



**UNIVERSIDAD TÉCNICA AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA**

**TRABAJO EXPERIMENTAL PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO
DE INGENIERA MECÁNICA**

TEMA:

**“INFLUENCIA DE LA EXPOSICIÓN A LA INTEMPERIE EN EL
DESGASTE DE UN MATERIAL COMPUESTO DE LÁTEX Y
PARTÍCULAS DE GRÁNULO DE CAUCHO RECICLADO.”**

Autora: Jennifer Ashley Criollo Rojas

Tutor: Ing. Mg. Cristian Fabian Pérez Salinas

**AMBATO - ECUADOR
Marzo – 2021**

CERTIFICACIÓN

En mi calidad de Tutor del Trabajo Experimental, previo a la obtención del título de Ingeniera Mecánica, con el tema **“INFLUENCIA DE LA EXPOSICIÓN A LA INTEMPERIE EN EL DESGASTE DE UN MATERIAL COMPUESTO DE LÁTEX Y PARTÍCULAS DE GRÁNULO DE CAUCHO RECICLADO”**, elaborado por la Srta. Jennifer Ashley Criollo Rojas, portadora de la cédula de ciudadanía: C.I. 1724047442, estudiante de la Carrera de Ingeniería Mecánica, de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica.

Certifico que:

- El presente Trabajo Experimental es original de su autora.
- Ha sido revisado cada uno de sus capítulos componentes.
- Está concluido en su totalidad.

Ambato, Marzo 2021

Ing. Mg. Cristian Fabian Pérez Salinas

TUTOR

AUTORÍA DE LA INVESTIGACIÓN

Yo, **Jennifer Ashley Criollo Rojas**, con C.I. 1724047442 declaro que todas las actividades y contenidos expuestos en el presente trabajo experimental con el tema **“INFLUENCIA DE LA EXPOSICIÓN A LA INTEMPERIE EN EL DESGASTE DE UN MATERIAL COMPUESTO DE LÁTEX Y PARTÍCULAS DE GRÁNULO DE CAUCHO RECICLADO”**, así como también los análisis estadísticos, gráficos, conclusiones y recomendaciones son de mi exclusiva responsabilidad como autora de la investigación, a excepción de las referencias bibliográficas citadas en el mismo.

Ambato, Marzo 2021



Jennifer Ashley Criollo Rojas
C.I: 172404744-2
AUTORA

DERECHOS DE AUTOR

Autorizo a la Universidad Técnica de Ambato, para que haga uso del presente Trabajo Experimental o parte de él, un documento disponible para su lectura, consulta y procesos de investigación, según las normas de la Institución.

Cedo los Derechos en línea patrimoniales de mi Trabajo Experimental, con fines de difusión pública, además apruebo la reproducción de este documento dentro de las regulaciones de la Universidad, siempre y cuando esta reproducción no suponga una ganancia económica y se realice respetando mis derechos de autora.

Ambato, Marzo 2021



Jennifer Ashley Criollo Rojas
C.I: 172404744-2
AUTORA

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO

Los miembros del Tribunal de Grado aprueban el informe del Trabajo Experimental realizado por la estudiante Jennifer Ashley Criollo Rojas, de la Carrera de Ingeniería Mecánica bajo el tema: **“INFLUENCIA DE LA EXPOSICIÓN A LA INTEMPERIE EN EL DESGASTE DE UN MATERIAL COMPUESTO DE LÁTEX Y PARTÍCULAS DE GRÁNULO DE CAUCHO RECICLADO”**.

Ambato, Marzo 2021

Para constancia firman:

Ing. Mg. Diego Fernando Núñez Núñez
Miembro Calificador

Ing. Mg. Juan Gilberto Paredes Salinas
Miembro Calificador

DEDICATORIA

La culminación del trabajo de investigación se lo dedico a:

A Dios y la Virgen Santísima quienes fueron mi soporte, mi guía espiritual, y sobre todo quienes me inculcaron el don de la sabiduría para terminar esta etapa en mi vida profesional.

A Luis mi padre, por haberme brindado sus consejos y medios económicos en el trayecto y término de mi carrera universitaria pese a tantas adversidades.

A Blanca Rebeca quien a pesar de no haberme dado la vida fue una madre ejemplar y un apoyo incondicional en todo momento.

A mis sobrinos, ya que ellos han sido motivo de inspiración, con su cariño y peculiaridades me incentivaron alcanzar mis sueños ya que todo es posible.

A mis hermanos Iván, Marcia, Jaime, Gabriela y todos mis familiares, quienes directa e indirectamente fueron soporte y ayuda en momentos de angustia.

A Jaime, mi pareja por su ayuda constante quien de una u otra forma me brindo apoyo moral durante mis años de preparación y especialmente cuando pensé en desistir.

