidad en Mampostería.

Fuente: El Autor.

	Cargas de Corta Duración	Cargas Sostenidas
Mampostería de Tabiques y Bloques de Concreto	$E_m = 800 f_m^*$	$E_m = 350 f_m^*$
Mampostería de Tabiques y Barro	$E_m = 600 f_m^*$	$E_m = 350 f_m^*$

E_m = Módulo de Elasticidad de un Mampuesto.

f_m^* = Resistencia de Diseño a la compresión.

c_m = Coeficiente de Variación de la Resistencia a compresión (> 0.15) [3].

c_v = Coeficiente de Variación de la Resistencia a compresión diagonal (> 0.20) [3].

3.3.2 Comportamiento de Mampostería a Cortante

Los ensayos de compresión se aplican además sobre muretes en sentido diagonal, los muretes tendrán una longitud de 150% de la longitud total de la pieza y el número de hiladas necesarias para que la altura sea igual a la longitud.

Los muretes se ensayan a una edad de 28 días con una carga de compresión monótona a lo largo de su diagonal como se aprecia en la figura 3.20, la resistencia de este diseño a una compresión diagonal se determina mediante la fórmula 3.8.

$$v_m^* = \frac{\bar{v}_m}{1+2.5c_v} \quad [3.8]$$

En donde \bar{v}_m es la media de resistencia a compresión diagonal de muretes, sobre el área bruta medida a lo largo de la diagonal paralela a la carga y c_v es el coeficiente de variación de la resistencia a la compresión diagonal de muretes [11].

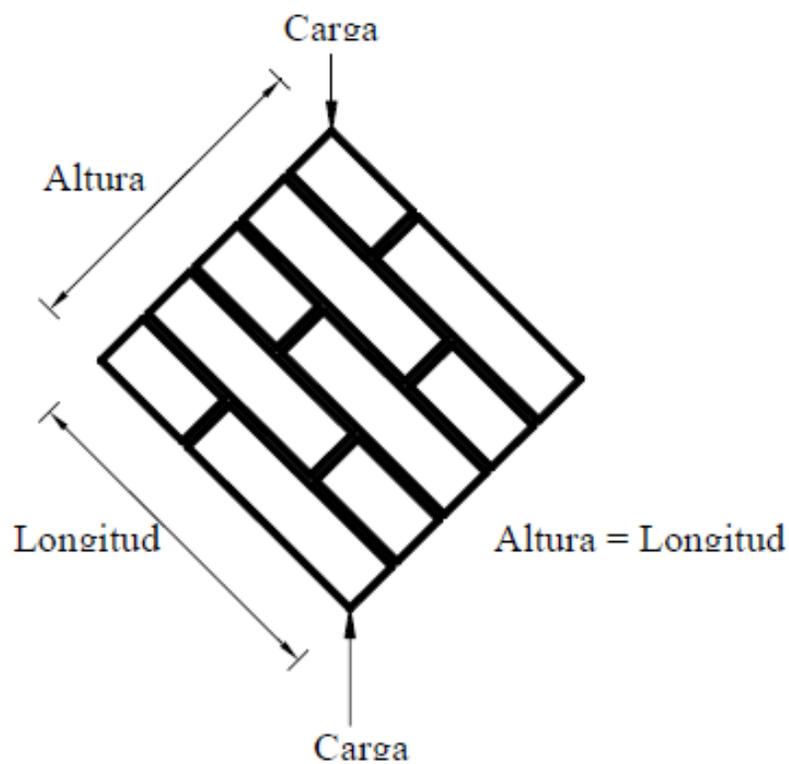


Figura 3.20: Ensayo de Mampostería sujeta a Cortante.

Fuente: [12]

3.3.3 Mecanismos de Falla en Mampostería

Existen cinco tipos de falla que se pueden dar en estructuras de mampostería:

Agrietamiento a media altura: Cuando los paneles de mampostería se encuentran demasiado rígidos como se aprecia en la figura 3.21, se provoca una falla por deslizamiento a lo largo de la junta horizontal de mortero ocasionando la falla por cortante en las columnas. La rigidez de los paneles es algo que se considera muy importante en mampostería, ya que algo muy rígido no precisamente significa que es mejor por su dureza y causa fallas de agrietamiento además de otros tipos de falla que se enuncian en este capítulo.

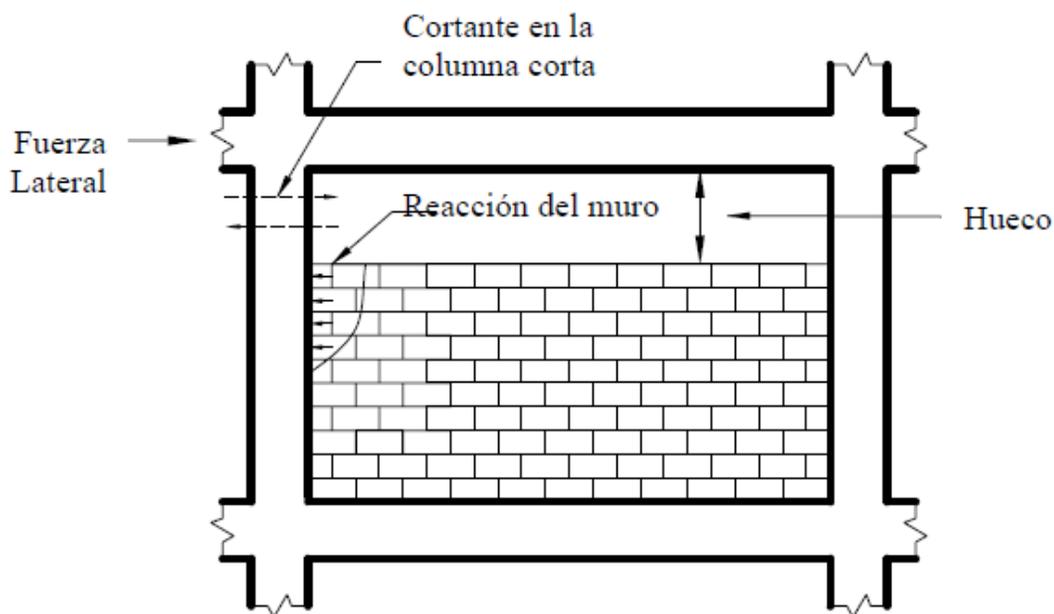


Figura 3.21: Comportamiento de Fuerzas en Mampostería.

Fuente: [12]

Falla por flexión: En la columna se dan una combinación de esfuerzos de tensión y de cortante en la columna, entonces se produce la falla principalmente si la columna es de concreto como se ve en la figura 3.22.

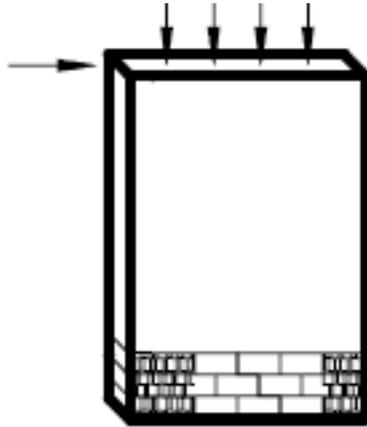


Figura 3.22: Fuerzas Provocantes de Flexión en Mampuestos.

Fuente: [12]

Deslizamiento de las Juntas Horizontales: Se da una disipación de energía como resultado de las articulaciones plásticas que se presentan en las columnas así como de la fricción que existe entre las partes del muro al deformarse libremente, cuando se separan [11].

Aplastamiento de esquina: Se presenta en sistemas con marcos que son altamente flexibles, ya que los esfuerzos de compresión que se dan en la esquina cargada se concentran en una zona reducida y entonces aplastan la mampostería.

Agrietamiento Inclinado: Ocurre un agrietamiento en la diagonal a causa de los esfuerzos principales de tensión en dirección perpendicular como se aprecia en la figura 3.23, esto se da cuando el marco que sostiene el muro es suficientemente rígido para soportar el aplastamiento que se da por la compresión [11].

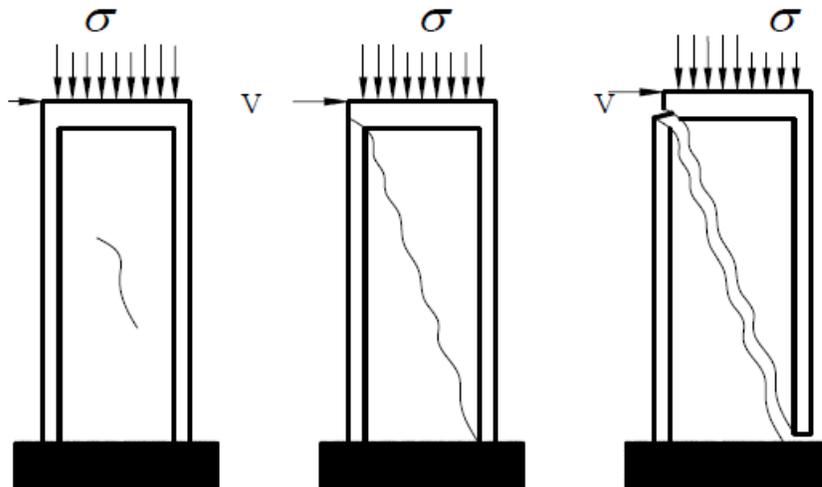


Figura 3.23: Agrietamiento Inclinado.

Fuente: [12]

3.3.4 Modelo de Comportamiento de Muros bajo Carga

En la mecánica de una fractura se reconoce que al iniciarse la formación de una grieta la rigidez del material se ve reducida, con el incremento de carga, un muro sufre una pérdida muy importante de rigidez alcanzando el punto de agrietamiento inicial hasta llegar al completo colapso del muro.

La envolvente se define con pares coordinados conformados por el desplazamiento y la cortante: (V_a, d_a) que corresponde al límite elástico de la mampostería que se considera como el agrietamiento inicial de esta, $(V_{máx}, d_{máx})$ que corresponde a la resistencia máxima, y (V_u, d_u) que corresponde a la resistencia y deformación últimas [11].

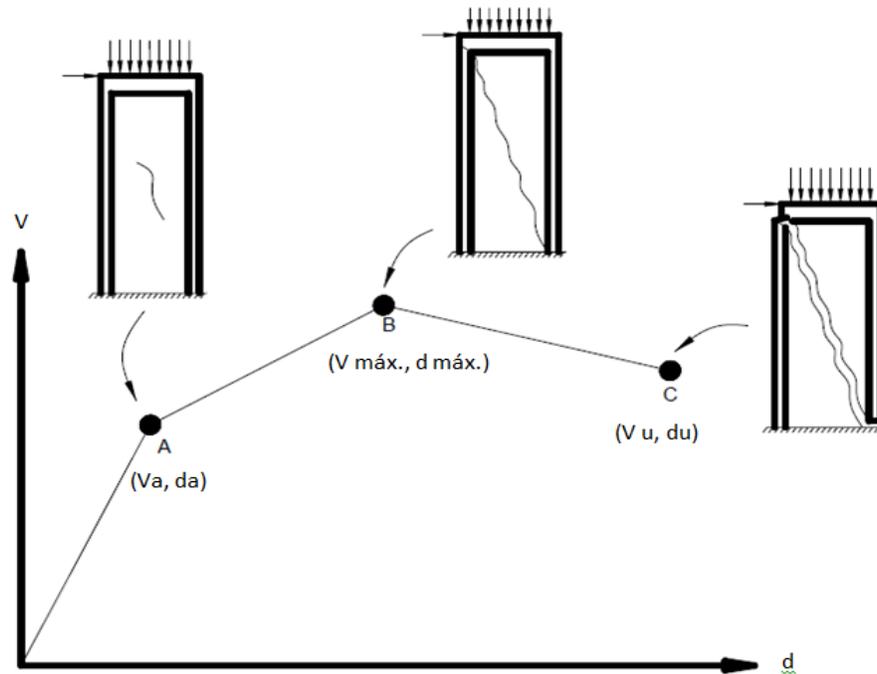


Figura 3.24: Modelo de Comportamiento de Muros bajo Carga.

Fuente: El Autor.

En consecuencia mientras más esbelta sea la estructura del mampuesto, menor será su resistencia a la compresión, el grado de daño se toma como parámetro de referencia en la modelación de comportamiento de muros de mampostería, se han identificado cuatro grados distintos de daños que corresponde a cada uno de ellos, como se muestra en la tabla 3.28.

Tabla 3.28: Índices de Daño en Mampostería.

Fuente: El Autor.

Daño	I_D
Formación de la primera fisura diagonal en el medio del muro.	0.25
La fisura se prolonga de manera diagonal en el muro en ambas direcciones. Este límite se da cuando la mampostería ha alcanzado la resistencia máxima a las fuerzas laterales.	0.50
Se observa más daño en el muro. La fisura que anteriormente estaba tan solo en las juntas de las piezas, incrementa su ancho y agrieta los tabiques.	0.75
Todo el refuerzo empieza a fluir. Colapso total.	1.00

I_D = Índice de Daño en el muro de Mampostería.

3.4 Conclusión de Capítulo

La mampostería proporciona grandes beneficios en construcción, por su rapidez de instalación y su conveniencia en costos, se utiliza en separación de ambientes por lo que debe tener propiedades aislantes, tanto acústicas como térmicas, los agregados que se adicionan a la mezcla de mampuestos, no son completamente eficientes para optimizar estas propiedades por lo que es meritorio agregar componentes adicionales en porcentajes específicos, la utilización de la mampostería como muros estructurales se ve limitada aunque reduce recursos por su falta de agregados, en consecuencia la adición de caucho fuera de utilización a la mezcla de la mampostería resulta en probetas manejables y factibles para su creación y posterior experimentación. La mampostería presenta fallas principalmente por excesiva rigidez es por esto que las fibras de caucho fuera de utilización son una excelente alternativa para disminuir cargas internas y mejorar la calidad de la mampostería.

CAPÍTULO 4

ENSAYOS PARA CARACTERIZACIÓN DE PRUEBAS DE MATERIAL COMPUESTO DE MATRIZ CERÁMICA CON CARGAS DE FIBRAS DE NEUMÁTICOS FUERA DE UTILIZACIÓN

Capítulo 4

Ensayos para caracterización de pruebas de material compuesto de matriz cerámica con cargas de “FNFU”

4.1 Introducción

El análisis de muestras de material compuesto de matriz cerámica con cargas de “FNFU” obtenidas previamente, es la parte más importante del estudio al que está sujeto el presente proyecto, los ensayos se realizaron en los talleres de la Universidad Politécnica

Salesiana y las probetas correspondientes fueron realizadas bajo las normas requeridas para garantizar credibilidad en los datos.

4.1.1 Transferencia de Calor

Las divisiones de mampostería en ambientes asumen la responsabilidad de dar seguridad al confinamiento creado al interior de sus fronteras, un mampuesto que posee una dosificación normal en su mezcla no opone mayor resistencia al paso de energía por su superficie, por lo que en países fríos se utiliza calefacción en todo tipo de recintos, al agregarle nuevos elementos se puede almacenar en parte la energía que pasa a través de este volumen cerrado al agregar “FNFU” en su mezcla, ya que el caucho aumenta la capacidad aislante del mampuesto en que es agregado, evitando en lo posible que dos ambientes separados alcancen la misma temperatura, sabiendo que siempre el calor se transfiere de forma natural siempre del ambiente en donde existe una mayor cantidad de energía hacia donde hay una disminución de esta.

El calor puede ser transferido en tres modos distintos: convección, conducción y radiación, estos modos de transferencia de calor requieren la existencia de una diferencia de temperatura y todos ellos ocurren del medio que tiene la temperatura más elevada hacia el de la temperatura más baja como se muestra en la figura 4.1.