*Sin su grano de arena todo esto no hubiera sido posible,
Gracias.*

AGRADECIMIENTO

A mis padres y hermanos, que siempre me brindaron su apoyo en cada circunstancia, fueron mi guía y fortaleza para terminar esta etapa de estudio.

A la Universidad Técnica de Ambato y la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica, por permitirme hacer uso de sus predios, para que junto con sus excelentes docentes llegase a obtener una formación profesional.

A mi tutor Ing. Mg Cristian Pérez por su tiempo, conocimiento, experiencia, y disponibilidad como mentor en el desarrollo y termino de este trabajo experimental.

A mis compañeros y amigos de la carrera quienes de alguna manera fueron partícipes de este logro.

ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDO

A. PÁGINAS PRELIMINARES

CERTIFICACIÓN DEL TUTOR.....	ii
AUTORÍA DE LA INVESTIGACIÓN.....	iii
DERECHOS DE AUTOR	iv
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO	v
DEDICATORIA	vi
AGRADECIMIENTO	vii
ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDO.....	viii
ÍNDICE DE TABLAS	xiv
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xvii
RESUMEN EJECUTIVO	xix
ABSTRACT.....	xx

CAPÍTULO I

MARCO TEÓRICO

1.1	Antecedentes Investigativos.....	1
1.2	Objetivos.....	3
1.2.1	Objetivo General.....	3
1.2.2	Objetivos Específicos.....	3
1.3	Fundamentación teórica	4
1.3.1	Inicio a los materiales Compuestos.....	4
1.3.2	Nuevos Materiales.....	4
1.3.3	Material Compuesto.....	6
1.3.4	Clasificación de los nuevos materiales – Composites.....	8
1.3.5	Propiedades Mecánicas de los nuevos materiales	9
1.3.6	Proceso de obtención de nuevos Materiales – Composite	10
1.3.7	Refuerzo y Matriz en los composites.....	14

1.3.10	Granulo de caucho como refuerzo	21
1.3.12	Reciclaje del caucho de neumáticos usados.....	25
1.3.13	Desgaste	29
1.3.14	Desgaste en nuevos materiales – Composites.....	30
1.3.15	Tipologías de desgaste	30
1.3.16	Desgaste abrasivo en composites.....	33
1.3.17	Ensayos de Abrasión.....	34
1.3.18	Dureza.....	38
1.3.19	Degradación de composites	40
1.3.19.2	Tipos de degradación comunes en los materiales.	41
1.3.20	Prueba de exposición a la intemperie.....	42
1.3.21	Manufactura del material compuesto de matriz elastomérica de látex (PVC líquido) reforzado con partículas de gránulo de caucho.	43
1.3.22	Pruebas experimentales bajo la normativa ISO 9352, ASTM D 2240 Y ASTM D-1435.	43
1.3.22.1	Exposición a la intemperie bajo la guía de la norma ASTM D -1435	43
1.3.22.2	Ensayo de Dureza.....	44
1.3.22.3	Ensayo de desgaste abrasivo bajo las indicaciones de la norma ISO 9352	45
1.3.23	Evaluación de resultados obtenidos sobre la influencia en el desgaste del material compuesto, al ser expuesto a la intemperie.....	47
1.3.23.1	Análisis estadístico.....	48
1.3.23.2	Diseño Factorial General	48
1.3.23.3	Supuestos paramétricos.....	49
1.3.23.4	Coefficiente de determinación.....	50
1.3.23.5	Gráficos de interacción y efectos	50

CAPÍTULO II

METODOLOGÍA

2.1	Materiales.....	52
2.2	Diseño del modelo experimental.....	60

2.3	Métodos.....	62
2.3.1	Tipo de Investigación.....	62
2.4	Operacionalización de variables	72
2.4.1	Hipótesis de estudio	72
2.5	Señalamiento de variables en base a la Hipótesis	72
2.5.1	Variable Independiente	72
2.5.2	Variable Dependiente.....	73
2.5.3	Término de relación	73
2.6	Fijación de variables con respecto a la hipótesis	73
2.6.1	Variable Independiente	73
2.6.2	Variable Dependiente.....	74
2.7	Procedimiento previo a preparar el material compuesto por Látex más PGCR.....	74
2.7.1	Elaboración del Molde	75
2.7.1.1	Selección del material y tipo de molde	75
2.7.1.2	Diseño del molde	75
2.7.2	Cálculo de densidades de matriz - Látex.....	77
2.7.2.1	Preparación de una probeta pequeña de látex puro	77
2.7.2.2	Obtención del volumen de la probeta pequeña de látex puro	78
2.7.2.3	Cálculo de densidad del Látex	79
2.7.3	Cálculo de densidades de refuerzo – PGCR	79
2.7.3.1	Preparación de masa de PGCR	79
2.7.3.2	Obtención del volumen de PGCR.....	80
2.7.3.3	Cálculo de densidad de PGCR	80
2.7.4	Fracciones Volumétricas del material compuesto (Látex + PGCR)	81
2.7.4.1	Fracción Volumétrica: 60% Látex – 40% PGCR	82
2.7.4.2	Fracción Volumétrica: 70% Látex – 30% PGCR	82
2.7.4.3	Fracción Volumétrica: 80% Látex – 20% PGCR	83
2.8	Elaboración del Material compuesto por Látex más PGCR.	84