4.1.1.1 Convección

Este modo de transferencia se da por un movimiento molecular aleatorio, la energía se transfiere mediante el movimiento global del fluido, en ese momento grandes números de moléculas se mueven de forma colectiva y en presencia de un gradiente de temperatura, contribuye a la transferencia de calor. En la convección forzada se da cuando el flujo es causado por medios externos, como un ventilador, una bomba o vientos atmosféricos [20]. El flujo en convección natural es inducido por fuerzas de empuje que surgen a partir de

diferencias de densidad ocasionadas por variaciones de temperatura sobre el fluido mostrado en la figura 4.1.

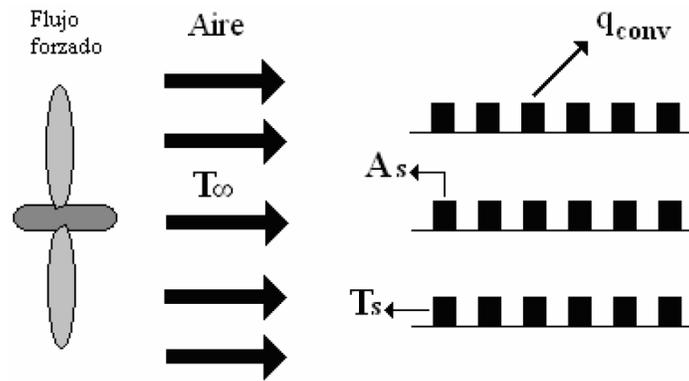


Figura 4.1: Convección Forzada.

Fuente: [20]

4.1.1.2 Conducción

La conducción se define como la transferencia de energía de partículas más energéticas de una sustancia hacia las menos energéticas, por la interacción de las partículas.

Materiales como el cobre y la plata, que son buenos conductores de la electricidad, también son buenos conductores de calor, la temperatura es una medida de la energía cinética de las moléculas, en un líquido o gas se debe al movimiento aleatorio de sus moléculas, así como a sus movimientos de rotación y vibración.

La velocidad de la conducción de calor a través de un medio está sujeta a la configuración geométrica de este, su espesor y el material del que se encuentra hecho, tal como la diferencia de temperaturas a través de este, los flujos de convección a través de una pared plana se muestra en la figura 4.2.

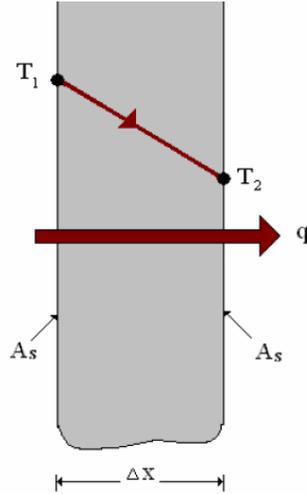


Figura 4.2: Conducción de Calor a través de una pared plana de espesor Δx y área A_s .

Fuente: [20]

4.1.1.3 Radiación

La radiación es un fenómeno volumétrico y todos los sólidos, líquidos y gases la emiten, absorben o transmiten, se puede considerar como un fenómeno superficial para los sólidos que son opacos a la radiación térmica, como los metales, la madera y las rocas, ya que las radiaciones emitidas por las regiones interiores de un material de este tipo no pueden llegar a la superficie.

Los muros de mampostería reciben la mayoría de su energía por medio de radiación solar mostrado en la figura 4.3, por lo que el aislamiento térmico es sumamente importante para detener el paso de energía en forma de calor.

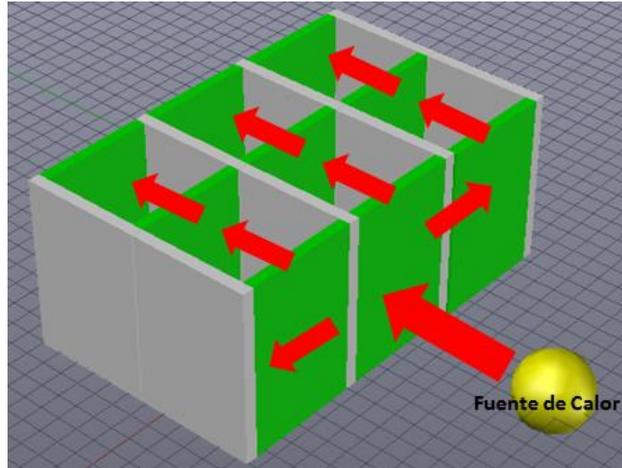


Figura 4.3: Calor inducido por radiación solar en muros de mampostería.

Fuente: [20]

Los mampuestos con agregado “FNUF” tienden a disminuir el paso de energía en forma de calor como se muestra en la figura 4.4, por lo que no se hace necesario la instalación de aire acondicionado.

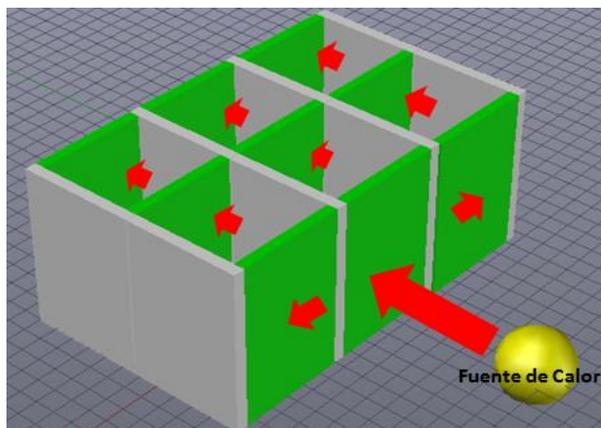


Figura 4.4: Disminución de paso de energía en forma de calor en mampostería

Fuente: [20]

4.1.2 Acústica

En el caso de divisiones de ambientes en donde se utiliza mampostería el aislamiento acústico es algo necesario pero no es fácil de lograr de forma convencional por

lo que es necesario la adición de materiales aislantes como “FNUF” a su dosificación, ya que las ondas sonoras aplicadas tanto en espacios confinados como abiertos, son tridimensionales y crean frentes de onda radiales, basado en el hecho de que todo cuerpo que produce un sonido lo hace por su estado de vibración que se propaga por medio del aire a todo el espacio circundante, no todos los sonidos poseen la misma intensidad generadora de señal, estos originan cambios de presiones que son percibidos por el pabellón auditivo y se conducen a través del conducto auditivo exterior llegando al tímpano y así se produce la vibración de esta membrana, entonces se da una onda sonora inicial que pasa de un cambio de presiones desde un medio aéreo a un medio líquido o acuoso, en consecuencia tenemos la percepción del sonido que los seres vivos experimentan.

Se presenta en escala logarítmica pues la percepción del oído humano a las diferentes presiones de intensidad de sonido no sigue una escala lineal sino logarítmica como se aprecia en la tabla 4.1. En un caso hipotético si una persona emite gritos con un decibel de medida, los gritos de tres personas no llevan a medir tres decibeles, el receptor del sonido percibe un sonido casi similar al de una sola persona, pues se define en este tipo de escala.

La unidad de medición del sonido es el decibel que es la unidad empleada en acústica, adimensional y matemáticamente escalar, sirve para medir el nivel de potencia y el nivel de intensidad del ruido.

El umbral de audición en seres humanos está en el nivel de 0 decibels mientras que el umbral de dolor está en 120 decibeles, todo esto se detalla en la tabla 4.1.

Tabla 4.1: Fuentes de Sonido.

Fuente: El Autor.

Fuentes de Sonido	Unidad Logarítmica (dB)
Umbral de Audición	0
Respiración Normal	10
Emisora Radial	20
Murmullos	30
Biblioteca	40
Conversación Normal	50
Televisión	60
Tráfico Intenso de Ciudad	70
Timbre	80
Maquinaria en Funcionamiento	90
Martillo Mecánico	100
Explosiones Pirotécnicas	110
Umbral del Dolor	120
Martillo neumático	130
Avión de Reacción	140
Motor de un Cohete Espacial	150

4.1.2.1 Eco

Es un fenómeno acústico que se presenta por la repetición de un sonido que se da debido a la reflexión en una superficie que está separada de la fuente emisora, se da en muros de mampostería de manera inevitable como en toda construcción a lo largo del mundo a excepción de las cámaras de grabación de audio y se define como el lapso de tiempo que se da entre el sonido emitido y el eco es de 100 milisegundos y el resultado es exactamente igual al de la fuente, en caso de no tener parecido y ser inaudible se denomina reverberación.

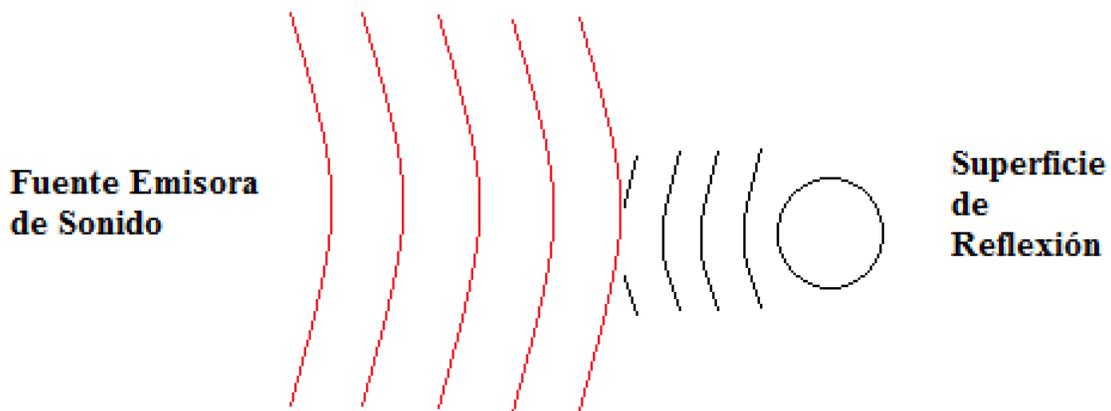


Figura 4.5: Reflexión de Sonido sobre una superficie ajena a la fuente emisora.

Fuente: El Autor

En el caso de mampostería para determinar las propiedades acústicas se usa la norma ASTM E492-09 “Laboratory Measurement of Impact Sound Transmission Through Floor-Ceiling Assemblies Using the Tapping Machine”

4.2 Ensayos mecánicos desarrollados en mampuestos con agregado de “FNFU”

El análisis de muestras de material compuesto de matriz cerámica con cargas de “FNFU” obtenidas previamente, es la parte más importante del estudio al que está sujeto el presente proyecto, los ensayos se realizaron en los talleres de la Universidad Politécnica Salesiana y las probetas correspondientes fueron realizadas bajo las normas requeridas para garantizar credibilidad en los datos.

4.2.1 Ensayo de compresión en cilindros desarrollados con agregado de “FNFU”

La compresión es la reacción que presenta todo elemento al disminuir su volumen por acción de un aumento en la presión ejercida sobre este como se aprecia en la figura 4.6, la forma idónea de saber el grado de oposición de un cuerpo a las fuerzas que tratan de deformarlo, es con un ensayo de compresión en donde se comprime el material hasta que llega a su límite máximo de resistencia.

El tipo de probeta utilizado como precursor de todo tipo de muestras a realizarse para posteriores ensayos de compresión ya que a través de la fabricación de este primer cilindro se puede conocer la factibilidad de la creación de elementos con la participación de agregados.

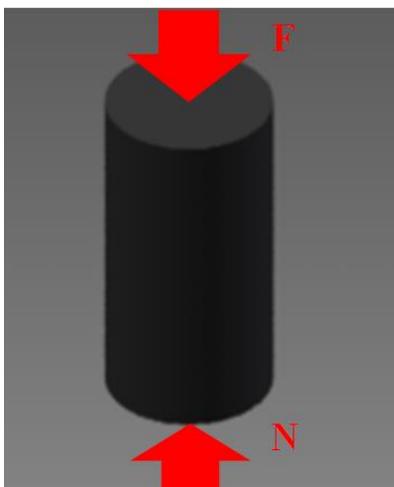


Figura 4.6: Ensayo de Compresión sobre un Cilindro de Concreto

Fuente: El Autor

4.2.2 Normativa

En consecuencia de las exigencias industriales internacionales y nacionales todo trabajo de fabricación debe seguir una norma que indique la correcta ejecución de las etapas indicadas en la normativa para lograr un excelente desempeño del elemento fabricado.

La normativa utilizada para este ensayo de compresión fue la norma ASTM C31 “Making and Curing Test Specimens in the Field ” y ASTM C172 “Sampling Freshly Mixing Concrete”.

4.2.3 Equipos y materiales

Estos ensayos fueron realizados sobre cada uno de los 24 cilindros de hormigón que fueron obtenidos como muestras, la figura 4.7 muestra las dimensiones finales de cada bloque además del aspecto definitivo que tiene cada uno de ellos antes de ser mecánicamente comprimidos.

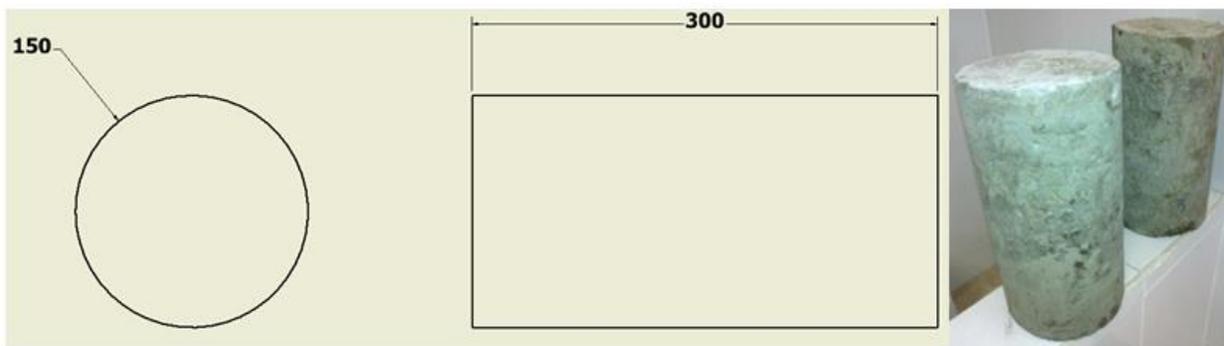


Figura 4.7: Muestra de Cilindro de Hormigón con agregado de “FNFU”

Fuente: El Autor

4.2.4 Procedimiento según la norma ASTM C172

Las etapas seguidas para los experimentos de compresión en cilindros con agregado de “FNFU” son las detalladas en la norma ASTM C172 “Sampling Freshly Mixing Concrete” y se detallan en la figura 4.8.

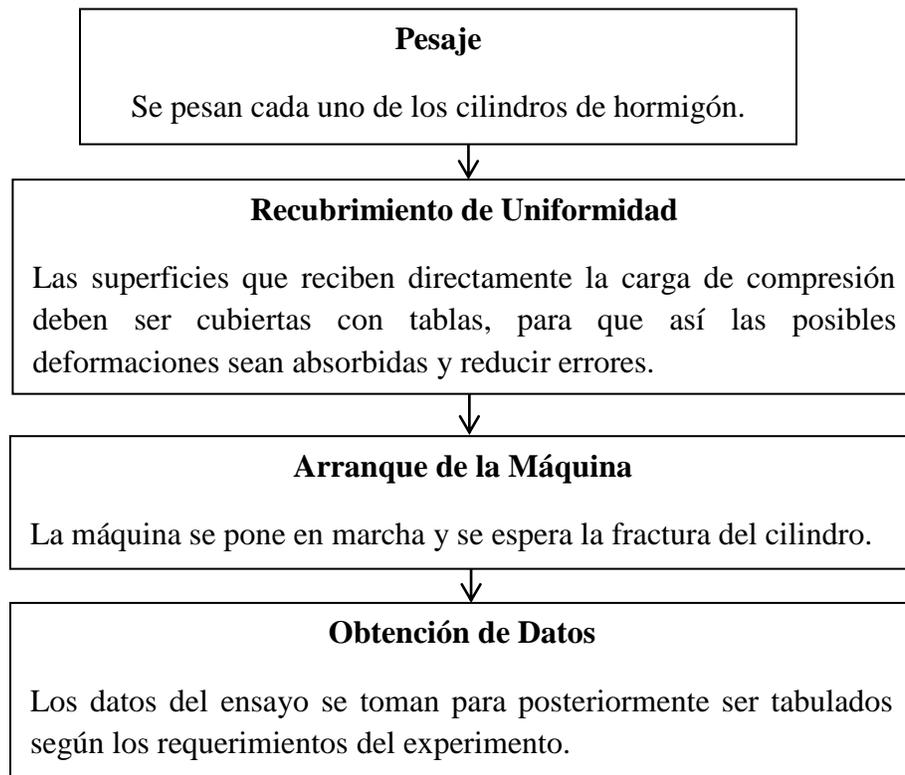


Figura 4.8: Procedimiento de un ensayo de compresión en cilindros de hormigón.

Fuente: El Autor

4.2.5 Resultados

Los datos de cada uno de los ensayos de compresión que se dieron en los cilindros se encuentran detallados en cada una de las tablas que se encuentran en el presente análisis, que fue dividido en experimentos que acogen la información de cada ensayo realizado de acuerdo al porcentaje de agregado de “FNFU” que tiene en su dosificación cada uno de los bloques.

4.2.5.1 Experimentación

Este primer experimento proporcionó datos que servirán de base y referencia para los posteriores ensayos que se realicen a las siguientes muestras, la tabla 4.2 muestra los datos base que fueron resultado de los ensayos realizados sobre bloques sin ningún tipo de agregado en su dosificación.

Tabla 4.2: Datos de compresión de cilindro con agregado de “FNFU”

Fuente: El Autor

	Porcentaje de Caucho Agregado						
	0%	20%	$\Delta d(\%)$	30%	$\Delta d(\%)$	40%	$\Delta d(\%)$
Media (MPa)	39,86	31,65	-20,61	29,26	-25,62	28,35	-28,88
Desviación Estándar (σ)	0,86	1,11	29,07	0,52	60,46	1,26	53,49
% Desviación Estándar ($\% \sigma$)	2,15	3,48	61,86	1,78	82,79	4,46	107,44

4.2.5.2 Análisis de Comportamiento Mecánico

Las probetas de concreto preparadas según la norma ASTM C31 y a su vez ensayadas según la norma ASTM C 172, dieron a conocer una disminución de resistencia a la compresión en función del porcentaje de caucho agregado.

Es posible una baja adherencia entre la matriz que tiene un mayor porcentaje en la mezcla, una baja elasticidad y el relleno que tiene una mayor elasticidad y un menor porcentaje de participación, esto se detalla de acuerdo a la fórmula 4.1 que detalla la Ley de mezclas, en donde se toma en cuenta además la fracción volumétrica de cada uno de los integrantes del compuesto.

$$\tau_c = \tau_m f_m + \tau_r f_r \quad [4.1]$$

En la figura 4.9 se muestra un diagrama esfuerzo-deformación unitaria en donde se pueden apreciar las distintas curvas que se dieron en cada uno de los casos de prueba para determinar resistencia a la compresión de cada una de las probetas citadas, como se puede ver la probeta que soporta la mayor carga de compresión es la probeta que no posee agregado de caucho en su mezcla mientras que la que posee mayor cantidad de agregado muestra una mayor deformación.

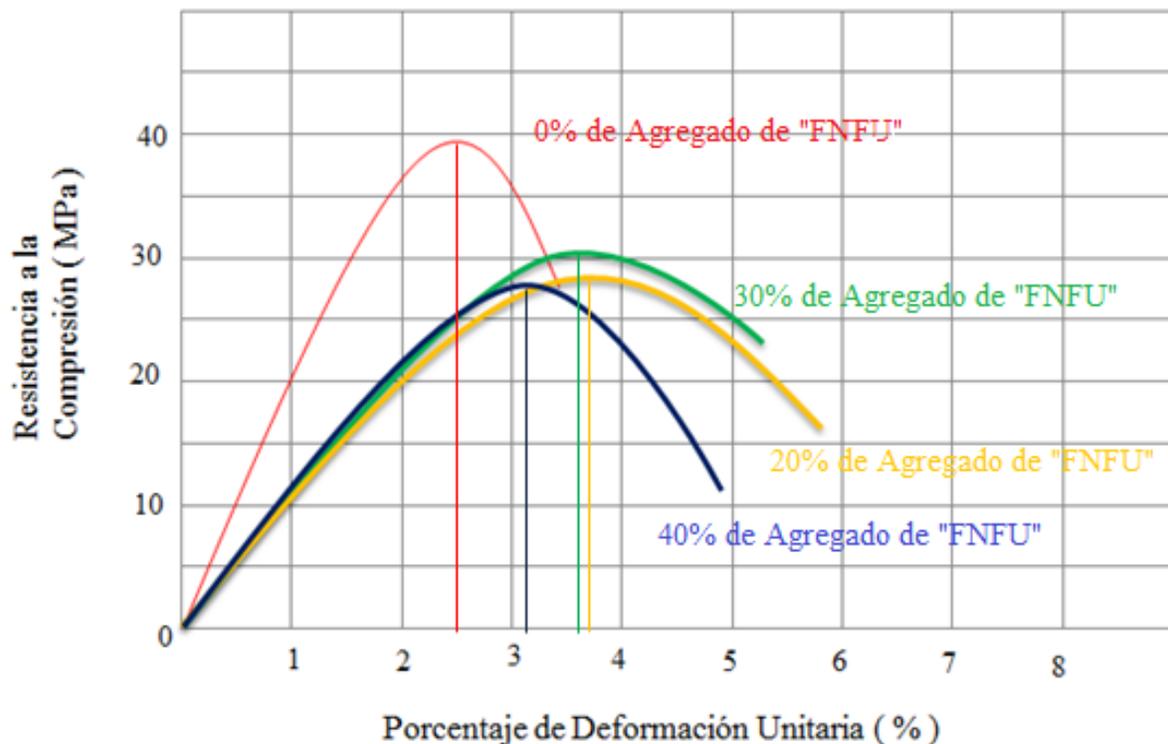


Figura 4.9: Gráfica de Esfuerzo-Deformación Unitaria de probetas con diferentes porcentajes de Agregado de Caucho. Fuente: El Autor

En la tabla 4.3 se indica los porcentajes aproximados de deformación unitaria que se aprecia en la figura 4.9, la fracción unitaria utilizada para este análisis fue la centésima de milímetro por lo que en la tabla citada se indica en porcentaje para indicar de mejor manera la deformación que no logra gran evidencia.

Tabla 4.3: Deformación Unitaria de probetas sujetas a Compresión

Fuente: El Autor

	Porcentaje de Caucho Agregado						
	0%	20%	$\Delta d(\%)$	30%	$\Delta d(\%)$	40%	$\Delta d(\%)$
Deformación Unitaria (%)	3,6	5,1	41,58	5,9	63,81	4,9	36,12

La figura 4.10 muestra la curva que denota el porcentaje de caucho agregado con su resistencia a la compresión, además de la fórmula que indica la curva de tendencia en donde se nota un decremento que da a entender bajas condiciones estructurales.

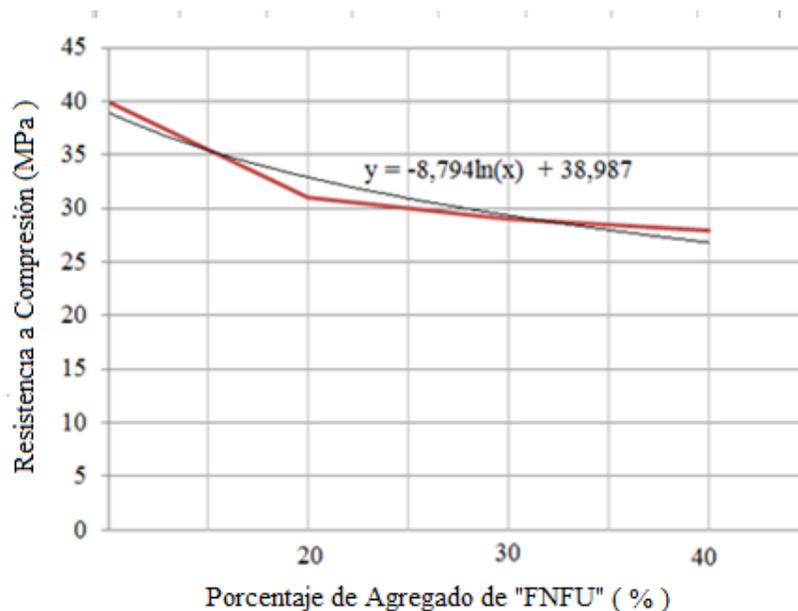


Figura 4.10: Gráfica de Resistencia a Compresión vs. Porcentaje de Caucho Agregado

Fuente: El Autor

4.3 Ensayo de compresión en bloques desarrollados con agregado de “FNFU”

En muros de mampostería es importante conocer su resistencia a la compresión, pues a simple vista no se cargan de forma significativa pero en realidad deben soportar su propio peso y el peso del resto de mampuestos que se colocan uno encima del anterior como se aprecia en la figura 4.11, por lo que se debe conocer cuál es la longitud de apilamiento máxima que puede soportar sin tener una deformación significativa.

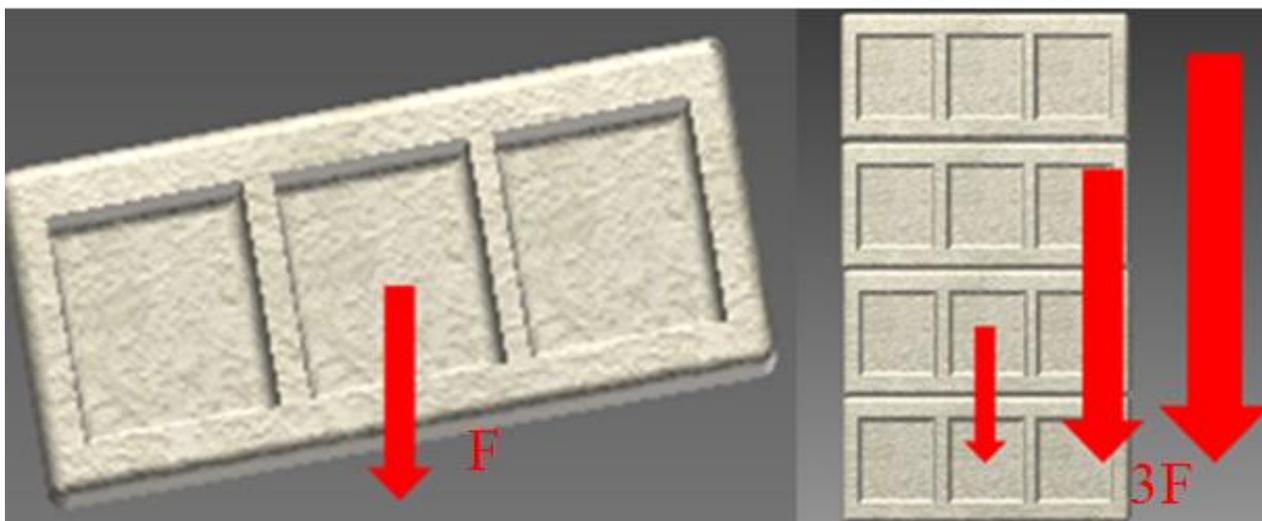


Figura 4.11: Incremento de peso por apilamiento en bloques

Fuente: El Autor

4.3.1 Normativa

En consecuencia de las exigencias industriales internacionales y nacionales todo trabajo de fabricación debe seguir una norma que indique la perfecta ejecución de las etapas estipuladas para lograr un excelente desempeño del elemento fabricado.

La normativa utilizada para este primer ensayo de compresión fue la norma INEN 640 “Bloques huecos de hormigón. Determinación de la resistencia a la compresión” y ASTM C140 “Métodos de ensayo para el muestreo y ensayos de bloques de hormigón de albañilería y unidades relacionadas”.

4.3.2 Equipos y materiales

Estos ensayos fueron realizados sobre cada uno de los 36 bloques de hormigón que fueron obtenidos como muestras, la figura 4.12 muestra las dimensiones finales de cada bloque además del aspecto definitivo que tiene cada uno de ellos antes de ser mecánicamente comprimidos.

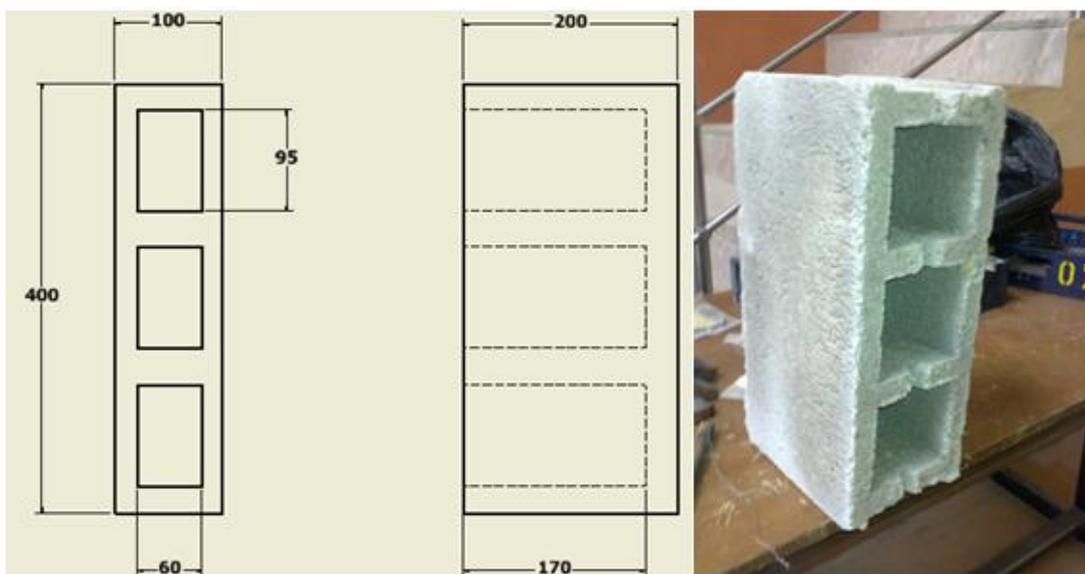


Figura 4.12: Muestra de bloque de hormigón con agregado de “FNFU”

Fuente: El Autor

En la tabla 4.4 se muestran los distintos bloques que se utilizaron con sus respectivos porcentajes de “FNFU” en su dosificación, en la cual además se indica el tamaño de agregado utilizado.

Los datos técnicos de la máquina de compresión utilizada en los ensayos de compresión están citados en la tabla 4.5, y fueron recopilados in situ y con escasa información de los laboratoristas.

Tabla 4.4: Descripción de bloques y porcentajes de agregado de “FNFU”

Fuente: El Autor.

	Tamaño de Agregado	Porcentaje de Agregado			
		0%	5%	10%	15%
Experimento 1A	Fino	2	-	-	-
Experimento 2A	Fino	-	2	-	-
Experimento 3A	Fino	-	-	2	-
Experimento 4A	Fino	-	-	-	2
Experimento 1B	Grueso	2	-	-	-
Experimento 2B	Grueso	-	2	-	-
Experimento 3B	Grueso	-	-	2	-
Experimento 4B	Grueso	-	-	-	2

Tabla 4.5: Datos de máquina de compresión “MetroCom”

Fuente: El Autor

Datos de Máquina de Compresión	
Marca	MetroCom
Año de Fabricación	2006
Lugar de Procedencia	Italia
Carga Máxima	3000 kN
Carrera Máxima	200 mm
Carrera Mínima	20 mm
Fecha de Calibración	24/04/2012
Interfaz	Activa
Volumen	1.3 m ³
Plataforma	Visual Basic



4.3.3 Procedimiento según la norma INEN 640

Las etapas seguidas para los experimentos de compresión en bloques con agregado de “FNFU” son las detalladas en la norma INEN 640 “Determinación de la resistencia a la compresión” y se detallan en la figura 4.13.

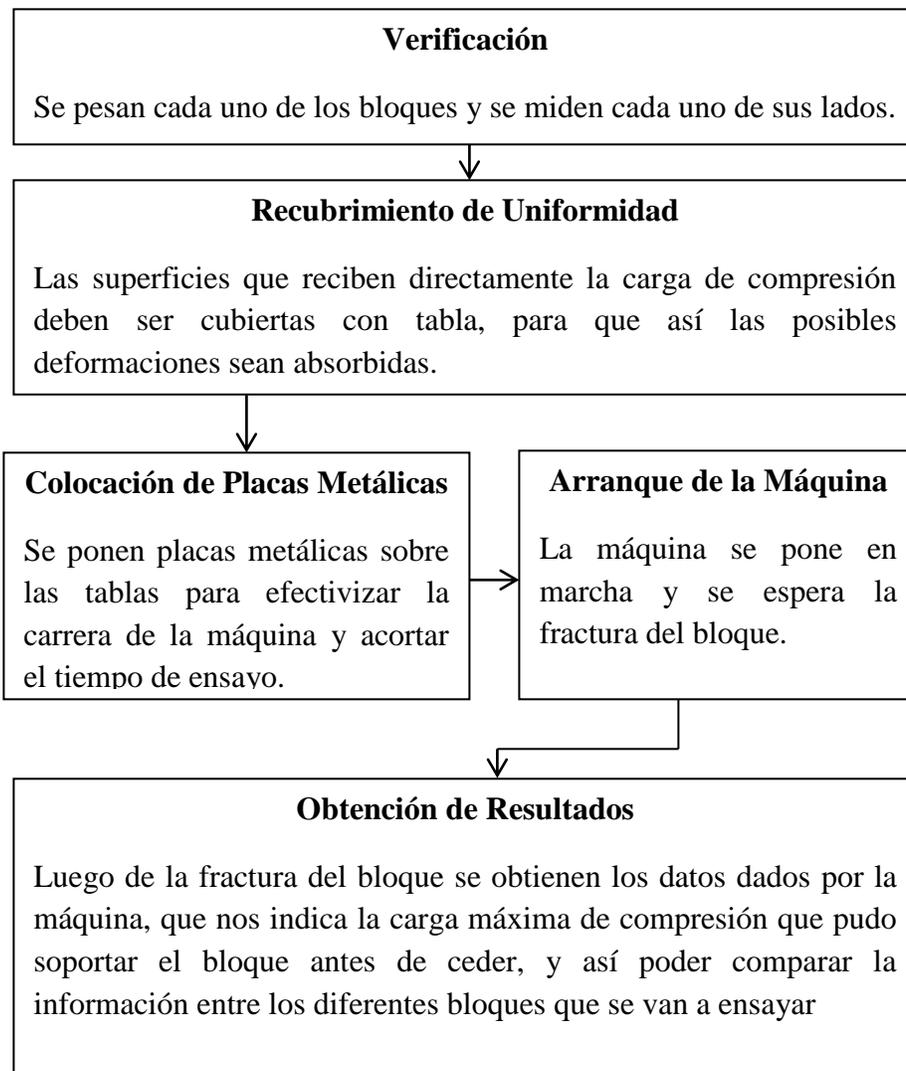


Figura 4.13: Procedimiento de un ensayo de compresión en bloques de hormigón.

Fuente: El Autor

4.3.4 Análisis de resultados

Los resultados de cada uno de los ensayos de compresión realizados se encuentran detallados en cada una de las tablas que se encuentran en el presente análisis, que fue dividido en experimentos que acogen la información de cada ensayo realizado de acuerdo al porcentaje de agregado de “FNFU” que tiene en su dosificación cada uno de los bloques.

4.3.4.1 Experimento 1A

Este primer experimento proporcionó datos que servirán de base y referencia para los posteriores ensayos que se realicen a las siguientes muestras, la tabla 4.6 muestra los datos base que fueron resultado de los ensayos realizados sobre bloques sin ningún tipo de agregado en su dosificación.

Tabla 4.6: Datos de compresión de bloque con 0% de agregado de “FNFU”

Fuente: El Autor

Edad (días)	Área de Contacto (mm ²)	Peso (kg)	Carga de Rotura (kN)	Resistencia Máxima (N/mm ²)
14	373800	5.49	43	9.4
14	373800	5.37	41	9.3

4.3.4.2 Experimento 2A

En este experimento se toma por primera vez en el ensayo datos de una variación respecto al anterior, en la tabla 4.5 se detallan la resistencia a compresión obtenida de los bloques que poseen 30% de agregado de "FNFU" en su dosificación, el signo negativo indica la disminución de la resistencia.

Tabla 4.7: Datos de compresión de bloques con 30% de agregado de “FNFU” fino.

Fuente: El Autor

Edad (días)	Área de Contacto (mm ²)	Peso (kg)	Carga de Rotura (kN)	Resistencia Máxima (N/mm ²)	Variación (%)
14	373800	3.91	24	6.2	-51.12
14	373800	3.94	23	6.2	-51.64

4.3.4.3 Experimento 3A

Los bloques que poseen 40% de agregado fino de "FNFU" en su dosificación fueron los siguientes en ensayarse, sus datos se observan en la tabla 4.8, en donde se observa una mejoría en su resistencia a la compresión.

Tabla 4.8: Datos de compresión de bloques con 40% de agregado de “FNFU” fino.

Fuente: El Autor

Edad (días)	Área de Contacto (mm ²)	Peso (kg)	Carga de Rotura (kN)	Resistencia Máxima (N/mm ²)	Variación (%)
14	373800	3.11	32	8.4	-30.44
14	373800	3.09	32	8.4	-31.18

4.3.4.4 Experimento 4A

La carga más alta que se pudo aplicar al mampuesto sin que sea inmanejable fue el 50% de agregado fino de "FNFU" en su dosificación, lo que favoreció en una disminución de su peso, los datos de este experimento se pueden verificar en la tabla 4.9.

Tabla 4.9: Datos de compresión de bloques con 50% de agregado de “FNFU” fino.

Fuente: El Autor

Edad (días)	Área de Contacto (mm ²)	Peso (kg)	Carga de Rotura (kN)	de Resistencia (N/mm ²)	Máxima Variación (%)
14	373800	2.83	35	8.5	29.52
14	373800	2.56	33	8.4	31.18

4.3.4.5 Experimento 1B

Este experimento es la referencia utilizada para el resto de experimentos posteriores en donde los porcentajes de agregado de “FNFU” empiezan a incrementarse, la tabla 4.10 reúne los datos de este ensayo inicial.

Tabla 4.10: Datos de compresión de bloque con 0% de agregado grueso de “FNFU”

Fuente: El Autor

Edad (días)	Área de Contacto (mm ²)	Peso (kg)	Carga de Rotura (kN)	de Resistencia (N/mm ²)	Máxima
14	373800	5.49	43	9.4	
14	373800	5.37	41	9.3	

4.3.4.6 Experimento 2B

La resistencia máxima a la compresión no se incrementa con un porcentaje de 30% de agregado grueso de “FNFU” en la dosificación de los bloques de muestra como se ve en la tabla 4.11, por lo que se prosigue con nuevos porcentajes que dan posteriores resultados de experimentación.

Tabla 4.11: Datos de compresión de bloque con 30% de agregado grueso de “FNFU”

Fuente: El Autor

Edad (días)	Área de Contacto (mm ²)	Peso (kg)	Carga de Rotura (kN)	de Resistencia (N/mm ²)	Máxima	Variación (%)
14	373800	3.87	28	6.9		-44.54
14	373800	3.85	28	6.9		-45.23

4.3.4.7 Experimento 3B

La variación de resistencia máxima a la compresión no tuvo ninguna mejoría al incrementar el porcentaje de agregado grueso de “FNFU” a un 40% como se ve en la tabla 4.12, la resistencia no se ve favorecida por las fibras de agregado.

Tabla 4.12: Datos de compresión de bloque con 40% de agregado grueso de “FNFU”

Fuente: El Autor

Edad (días)	Área de Contacto (mm ²)	Peso (kg)	Carga de Rotura (kN)	de Resistencia (N/mm ²)	Máxima	Variación (%)
14	373800	3.15	35	8.4		-30.44
14	373800	3.18	33	8.4		-31.18

4.3.4.8 Experimento 4B

El porcentaje de agregado grueso de 50% de “FNFU” en la dosificación de los bloques ensayados dio mejores resultados numéricos que los anteriores experimentos, la tabla 4.13 muestra los datos obtenidos en estos mampuestos.

Tabla 4.13: Datos de compresión de bloque con 50% de agregado grueso de “FNFU”

Fuente: El Autor

Edad (días)	Área de Contacto (mm ²)	Peso (kg)	Carga de Rotura (kN)	Resistencia (N/mm ²)	Máxima Variación (%)
14	373800	2.85	38	8.9	-25.74
14	373800	2.88	37	8.9	-26.73

4.4 Ensayo de compresión en paneles desarrollados con agregado de “FNUF”

La compresión es la reacción que presenta todo elemento al disminuir su volumen por acción de un aumento en la presión ejercida sobre el cuerpo sobre el que se está experimentando.

4.4.1 Normativa

La normativa utilizada para este primer ensayo de compresión en paneles fue la norma INEN 1484 “Muestreo de adoquines” y ASTM C140 “Métodos de ensayo para el muestreo y ensayos de bloques de hormigón de albañilería y unidades relacionadas”.

4.4.2 Equipos y materiales

Estos ensayos fueron realizados sobre cada uno de los 36 paneles de hormigón que fueron obtenidos como muestras. Los datos técnicos de la máquina de compresión utilizada en los ensayos de compresión están citados en la tabla 4.14, y fueron recopilados de la placa de la máquina.

Tabla 4.14: Descripción de paneles y porcentajes de agregado de “FNFU”

Fuente: El Autor.

	Tamaño de Agregado	Porcentaje de Agregado			
		0%	30%	40%	50%
Experimento IC	Grueso	2	2	2	2
Experimento ID	Fino	2	2	2	2

4.4.3 Procedimiento según la norma ASTM C140

Las etapas seguidas para los experimentos de compresión en paneles con agregado de “FNFU” son las detalladas en la norma ASTM C140 “Métodos de ensayo para el muestreo y ensayos de bloques de hormigón de albañilería y unidades relacionadas”.

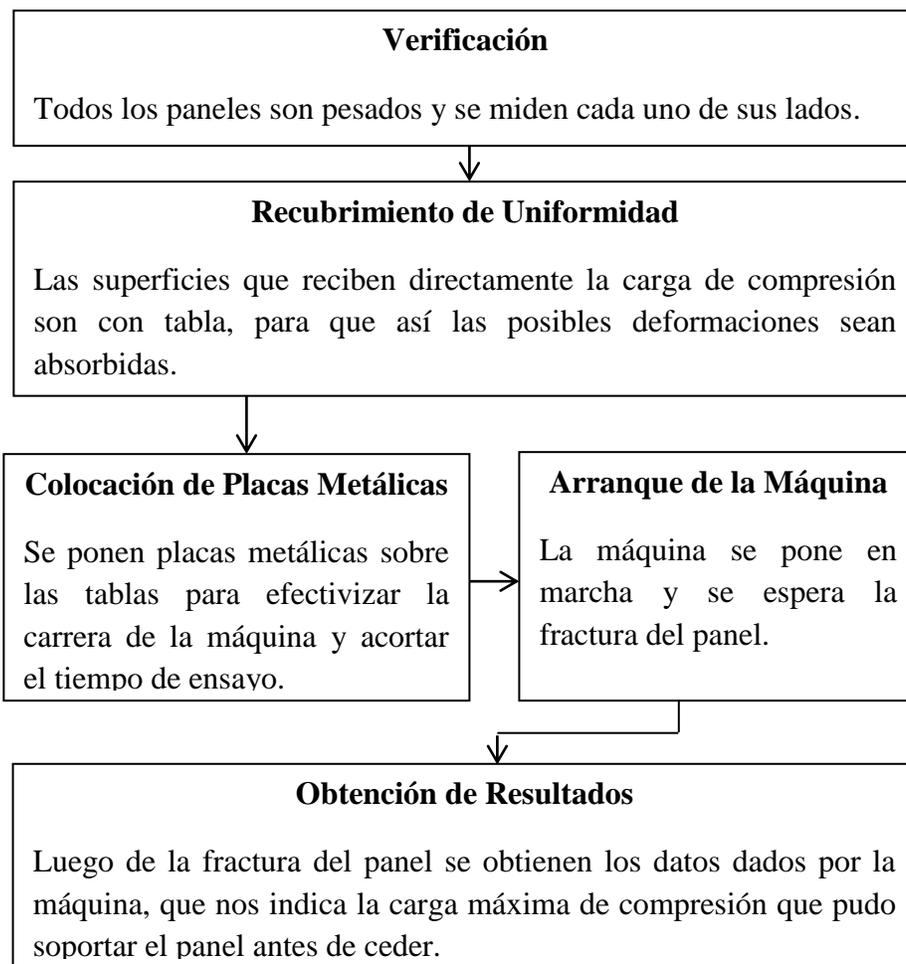


Figura 4.14: Procedimiento de un ensayo de compresión en paneles de hormigón.

Fuente: El Autor

4.4.4 Análisis de resultados

Los resultados de cada uno de los ensayos de compresión realizados se encuentran detallados en cada una de las tablas que se encuentran en el presente análisis, que fue dividido en experimentos que acogen la información de cada ensayo realizado de acuerdo al porcentaje de agregado de “FNFU” que tiene en su dosificación cada uno de los paneles.

4.4.4.1 Experimento 1C

Este primer experimento proporcionó datos que servirán de base y referencia para los posteriores ensayos que se realicen a las siguientes muestras, la tabla 4.15 muestra los datos base que fueron resultado de los ensayos realizados sobre paneles sin ningún tipo de agregado en su dosificación.

Tabla 4.15: Datos de compresión de paneles con 0% de agregado de “FNFU”

Fuente: El Autor

Edad (días)	Área de Contacto (mm ²)	Peso (kg)	Carga de Rotura (kN)	Resistencia Máxima (N/mm ²)
28	90000	3.23	2294	23.8
28	90000	3.12	2286	24.6

4.4.4.2 Experimento 2C

En este experimento se toma por primera vez en el ensayo datos de una variación respecto al anterior, en la tabla 4.16 se detallan la resistencia a compresión obtenida de los paneles que poseen 5% de agregado de "FNFU" en su dosificación, el signo negativo indica la disminución de la resistencia.

Tabla 4.16: Datos de compresión de paneles con 5% de agregado de “FNFU” fino.

Fuente: El Autor

Edad (días)	Área de Contacto (mm ²)	Peso (kg)	Carga de Rotura (kN)	de Resistencia (N/mm ²)	Máxima Variación (%)
28	90000	3.23	2124	23.6	-5.12
28	90000	3.12	2122	23.5	-4.89

4.4.4.3 Experimento 3C

Los paneles que poseen 10% de agregado fino de "FNFU" en su dosificación fueron los siguientes en ensayarse, sus datos se observan en la tabla 4.17, en donde se observa una mejoría en su resistencia a la compresión.

Tabla 4.17: Datos de compresión de paneles con 10% de agregado de “FNFU” fino.

Fuente: El Autor

Edad (días)	Área de Contacto (mm ²)	Peso (kg)	Carga de Rotura (kN)	de Resistencia (N/mm ²)	Máxima Variación (%)
28	90000	2.96	2130	23.7	-5.23
28	90000	2.98	2131	23.7	-4.11

4.4.4.4 Experimento 4C

La carga más alta que se pudo aplicar al mampuesto sin que sea inmanejable fue el 15% de agregado fino de "FNFU" en su dosificación, lo que favoreció en una disminución de su peso, los datos de este experimento se pueden verificar en la tabla 4.18.

Tabla 4.18: Datos de compresión de paneles con 15% de agregado de “FNFU” fino.

Fuente: El Autor

Edad (días)	Área de Contacto (mm ²)	Peso (kg)	Carga de Rotura (kN)	de Resistencia (N/mm ²)	Máxima Variación (%)
28	90000	2.75	2973	31.1	11.4
28	90000	2.73	2975	31.1	12.3

4.4.4.5 Experimento 1D

Este experimento es la referencia utilizada para el resto de experimentos posteriores en donde los porcentajes de agregado de “FNFU” empiezan a incrementarse, la tabla 4.19 reúne los datos de este ensayo inicial.

Tabla 4.19: Datos de compresión de panel con 0% de agregado grueso de “FNFU”

Fuente: El Autor

Edad (días)	Área de Contacto (mm ²)	Peso (kg)	Carga de Rotura (kN)	de Resistencia (N/mm ²)	Máxima
28	90000	3.23	2294	23.8	
28	90000	3.12	2286	24.6	

4.4.4.6 Experimento 2D

La resistencia máxima a la compresión no se incrementa con un porcentaje de 5% de agregado grueso de “FNFU” en la dosificación de los paneles de muestra como se ve en la tabla 4.20, por lo que se prosigue con nuevos porcentajes que dan posteriores resultados de experimentación.

Tabla 4.20: Datos de compresión de panel con 5% de agregado grueso de “FNFU”

Fuente: El Autor

Edad (días)	Área de Contacto (mm ²)	Peso (kg)	Carga de Rotura (kN)	de Resistencia (N/mm ²)	Máxima Variación (%)
28	90000	3.23	2124	23.6	-1.2
28	90000	3.12	2122	23.5	-1.1

4.4.4.7 Experimento 3D

La variación de resistencia máxima a la compresión no tuvo ninguna mejoría al incrementar el porcentaje de agregado grueso de “FNFU” a un 10% como se ve en la tabla 4.21, la resistencia no se ve favorecida por las fibras de agregado.

Tabla 4.21: Datos de compresión de bloque con 10% de agregado grueso de “FNFU”

Fuente: El Autor

Edad (días)	Área de Contacto (mm ²)	Peso (kg)	Carga de Rotura (kN)	de Resistencia (N/mm ²)	Máxima Variación (%)
28	90000	2.96	2130	23.7	0.15
28	90000	2.98	2131	23.7	0.13

4.4.4.8 Experimento 4D

El porcentaje de agregado grueso de 15% de “FNFU” en la dosificación de los paneles ensayados dio mejores resultados numéricos que los anteriores experimentos, la tabla 4.22 muestra los datos obtenidos en estos mampuestos.

Tabla 4.22: Datos de compresión de panel con 15% de agregado grueso de “FNFU”

Fuente: El Autor

Edad (días)	Área de Contacto (mm ²)	Peso (kg)	Carga de Rotura (kN)	Resistencia (N/mm ²)	Máxima Variación (%)
28	90000	2.71	2965	32.4	12.4
28	90000	2.73	3961	32.1	11.9

4.5 Ensayos acústicos desarrollados en mampuestos con agregado de “FNFU”

El análisis de muestras de material compuesto de matriz cerámica con cargas de “FNFU” obtenidas previamente, es la parte más importante del estudio al que está sujeto el presente proyecto, los ensayos se realizaron en los talleres de la Universidad Politécnica Salesiana y las probetas correspondientes fueron realizadas bajo las normas requeridas para garantizar credibilidad en los datos.

4.5.1 Ensayo acústico en paneles desarrollados con agregado de “FNUF”

Los paneles elaborados tienen forma cuadrada con 300 mm de lado y 10 mm de espesor, la razón para que los paneles tengan estas dimensiones fue la disposición de distintos anclajes que son necesarios para la fijación de los mismos, así como el peso necesario para que estos sean manipulados sin que se afecte su estructura como se observa en la figura 4.15, su importancia como aislante acústico está en poder garantizar la privacidad de un confinamiento.

La elaboración de paneles es parecida a la que se dio en los bloques con la única diferencia de los moldes, ya que en la elaboración de los paneles fue necesario la fabricación de un muy complejo molde, difícil de construir pero a su vez fácil de remover, este es fijo y necesita que todo el tiempo de curado transcurra para ser retirado sin causar problemas en los paneles.

4.5.2 Normativa

La normativa utilizada para este ensayo acústico ASTM E492-09 “Laboratory Measurement of Impact Sound Transmission Through Floor-Ceiling Assemblies using the Tapping Machine”.

4.5.3 Equipos y materiales

El ensayo acústico fue realizado sobre cada uno de los 36 paneles de hormigón que fueron obtenidos como muestras, la figura 4.15 muestra las dimensiones finales de cada bloque además del aspecto definitivo que tiene cada uno de ellos antes de ser ensayados.

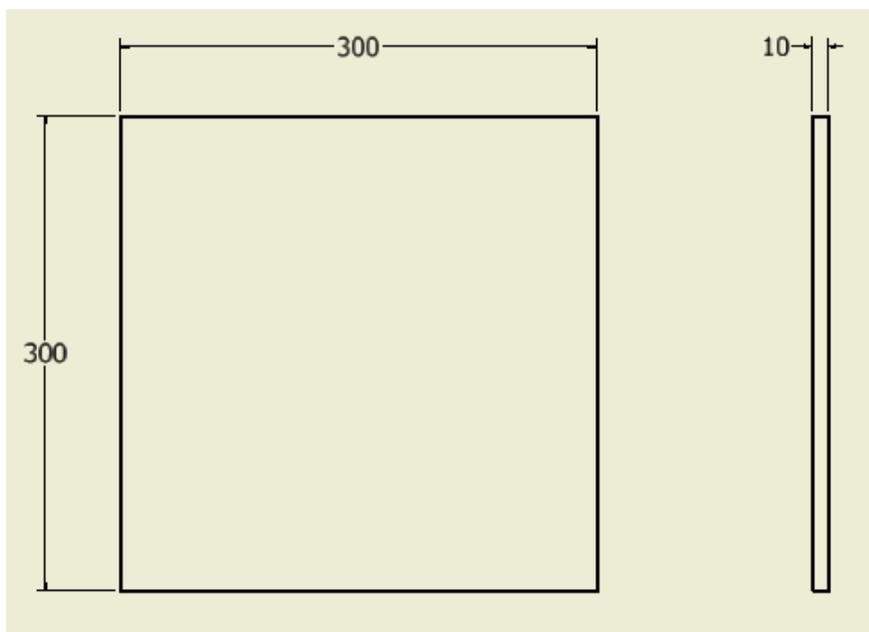


Figura 4.15: Muestra de panel de hormigón con agregado de “FNFU”

Fuente: El Autor

En la tabla 4.23 se muestran los distintos bloques que se utilizaron con sus respectivos porcentajes de “FNFU” en su dosificación, en la cual además se indica el tamaño de agregado utilizado.

Tabla 4.23: Descripción de paneles y porcentajes de agregado de “FNUF”

Fuente: El Autor.

	Tamaño de Agregado	Porcentaje de Agregado			
		0%	5%	10%	15%
Experimento 1E	Fino	6	-	-	-
Experimento 2E	Fino	-	6	-	-
Experimento 3E	Fino	-	-	6	-
Experimento 4E	Fino	-	-	-	6
Experimento 1F	Grueso	6	-	-	-
Experimento 2F	Grueso	-	6	-	-
Experimento 3F	Grueso	-	-	6	-
Experimento 4F	Grueso	-	-	-	6

La maqueta mostrada en la figura 4.16 fue elaborada bajo los mandatos dados en la norma ASTM E492-09 reduciendo su escala en lo permitido hasta el tamaño de cada uno de los paneles de concreto con agregado de FNUF fabricados en este proyecto para su posterior ensayo.



Figura 4.16: Diseño de maqueta para ensayo acústico en paneles

Fuente: El Autor

4.5.4 Procedimiento según la norma ASTM E492-09

Las etapas seguidas para los ensayos acústicos en bloques con agregado de “FNFU” son las detalladas en la norma ASTM E492-09 “Laboratory Measurement of Impact Sound Transmission Through Floor-Ceiling Assemblies using the Tapping Machine”.

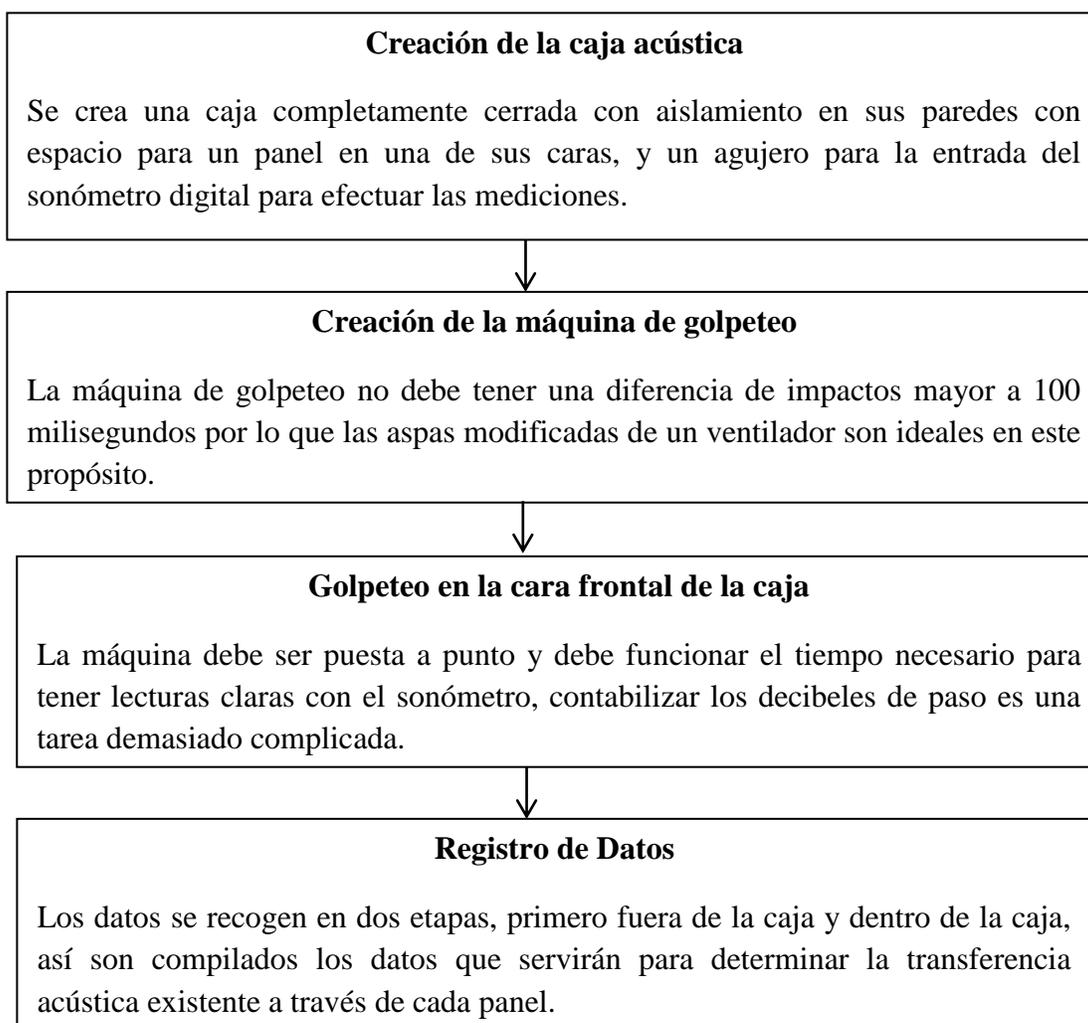


Figura 4.17: Procedimiento de un ensayo acústico en paneles de hormigón.

Fuente: El Autor

4.5.5 Análisis de resultados

Los resultados de cada uno de los ensayos acústicos realizados se encuentran detallados en cada una de las tablas que se encuentran este análisis, que fue dividido en experimentos que acogen la información de cada ensayo realizado de acuerdo al porcentaje de agregado de “FNFU” que tiene en su dosificación cada uno de los paneles.

4.5.5.1 Experimento 1E

Este primer experimento proporcionó datos que servirán de base y referencia para los posteriores ensayos que se realicen a las siguientes muestras, la tabla 4.24 muestra los datos base que fueron resultado de los ensayos realizados sobre paneles sin ningún tipo de agregado en su dosificación.

Tabla 4.24: Datos de ensayo acústico en paneles con 0% de agregado de “FNFU”

Fuente: El Autor

Edad (días)	Área de Contacto (mm ²)	Peso (kg)	Porcentaje de Aislamiento (%)	de Media
28	90000	3.22	15.23	
28	90000	3.21	11.55	
28	90000	3.11	13.26	11.15
28	90000	3.12	10.34	
28	90000	3.24	6.53	
28	90000	3.19	9.78	

4.5.5.2 Experimento 2E

En este experimento se toma por primera vez en el ensayo datos de una variación respecto al anterior, en la tabla 4.25 se detallan la resistencia a compresión obtenida de los paneles que poseen 5% de agregado de "FNFU" en su dosificación, el signo negativo indica la disminución de la resistencia.

Tabla 4.25: Datos de ensayo acústico en paneles con 5% de agregado fino de "FNFU"

Fuente: El Autor

Edad (días)	Área de Contacto (mm ²)	Peso (kg)	Porcentaje de Aislamiento (%)	Media
28	90000	3.22	24.33	
28	90000	3.21	26.46	
28	90000	3.11	26.45	26.99
28	90000	3.12	26.22	
28	90000	3.24	28.65	
28	90000	3.19	29.87	

4.5.5.3 Experimento 3E

En este experimento se toma por primera vez en el ensayo datos de una variación respecto al anterior, en la tabla 4.26 se detallan la resistencia a compresión obtenida de los paneles que poseen 10% de agregado de "FNFU" en su dosificación, el signo negativo indica la disminución de la resistencia.

Tabla 4.26: Datos de ensayo acústico en paneles con 10% de agregado fino de “FNFU”

Fuente: El Autor

Edad (días)	Área de Contacto (mm ²)	Peso (kg)	Porcentaje de Aislamiento (%)	Media
28	90000	3.23	24.69	28.35
28	90000	3.19	26.46	
28	90000	3.18	26.45	
28	90000	3.19	28.71	
28	90000	3.27	31.23	
28	90000	3.19	32.47	

4.5.5.4 Experimento 4E

En este experimento se toma por primera vez en el ensayo datos de una variación respecto al anterior, en la tabla 4.27 se detallan la resistencia a compresión obtenida de los paneles que poseen 15% de agregado de "FNFU" en su dosificación, el signo negativo indica la disminución de la resistencia.

Tabla 4.27: Datos de ensayo acústico en paneles con 15% de agregado fino de “FNFU”

Fuente: El Autor

Edad (días)	Área de Contacto (mm ²)	Peso (kg)	Porcentaje de Aislamiento (%)	Media
28	90000	2.23	34.79	32.77
28	90000	2.56	36.46	
28	90000	2.58	29.45	
28	90000	2.19	32.61	
28	90000	2.87	31.23	
28	90000	2.69	32.11	

4.5.5.5 Experimento 1F

Este primer experimento proporcionó datos que servirán de base y referencia para los siguientes ensayos que se realicen a las siguientes muestras, la tabla 4.28 muestra los datos base que fueron resultado de los ensayos realizados sobre paneles sin ningún tipo de agregado en su dosificación.

Tabla 4.28: Datos de ensayo acústico en paneles con 0% de agregado de "FNFU"

Fuente: El Autor

Edad (días)	Área de Contacto (mm ²)	Peso (kg)	Porcentaje de Aislamiento (%)	Media
28	90000	3.22	15.23	
28	90000	3.21	11.55	
28	90000	3.11	13.26	11.15
28	90000	3.12	10.34	
28	90000	3.24	6.53	
28	90000	3.19	9.78	

4.5.5.6 Experimento 2F

En este experimento se toma por primera vez en el ensayo datos de una variación respecto al anterior, en la tabla 4.29 se detallan la resistencia a compresión obtenida de los paneles que poseen 5% de agregado de "FNFU" en su dosificación, el signo negativo indica la disminución de la resistencia.

Tabla 4.29: Datos de ensayo acústico en paneles con 5% de agregado grueso de “FNFU”

Fuente: El Autor

Edad (días)	Área de Contacto (mm ²)	Peso (kg)	Porcentaje de Aislamiento (%)	Media
28	90000	2.98	24.89	27.72
28	90000	3.01	25.67	
28	90000	2.87	26.99	
28	90000	2.96	29.23	
28	90000	2.91	29.69	
28	90000	3.03	29.87	

4.5.5.7 Experimento 3F

La tabla 4.30 muestra una considerable disminución de peso en sus paneles y un aislamiento acústico que demuestra la acertada decisión de colocar fibras de “FNFU” dentro de la dosificación de cada panel de concreto.

Tabla 4.30: Datos de ensayo acústico en paneles con 10% de agregado grueso de “FNFU”

Fuente: El Autor

Edad (días)	Área de Contacto (mm ²)	Peso (kg)	Porcentaje de Aislamiento (%)	Media
28	90000	2.98	26.87	29.86
28	90000	2.96	29.87	
28	90000	2.94	29.89	
28	90000	2.87	30.04	
28	90000	2.88	31.55	
28	90000	3.09	30.98	

4.5.5.8 Experimento 4F

Esta dosificación fue el porcentaje de fibras de “FNFU” más alto que se pudo manejar, en la tabla 4.31 se detallan la resistencia a compresión obtenida de los paneles que poseen 15% de agregado de "FNFU" en su mezcla.

Tabla 4.31: Datos de ensayo acústico en paneles con 15% de “FNFU” grueso

Fuente: El Autor

Edad (días)	Área de Contacto (mm ²)	Peso (kg)	Porcentaje de Aislamiento (%)	Media
28	90000	2.71	34.76	
28	90000	2.73	36.99	
28	90000	2.76	29.99	32.13
28	90000	2.87	32.61	
28	90000	2.98	31.87	
28	90000	2.97	32.55	

4.5.5.9 Análisis de Comportamiento Acústico

La dosificación del porcentaje de fibras de “FNFU” se indica en la tabla 4.32 donde se muestra los resultados obtenidos, así como una comparación porcentual que indica la variación dada con porcentajes de agregado más altos que el inicial.

Tabla 4.32: Datos de comportamiento acústico de paneles con agregado de “FNFU”

Fuente: El Autor

	Porcentaje de Caucho Agregado						
	0%	5%	$\Delta d(\%)$	10%	$\Delta d(\%)$	15%	$\Delta d(\%)$
Media (% dB)	11,15	27,72	148,61	29,86	167,80	32,13	188,16
Desviación Estándar (σ)	0,86	1,99	131,39	2,47	187,46	3,05	254,65
% Desviación Estándar ($\% \sigma$)	2,15	7,18	233,95	5,6	-17,31	9,37	335,81

El caucho grueso fue el tipo de caucho que dio mejores resultados de aislamiento por lo que sus datos se utilizaron en la tabla 4.18, el porcentaje de decibeles absorbidos por la composición en la que se incluyeron fibras de “FNFU” es mayor que en la mezcla de hormigón original como se puede apreciar en la figura 4.15.

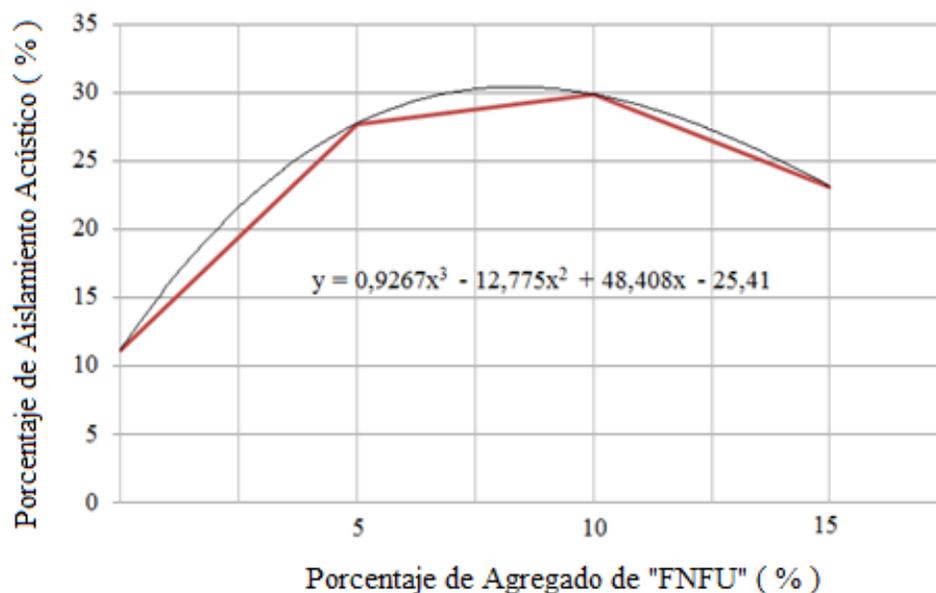


Figura 4.18: Gráfica de Aislamiento Acústico en Paneles con fibras de “FNFU”

Fuente: El Autor

La figura 4.15 muestra además la fórmula que sigue la curva de tendencia, indicando un aislamiento acústico mayor al utilizar un 10% de fibras gruesas de “FNFU”, pero al notar un porcentaje de desviación estándar cercano al 10% en la tabla 4.30, se puede deducir que existieron problemas de manufactura, errores de porcentaje por lo cual se justifica que la línea de tendencia sufra una caída en su parte final.

4.6 Ensayo de transferencia de calor en cilindros con agregado de “FNUF”

Los cilindros con agregado de “FNFU” elaborados tienen un diámetro de 30 mm y una altura de 30mm, estas dimensiones son dictadas por su compendio general.

La elaboración de cilindros es parecida a la que se dio en los paneles con la única diferencia de los moldes, ya que en la elaboración de los paneles fue necesario la fabricación de un muy complejo molde, difícil de construir pero a su vez fácil de remover, este es fijo y necesita que todo el tiempo de curado transcurra para ser retirado sin causar problemas en los paneles en cambio los moldes de cilindros son muy fáciles de fabricar.

4.6.1 Normativa

El procedimiento de ensayo de los cilindros con agregado de “FNFU” fue tomado del “COMPENDIO DESCRIPTIVO DE EQUIPOS Y GUÍAS DE PRÁCTICA” del equipo HTC10X, ya que en este equipo fue en donde se realizaron los experimentos de cada una de las muestras y tiene su propio procedimiento.

4.6.2 Equipos y materiales

El ensayo de transferencia térmica fue realizado sobre cada uno de los 36 cilindros de hormigón que fueron obtenidos como muestras, la figura 4.19 muestra las dimensiones finales de cada cilindro.

La figura 4.19 muestra las dimensiones finales de cada molde, los cuales no tienen paredes sin ningún tipo de porosidades pues el aire es un aislante térmico natural que causa malas lecturas al momento de un ensayo de transferencia de calor

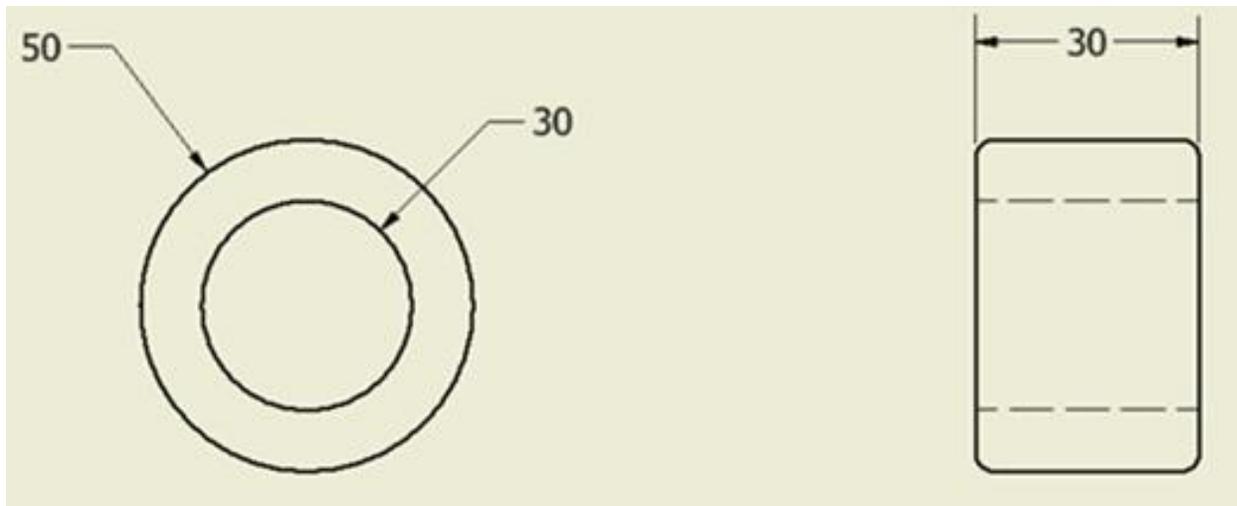


Figura 4.19: Muestra de molde de cilindro de hormigón con agregado de “FNFU”

Fuente: El Autor

En la tabla 4.33 se muestran los distintos cilindros y sus dosificaciones que fueron utilizadas con sus respectivos porcentajes de “FNFU” en su dosificación, en la cual además se indica el tamaño de agregado utilizado, en la figura 4.20 se muestra el equipo de transferencia de calor HTC10X en el cual se realizaron los ensayos sobre cada uno de los cilindros de hormigón.

Tabla 4.33: Descripción de paneles y porcentajes de agregado de “FNFU”

Fuente: El Autor.

	Tamaño de Agregado	Porcentaje de Agregado			
		0%	5%	10%	15%
Experimento 1G	Fino	6	-	-	-
Experimento 2G	Fino	-	6	-	-
Experimento 3G	Fino	-	-	6	-
Experimento 4G	Fino	-	-	-	6
Experimento 1H	Grueso	6	-	-	-
Experimento 2H	Grueso	-	6	-	-
Experimento 3H	Grueso	-	-	6	-
Experimento 4H	Grueso	-	-	-	6



Figura 4.20: Equipo de transferencia de calor HT10XC

Fuente: El Autor

4.6.3 Procedimiento según la guía de práctica “COMPENDIO DESCRIPTIVO DE EQUIPOS Y GUÍAS DE PRÁCTICAS” del equipo HTC-10X

Las etapas seguidas para el ensayo de transferencia de calor en cilindros con agregado de “FNFU” son las detalladas en el compendio descriptivo del equipo HTC10XC y se muestran en la figura 4.21.

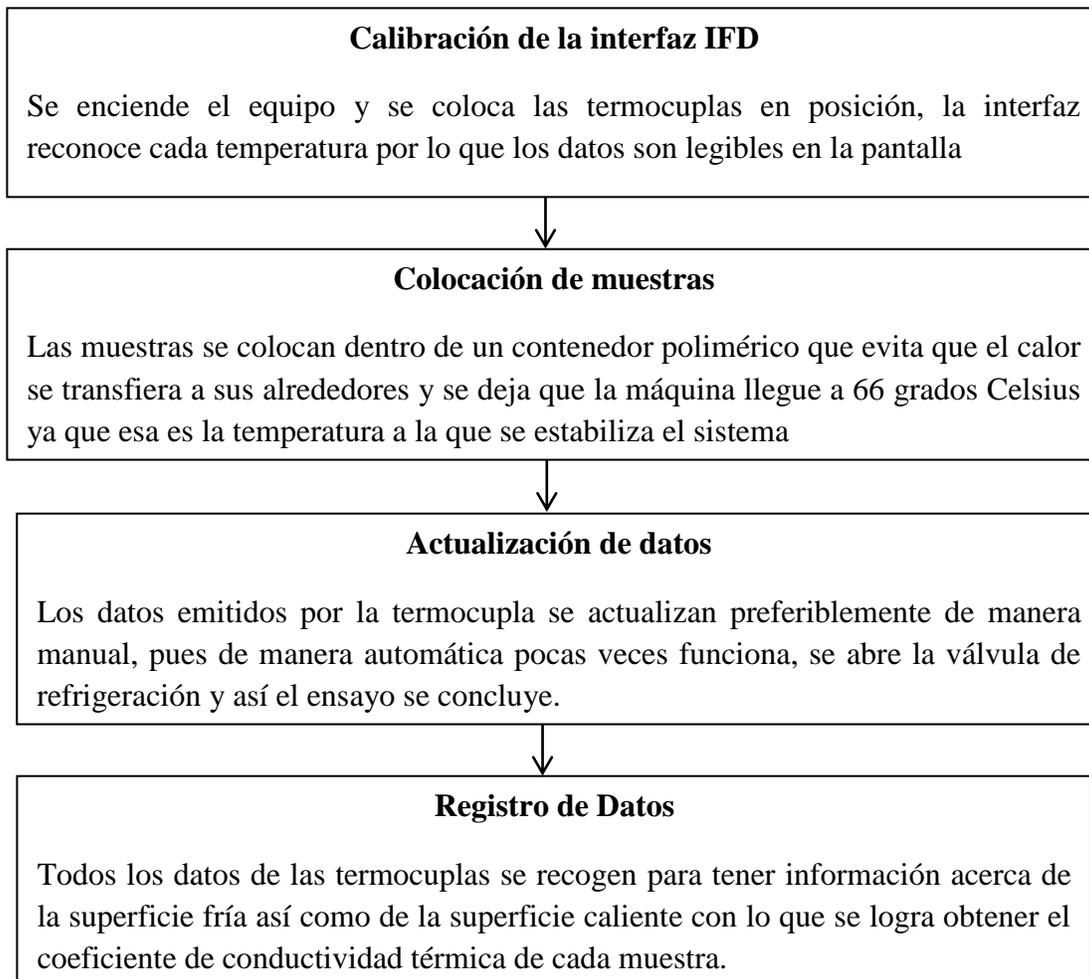


Figura 4.21: Proceso de ensayo de transferencia de calor en cilindros de hormigón.

Fuente: El Autor

4.6.4 Análisis de resultados

Los resultados de cada uno de los ensayos de transferencia de calor realizados se encuentran detallados en las tablas que se encuentran ordenadas en este análisis, que además fue clasificado en experimentos que recogen la información de cada ensayo realizado de acuerdo al porcentaje de agregado de “FNFU” que tiene en su dosificación cada uno de los cilindros de hormigón.

4.6.4.1 Experimento 1G

Este primer experimento proporcionó datos que servirán de base y referencia para los posteriores ensayos que se realicen a las siguiente muestras de cilindros, la tabla 4.34, muestra los datos base que fueron resultado de los ensayos realizados sobre cilindros de hormigón sin ningún tipo de agregado de “FNFU” en su dosificación.

Tabla 4.34: Datos de ensayos térmicos en cilindros con 0% de agregado de “FNFU”

Fuente: El Autor

Edad (días)	Área de Contacto (mm ²)	Peso (kg)	Coefficiente de conductividad térmica (W/m ² K)	Media
28	706.5	0.015	0.81	
28	706.5	0.018	0.85	
28	706.5	0.016	0.76	0,78
28	706.5	0.017	0.74	
28	706.5	0.016	0.79	
28	706.5	0.018	0.78	

4.6.4.2 Experimento 2G

El porcentaje de 5% que se agrega a una mezcla es menor a 2 gramos de caucho por cada muestra aunque la media nos indica una disminución de alrededor del 23% en lo referente al coeficiente de conductividad térmica mostrado en la tabla 4.35.

El coeficiente de conductividad térmica disminuye en medida a la concentración de “FNFU” que experimenta la mezcla de hormigón para este nuevo tipo de paneles aislantes.

Tabla 4.35: Datos de ensayo acústico en paneles con 5% de agregado fino de “FNFU”

Fuente: El Autor

Edad (días)	Área de Contacto (mm ²)	Peso (kg)	Coeficiente de conductividad térmica (W/m ² K)	Media
28	706.5	0.014	0.75	0.68
28	706.5	0.016	0.74	
28	706.5	0.014	0.62	
28	706.5	0.013	0.64	
28	706.5	0.014	0.69	
28	706.5	0.012	0.65	

4.6.4.3 Experimento 3G

En un cilindro de concreto al que se le agrega un 10% de “FNFU” fino, su coeficiente de conductividad térmica disminuye como se aprecia en la tabla 4.36, por lo que el experimento funciona de la manera apropiada.

Tabla 4.36: Datos de ensayo térmico en cilindros con 10% de agregado fino de “FNFU”

Fuente: El Autor

Edad (días)	Área de Contacto (mm ²)	Peso (kg)	Coeficiente de conductividad térmica (W/m ² K)	Media
28	706.5	0.013	0.69	
28	706.5	0.013	0.74	
28	706.5	0.014	0.73	0.71
28	706.5	0.013	0.71	
28	706.5	0.013	0.69	
28	706.5	0.012	0.68	

4.6.4.4 Experimento 4G

En la tabla 4.37 se muestran los distintos coeficientes de conductividad térmica alcanzados al utilizar un 15% de agregado fino de “FNFU”, como se puede además apreciar la menor disminución de peso con respecto a los cilindros de concreto con una dosificación original esto se debe a que el agregado fino no deja espacios entre sí pues su tamaño no lo permite por lo que da una mayor consistencia pero un coeficiente de conductividad térmica tan solo un poco menor al grupo de cilindros de concreto que inicialmente se probar

Tabla 4.37: Datos de ensayo térmico en cilindros con 15% de agregado fino de “FNFU”

Fuente: El Autor

Edad (días)	Área de Contacto (mm ²)	Peso (kg)	Coefficiente de conductividad térmica (W/m ² K)	Media
28	706.5	0.013	0.65	
28	706.5	0.012	0.64	
28	706.5	0.013	0.72	0.66
28	706.5	0.012	0.69	
28	706.5	0.012	0.67	
28	706.5	0.013	0.64	

4.6.4.5 Experimento 1H

El primer experimento de esta serie al igual que en los anteriores sirve de referencia, ya que no posee agregado alguno, la dosificación utilizada en este primer grupo es la original, a pesar de no tener variaciones en los porcentajes de dosificación el peso de cada cilindro de concreto varía como se muestra en la tabla 4.38, pero su coeficiente de conductividad térmica se mantiene constante.

El primer grupo de agregados de “FNFU” que se aplica corresponde a los agregados finos en porcentajes que van desde el 5% al 15% en la dosificación de los cilindros.

Tabla 4.38: Datos de ensayo térmico en cilindros con 0% de agregado de “FNFU”

Fuente: El Autor

Edad (días)	Área de Contacto (mm ²)	Peso (kg)	Coeficiente de conductividad térmica (W/m ² K)	Media
28	706.5	0.015	0.81	0,78
28	706.5	0.018	0.85	
28	706.5	0.016	0.76	
28	706.5	0.017	0.74	
28	706.5	0.016	0.79	
28	706.5	0.018	0.78	

4.6.4.6 Experimento 2H

La tabla 4.39 muestra la primera aparición del agregado grueso de “FNFU” en la dosificación de los cilindros de concreto, las fibras más gruesas de caucho crearon un mayor espacio entre ellas al interior del mampuesto lo que causa pequeñas burbujas de aire que en gran cantidad aíslan el paso de energía a través del volumen de control confinado a las fronteras del cilindro de concreto, su peso disminuye en baja cantidad, aunque en este tipo de mampuestos no existe la preocupación de una posible baja maniobrabilidad ya que su tamaño no causa pares de flexión o torsión que sean considerables en magnitud.

Tabla 4.39: Datos de ensayo térmico en cilindros con 5% de “FNFU” grueso

Fuente: El Autor

Edad (días)	Área de Contacto (mm ²)	Peso (kg)	Coefficiente de conductividad térmica (W/m ² K)	Media
28	706.5	0.014	0.78	0,79
28	706.5	0.015	0.81	
28	706.5	0.015	0.83	
28	706.5	0.014	0.81	
28	706.5	0.014	0.76	
28	706.5	0.015	0.75	

4.6.4.7 Experimento 3H

El porcentaje de 10% de agregado grueso de “FNFU” a la dosificación de los cilindros no reduce de manera significativa el peso de estos, pero el coeficiente de conductividad térmica se ve afectado de manera positiva al disminuir en un mayor porcentaje que el anterior experimento, la tabla 4.40 muestra el coeficiente resultante de esta adición en la mezcla y como afecta directamente al paso de energía en forma de calor a través de estos mampuestos.

Tabla 4.40: Datos de ensayo térmico en cilindros con 10% de “FNFU” grueso

Fuente: El Autor

Edad (días)	Área de Contacto (mm ²)	Peso (kg)	Coefficiente de conductividad térmica (W/m ² K)	Media
28	706.5	0.014	0.76	
28	706.5	0.014	0.77	
28	706.5	0.013	0.65	0.71
28	706.5	0.013	0.67	
28	706.5	0.013	0.69	
28	706.5	0.013	0.71	

4.6.4.8 Experimento 4H

La última dosificación se crea con un porcentaje de agregado de 15% de “FNFU” como está mostrado en la tabla 4.41, el coeficiente de conductividad térmica disminuyó de manera considerable, lo que indica que el porcentaje agregado no permite un libre paso de energía en forma de calor por su superficie, con esto el confinamiento encerrado por el mampuesto experimenta un descenso de temperatura.

Tabla 4.41: Datos de ensayo térmico en cilindros con 15% de “FNFU” grueso

Fuente: El Autor

Edad (días)	Área de Contacto (mm ²)	Peso (kg)	Coefficiente de conductividad térmica (W/m ² K)	Media
28	706.5	0.013	0.69	
28	706.5	0.013	0.58	
28	706.5	0.014	0.67	0.66
28	706.5	0.013	0.66	
28	706.5	0.012	0.67	
28	706.5	0.013	0.69	

4.6.5.9 Análisis de Comportamiento Térmico de Mampuestos con agregado de fibras de “FNFU”

La última dosificación se crea con un porcentaje de agregado de 15% de “FNFU” como está mostrado en la tabla 4.42, el coeficiente de conductividad térmica disminuyó de manera considerable, lo que indica que el porcentaje agregado no permite un libre paso de energía en forma de calor por su superficie.

La conductividad térmica disminuye por acción del caucho por lo que aísla el confinamiento encerrado por el mampuesto, el tipo de caucho con el que se obtiene un mayor aislamiento son las fibras de FNFU grueso pues la superficie que cubren es mayor y por lo tanto reciben de forma directa la energía recibida en el exterior del recinto que posee como frontera el mampuesto mencionado.

Tabla 4.42: Datos de comportamiento térmico en mampuestos con agregado de “FNFU”

Fuente: El Autor

	Porcentaje de Caucho Agregado						
	0%	5%	$\Delta d(\%)$	10%	$\Delta d(\%)$	15%	$\Delta d(\%)$
Media	0,79	0,77	-2,16	0,71	12,56	0,66	16,46
Desviación Estándar (σ)	0,86	0,03	-99,87	0,03	187,46	0,04	99,89
% Desviación Estándar ($\% \sigma$)	2,15	3,65	69,76	6,22	189,3	5,66	163,65

El coeficiente de conductividad térmica disminuye con una muy pequeña desviación estándar, esto es exactamente lo que se esperaba pues un coeficiente mayor permite un mayor paso de energía y al reducirlo, la energía tiene un menor ingreso y por lo tanto el aislamiento térmico aumenta.

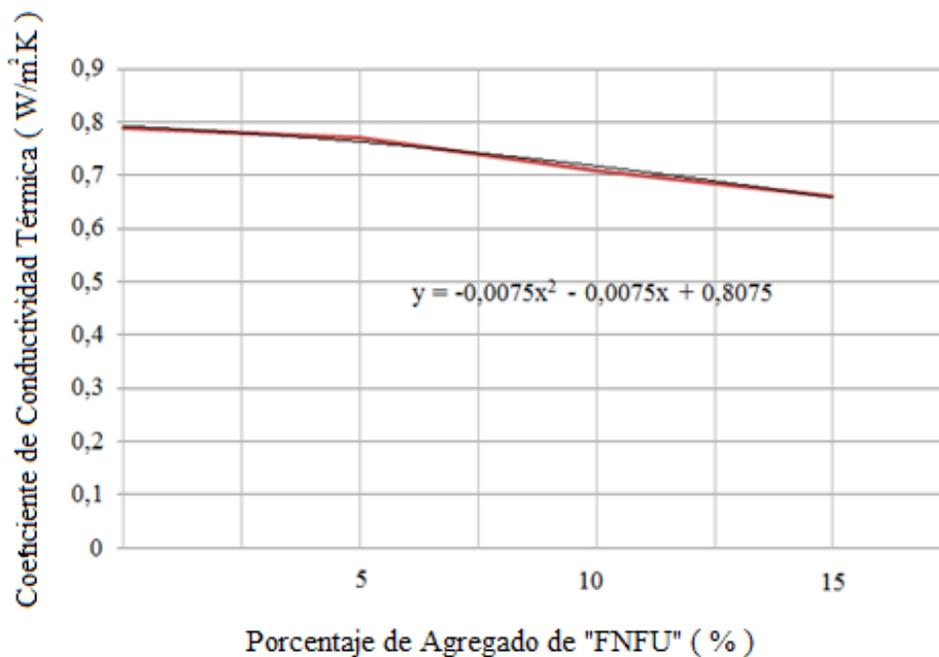


Figura 4.22: Curva de Tendencia de Coeficiente de Conductividad Térmica

Fuente: El Autor

En la tabla 4.43 se muestran los porcentajes que causan un óptimo rendimiento del mampuesto al que se le agregó “FNFU” lo cual da una clara idea de las partes de agregados que deben estar presentes para que el mampuesto sea superior en todas sus características.

Tabla 4.43: Datos sobre Rendimiento óptimo de Mampuestos con Agregado de “FNFU”

Fuente: El Autor

Propiedad Mejorada	Porcentaje de Agregado de “FNFU”
Resistencia a la Compresión	10%
Aislamiento Acústico	10%
Aislamiento Térmico	15%

La figura 4.23 indica las curvas de tendencia de cada una de las propiedades con sus respectivas escalas en donde se puede apreciar el comportamiento individual de los mampuestos mejorados.

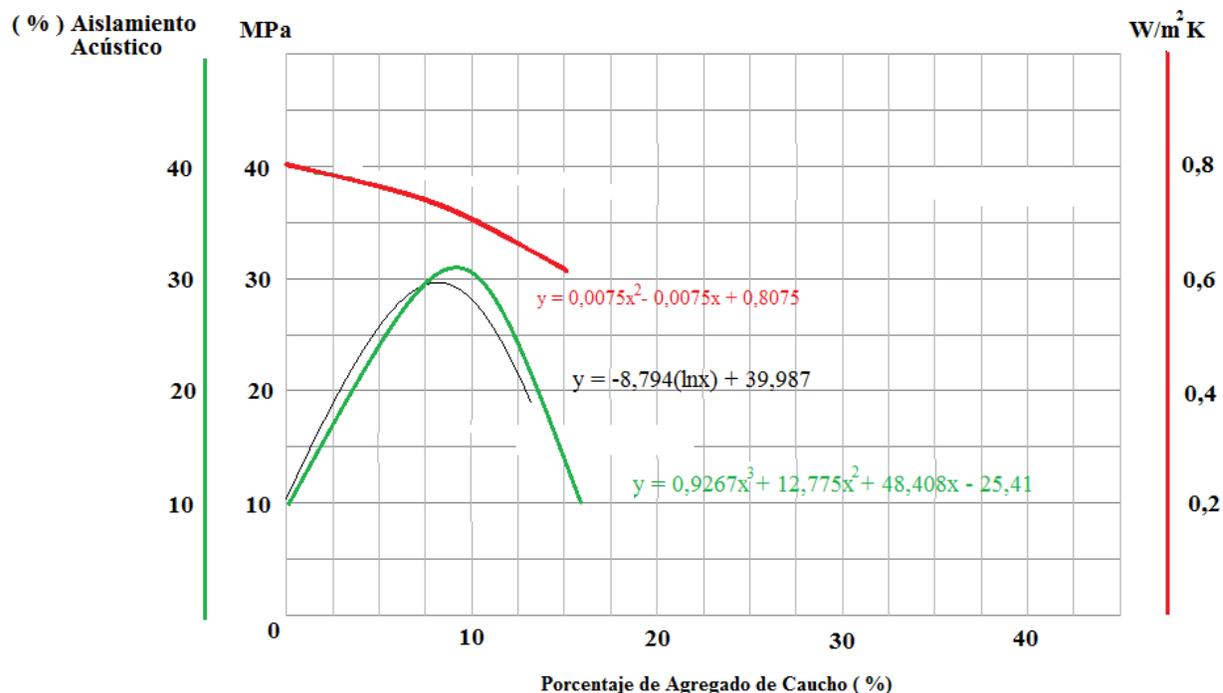


Figura 4.23: Efectos del Porcentaje de Relleno sobre las Propiedades del Compuesto

Fuente: El Autor

4.7 Conclusión del Capítulo

En este capítulo se pudo corroborar por medio de seria experimentación las aptitudes térmicas y acústicas que aportan los agregados de “FNFU” a los mampuestos en que son aplicados, estas características logran mejorar el desempeño de los materiales estructurales en que son llevadas a cabo otorgando aislamiento, el mejor tamaño de agregado de “FNFU” que se utilizó fue el grueso pues cubre una superficie mayor y por lo tanto ayuda a mejorar las propiedades del mampuesto en que se aplica.

4.8 Conclusiones

Las propiedades acústicas de los mampuestos que poseen agregados de “FNFU” aumentan, esto es por la disminución de espacios en donde exista aire por donde el sonido pase libremente, la mayor concentración de caucho posible fue el 15% y el tamaño de fibra más idóneo para esto es el agregado grueso que optimiza las propiedades de “FNFU” en su desempeño como agregado de un material estructural.

El caucho cambia de la forma de conducir el calor a través de los materiales estructurales pues de la radiación usual en que se transfiere el calor hacia el interior de un recinto se convierte en transferencia de energía por conducción, al no tener espacios llenos de “FNFU”, por lo que el confinamiento obtiene un aislamiento térmico superior.

El agregado de “FNFU” al dar un importante aislamiento térmico al reducir el coeficiente de conductividad térmica como se observó a lo largo de la experimentación por lo que al reducir el paso de energía incluso es una protección ante incendios aumentando su resistencia estructural ante la presencia de calor extremo.

4.9 Recomendaciones a Futuro

La manufactura debe ser realizada en un lugar que proporcione las propiedades metrológicas adecuadas de acuerdo a todos los estatutos dictados por la norma para de esta manera evitar errores en los datos obtenidos producto de su fabricación y posterior experimentación y obtención de datos.

Este proyecto muestra datos muy interesantes acerca del efecto que aporta un relleno como las fibras de “FNFU” en materiales estructurales, y puede ser tomado como un punto de partida para desarrollos posteriores en donde se lleve adelante la aplicación de este nuevo tipo de mampuestos.

Las fibras de “FNFU” deben tener estudios a nivel mundial en donde se muestre las ventajas y desventajas de aplicarla como relleno de materiales estructurales en distintos ambientes climáticos y presiones diversas a lo largo de las depresiones geográficas en donde se aplica.

La capacidad sismo resistente que aporta el relleno a los materiales estructurales necesita un análisis a fondo para ser aplicado lugares de alta actividad geológica en donde se puede disminuir grietas y derrumbes de materiales en donde se aplica la mezcla normal de hormigón en toda estructura.

Bibliografía

- [1] SALAZAR, Gissela, *Utilización de fibras de caucho de neumáticos reciclados en la elaboración de bloques de mampostería para mitigar el impacto ambiental en el cantón ambato*, Tesis, Universidad Técnica de Ambato, Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica, Ambato, 2011.
- [2] GUEVARA, Héctor y otros, *Estudio de concreto elaborado con caucho de reciclado de diferentes tamanos de partículas*, Tesis, Universidad de Caracas, Facultad de Ingenierías de la Universidad de Caracas, Caracas, 2008
- [3] OSPINA, Jaime y GIL Steven, *Métodos para caracterizar combustibles líquidos y gaseosos obtenidos de llantas en desuso bajo la norma astm*, Tesis, Universidad Luis Amigó, Facultad de Ingeniería, Bogotá, 6 de Diciembre del 2012.
- [4] MARTÍNEZ, María, "Back to the tire", *Tire*, Año V, N° 1, 2005
- [5] CAHUASQUÍ, Rossana, *Modelo de planeación estratégica y mejoramiento de procesos*, Tesis, PUCE, Facultad de Ingenierías, Quito, 2006
- [6] CANTANHEDE, Álvaro y MONGE Gladys, *"Estado del arte del manejo de llantas usadas en las américas"*, Organización Mundial de la Salud, Lima, 2002.
- [7] BOTERO, Jorge y otros, *Gomas trituradas: estado del arte, situación actual y posibles usos como materia prima en puerto rico*, Tesis, Universidad de Puerto Rico, Facultad de Ingenierías, Mayagüez, 2006.
- [8] BARBA, Gabriel. *Implementación y reconstrucción del sistema sanitario de la escuela 14 de agosto del sitio narciso del cantón chone*, Tesis, Universidad Técnica de Manabí, Facultad de Ingenierías, Manabí, 2011.
- [9] IDOWU, Joseph, *Comportamiento de muros de mampostería: calibración de un modelo no lineal de elementos finitos utilizando opensee*, Tesis, Instituto Politécnico Nacional, Facultad de Ingenierías, México D.F, 2008.
- [10] CRUZ, Christian y otros, *Elaboracion de mampuestos con residuos reciclados de la construccion civil y comparacion con las normas inen y astm*, Tesis, ESPE, Facultad de Ingenierías, Quito, 2006.
- [11] PEÑA, Wilfredo, *Rediseño del sistema de molienda en planta balanceados trujillo*, Tesis, Pontificia Universidad Católica del Perú, Facultad de Ingenierías, Lima 2006.

[12] MÉNDEZ, Christian y SOLINO, Franklin, *Diseño de triturador de neumáticos usados; capacidad 1 ton/h, para la empresa de aseo municipal de cuenca*, Tesis, U.P.S Facultad de Ingeniería Mecánica, Cuenca, 2010.

[13] CARRILLO, Karina y CÓRDOVA, Susana. *Propuesta de gestión de llantas usadas en el cantón rumiñahui*, Tesis, Escuela Politécnica Nacional, Facultas de Ingeniería Mecánica, Quito, 2012.

[14] HERNÁNDEZ, Emannuel, *Análisis de transferencia de calor en un conductor eléctrico usando métodos asintóticos*, Tesis, Instituto Politécnico Nacional, Facultad de Ingenierías, México D.F, 2007.

Anexo A

Pruebas de Compresión en Paneles



Certificado de prueba

Pruebas N° 200006160641

Lote: 28 días de edad

Colada

Colada:

Material: Concreto con 5 por ciento de Polvo Fino de Caucho

Certificado:

Cliente: Patricio Luna

Fabricante: Patricio Luna

Fecha: 08 de mayo del 2013

Sec.Tipo: Cuadrada

Diámetro:

Lt: 20 [mm]

Sec.: 90000 [mm²]

Vol.: 1800000 [mm³]

Lo: 20 [mm]

Prueba: Compresión

Grad. De carga: 0.4 [N/(mm².sec)]

Fm: 2124 [kN]

Rm: 23.6 [N/ mm²]

Método de Prueba:

Máquina de Prueba: Metro Com

Fecha de Calibración: 29/04/2008

El Operador

II Técnico

El Verificador

Figura A1: Certificado de Prueba 200006160641



Certificado de prueba

Pruebas N° 200006160642

Lote: 28 días de edad

Colada

Colada:

Material: Concreto con 10 por ciento de Polvo Fino de Caucho

Certificado:

Cliente: Patricio Luna

Fabricante: Patricio Luna

Fecha: 08 de mayo del 2013

Sec.Tipo: Cuadrada

Diámetro:

Lt: 20 [mm]

Sec.: 90000 [mm²]

Vol.: 1800000 [mm³]

Lo: 20 [mm]

Prueba: Compresión

Grad. De carga: 0.4 [N/(mm².sec)]

Fm: 2155 [kN]

Rm: 23.9 [N/ mm²]

Método de Prueba:

Máquina de Prueba:

Metro Com

Fecha de Calibración: 29/04/2008

El Operador

El Técnico

El Verificador

Figura A2: Certificado de Prueba 200006160642



Certificado de prueba

Pruebas N° 200006160643

Lote: 28 días de edad

Colada

Colada:

Material: Concreto con 15 por ciento de Polvo Fino de Caucho

Certificado:

Cliente: Patricio Luna

Fabricante: Patricio Luna

Fecha: 08 de mayo del 2013

Sec.Tipo: Cuadrada

Diámetro:

Lt: 20 [mm]

Sec.: 90000 [mm²]

Vol.: 1800000 [mm³]

Lo: 20 [mm]

Prueba: Compresión

Grad. De carga: 0.4 [N/(mm².sec)]

Fm: 2231 [kN]

Rm: 24.78 [N/ mm²]

Método de Prueba:

Máquina de Prueba: Metro Com

Fecha de Calibración: 29/04/2008

El Operador

El Técnico

El Verificador

Figura A3: Certificado de Prueba 200006160643



Certificado de prueba

Pruebas N° 200006160644

Lote: 28 días de edad

Colada

Colada:

Material: Concreto con 5 por ciento de Polvo Grueso de Caucho

Certificado:

Cliente: Patricio Luna

Fabricante: Patricio Luna

Fecha: 08 de mayo del 2013

Sec.Tipo: Cuadrada

Diámetro:

Lt: 20 [mm]

Sec.: 90000 [mm²]

Vol.: 1800000 [mm³]

Lo: 20 [mm]

Prueba: Compresión

Grad. De carga: 0.4 [N/(mm².sec)]

Fm: 2966 [kN]

Rm: 32.9 [N/ mm²]

Método de Prueba:

Máquina de Prueba:

Metro Com

Fecha de Calibración: 29/04/2008

El Operador

El Técnico

El Verificador

Figura A4: Certificado de Prueba 200006160644



Certificado de prueba

Pruebas N° 200006160645

Lote: 28 días de edad

Colada

Colada:

Material: Concreto con 10 por ciento de Polvo Grueso de Caucho

Certificado:

Cliente: Patricio Luna

Fabricante: Patricio Luna

Fecha: 08 de mayo del 2013

Sec.Tipo: Cuadrada

Diámetro:

Lt: 20 [mm]

Sec.: 90000 [mm²]

Vol.: 1800000 [mm³]

Lo: 20 [mm]

Prueba: Compresión

Grad. De carga: 0.4 [N/(mm².sec)]

Fm: 2973 [kN]

Rm: 31.03 [N/ mm²]

Método de Prueba:

Máquina de Prueba: Metro Com

Fecha de Calibración: 29/04/2008

El Operador

El Técnico

El Verificador

Figura A5: Certificado de Prueba 200006160645



Certificado de prueba

Pruebas N° 200006160646

Lote: 28 días de edad

Colada

Colada:

Material: Concreto con 15 por ciento de Polvo Grueso de Caucho

Certificado:

Cliente: Patricio Luna

Fabricante: Patricio Luna

Fecha: 08 de mayo del 2013

Sec.Tipo: Cuadrada

Diámetro:

Lt: 20 [mm]

Sec.: 90000 [mm²]

Vol.: 1800000 [mm³]

Lo: 20 [mm]

Prueba: Compresión

Grad. De carga: 0.4 [N/(mm².sec)]

Fm: 2965 [kN]

Rm: 32.94 [N/ mm²]

Método de Prueba:

Máquina de Prueba: Metro Com

Fecha de Calibración: 29/04/2008

El Operador

El Técnico

El Verificador

Figura A1: Certificado de Prueba 20000616064

ANEXO B

Pruebas de Compresión en Cilindros



Certificado de prueba

Pruebas N°	200006160614
Lote:	14 días de edad
Colada	
Colada:	
Material:	Concreto con Polvo Grueso de Caucho
Certificado:	
Cliente:	Patricio Luna
Fabricante:	Patricio Luna
Fecha:	14 de marzo del 2013
Sec.Tipo:	Circular
Diámetro:	150 [mm]
Lt:	300 [mm]
Sec.:	17671.44 [mm ²]
Vol.:	5301433.13 [mm ³]
Lo:	300 [mm]
Prueba:	Compresión
Grad. De carga:	0.4 [N/(mm ² .sec)]
Fm:	162 [kN]
Rm:	9.1[N/ mm²]
Método de Prueba:	
Máquina de Prueba:	Metro Com
	Fecha de Calibración: 29/04/2008

El Operador

El Técnico

El Verificador

Figura B1: Certificado de Prueba 200006160614



Certificado de prueba

Pruebas N° 200006160615

Lote: 14 días de edad

Colada:

Colada:

Material: Concreto con Polvo Fino de Caucho

Certificado:

Cliente: Patricio Luna

Fabricante: Patricio Luna

Fecha: 14 de marzo del 2013

Sec.Tipo: Circular

Diámetro: 150 [mm]

Lt: 300 [mm]

Sec.: 17671.44 [mm²]

Vol.: 5301433.13 [mm³]

Lo: 300 [mm]

Prueba: Compresión

Grad. De carga: 0.4 [N/(mm².sec)]

Fm: 133 [kN]

Rm: 8.2[N/ mm²]

Método de Prueba:

Máquina de Prueba: Metro Com Fecha de Calibración: 29/04/2008

El Operador

El Técnico

El Verificador

Figura B2: Certificado de Prueba 200006160615



Certificado de prueba

Pruebas N° 200006160616

Lote: 14 días de edad

Colada:

Colada:

Material: Concreto con Polvo Mediano de Caucho

Certificado:

Cliente: Patricio Luna

Fabricante: Patricio Luna

Fecha: 14 de marzo del 2013

Sec.Tipo: Circular

Diámetro: 150 [mm]

Lt: 300 [mm]

Sec.: 17671.44 [mm²]

Vol.: 5301433.13 [mm³]

Lo: 300 [mm]

Prueba: Compresión

Grad. De carga: 0.4 [N/(mm².sec)]

Fm: 138 [kN]

Rm: 8.2[N/ mm²]

Método de Prueba:

Máquina de Prueba: Metro Com Fecha de Calibración: 29/04/2008

El Operador

El Técnico

El Verificador

Figura B3: Certificado de Prueba 200006160616



Certificado de prueba

Pruebas N° 200006160631

Lote: 17 días de edad

Colada:

Colada:

Material: Concreto con Polvo Mediano de Caucho

Certificado:

Cliente: Patricio Luna

Fabricante: Patricio Luna

Fecha: 14 de marzo del 2013

Sec.Tipo: Rectangular

Diámetro:

Lt: 117 [mm]

Sec.: 373800 [mm²]

Vol.: 4116250 [mm³]

Lo: 117 [mm]

Prueba: Compresión

Grad. De carga: 0.4 [N/(mm².sec)]

Fm: 27 [kN]

Rm: 6.9[N/ mm²]

Método de Prueba:

Máquina de Prueba: Metro Com Fecha de Calibración: 29/04/2008

El Operador

El Técnico

El Verificador

Figura B4: Certificado de Prueba 200006160631



Certificado de prueba

Pruebas N° 200006160632

Lote: 17 días de edad

Colada:

Colada:

Material: Concreto con Polvo Fino de Caucho

Certificado:

Cliente: Patricio Luna

Fabricante: Patricio Luna

Fecha: 14 de marzo del 2013

Sec.Tipo: Rectangular

Diámetro:

Lt: 117 [mm]

Sec.: 373800 [mm²]

Vol.: 4116250 [mm³]

Lo: 117 [mm]

Prueba: Compresión

Grad. De carga: 0.4 [N/(mm².sec)]

Fm: 24 [kN]

Rm: 6.2[N/ mm²]

Método de Prueba:

Máquina de Prueba: Metro Com Fecha de Calibración: 29/04/2008

El Operador

El Técnico

El Verificador

Figura B5: Certificado de Prueba 200006160632



Certificado de prueba

Pruebas N° 200006160633

Lote: 17 días de edad

Colada:

Colada:

Material: Concreto con Polvo Grueso de Caucho

Certificado:

Cliente: Patricio Luna

Fabricante: Patricio Luna

Fecha: 14 de marzo del 2013

Sec.Tipo: Rectangular

Diámetro:

Lt: 117 [mm]

Sec.: 373800 [mm²]

Vol.: 4116250 [mm³]

Lo: 117 [mm]

Prueba: Compresión

Grad. De carga: 0.4 [N/(mm².sec)]

Fm: 38 [kN]

Rm: 6.9[N/ mm²]

Método de Prueba:

Máquina de Prueba: Metro Com Fecha de Calibración: 29/04/2008

El Operador

El Técnico

El Verificador

Figura B6: Certificado de Prueba 200006160633



Certificado de prueba

Pruebas N° 200006160634
Lote: 17 días de edad
Colada:
Colada:
Material: Normal
Certificado:
Cliente: Patricio Luna
Fabricante: Patricio Luna
Fecha: 14 de marzo del 2013
Sec.Tipo: Rectangular
Diámetro:
Lt: 117 [mm]
Sec.: 373800 [mm²]
Vol.: 4116250 [mm³]
Lo: 117 [mm]
Prueba: Compresión
Grad. De carga: 0.4 [N/(mm².sec)]
Fm: 43 [kN]
Rm: 7.1 [N/ mm²]

Método de Prueba:

Máquina de Prueba: Metro Com

Fecha de Calibración: 29/04/2008

El Operador

El Técnico

El Verificador

Figura B7: Certificado de Prueba 200006160634