2.8.1	Adquisición de materia prima	85
2.8.2	Preparación del molde.....	85
2.8.3	Cantidad de materiales individuales para mezcla	85
2.8.4	Mezcla de matriz y refuerzo.....	86
2.8.5	Colocación de la mezcla en el molde	87
2.8.6	Preparación del horno	87
2.8.7	Vulcanización del nuevo material	88
2.8.8	Extracción del composite del molde	88
2.8.9	Verificación de dimensiones	88
2.8.10	Nuevo material vulcanizado.....	89
2.8.11	Codificación de muestras	89
2.9	Tipificación en las probetas	94
2.9.1	Composite de látex más refuerzo de PGCR sin exposición a la intemperie	94
2.9.2	Composite de látex más refuerzo de PGCR para exposición a la intemperie	96
2.10	Exposición de probetas (látex más gránulo de Caucho) a la intemperie.....	97
2.11	Ensayo de desgaste abrasivo aplicado al material compuesto por Látex más PGCR.	99

CAPÍTULO III

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1	Recolección de Datos.....	100
3.1.1	Recolección de datos para ensayo de abrasión.....	101
3.1.1.1	Recolección de datos configuración A 60 % Matriz – 40% Refuerzo sin exposición a la intemperie (0 Días).....	101
3.1.1.2	Recolección de datos configuración B 70 % Matriz – 30% Refuerzo sin exposición a la intemperie (0 Días).....	102
3.1.1.3	Recolección de datos configuración C 80 % Matriz – 20% Refuerzo sin exposición a la intemperie (0 Días).....	104
3.1.1.4	Recolección de datos configuración A 60 % Matriz – 40% Refuerzo con exposición a la intemperie (185 Días).....	105

3.1.1.5	Recolección de datos configuración B 70 % Matriz – 30% Refuerzo con exposición a la intemperie (185 Días).....	106
3.1.1.6	Recolección de datos configuración C 80 % Matriz – 20% Refuerzo con exposición a la intemperie (185 Días).....	107
3.1.2	Recolección de datos para ensayo de Dureza	107
3.1.2.1	Recolección de datos configuración A 60 % Matriz – 40% Refuerzo sin exposición a la intemperie (0 Días).....	107
3.1.2.2	Recolección de datos configuración B 70 % Matriz – 30% Refuerzo sin exposición a la intemperie (0 Días).....	108
3.1.2.3	Recolección de datos configuración C 80 % Matriz – 20% Refuerzo sin exposición a la intemperie (0 Días).....	109
3.1.2.4	Recolección de datos configuración A 60 % Matriz – 40% Refuerzo con exposición a la intemperie (185 Días).....	111
3.1.2.5	Recolección de datos configuración B 70 % Matriz – 30% Refuerzo con exposición a la intemperie (185 Días).....	112
3.1.2.6	Recolección de datos configuración C 80 % Matriz – 20% Refuerzo con exposición a la intemperie (185 Días).....	113
3.2	Análisis de Resultados.....	114
3.2.1	Parámetros del ensayo de exposición a la intemperie	115
3.2.2	Análisis de ensayo de abrasión	117
3.2.2.1	Verificación de supuestos del porcentaje de pérdida de masa	117
3.2.3	Análisis de ensayo de dureza	123
3.2.3.1	Verificación de supuestos de la dureza.	123
3.2.3.2	Análisis de la varianza de la medición de Dureza.....	127
3.2.1.3	Interpretación de resultados	127
3.3	Optimización.....	129
3.4	Verificación de hipótesis.....	131
3.5	Aplicación industrial del Composite de látex más PGCR.....	133

CAPÍTULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1	Conclusiones	135
4.2	Recomendaciones	136

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1. Propiedades de los Elastómeros.....	9
Tabla 1.2: Elastómeros comunes	18
Tabla 1.3: Tamaño y componente de partículas de caucho.	21
Tabla 1.4. Caucho Natural vs Sintético.....	23
Tabla 1.5. Componentes de caucho vehículos livianos vs pesados.	25
Tabla 1.6. Aplicaciones de partículas de caucho reciclado procesado.....	28
Tabla 1.7. Valores de conversión de Durezas.	39
Tabla 1.8. Comparación de propiedades de degradación.....	41
Tabla 2. 1. Materiales y equipos para elaboración del compuesto.....	52
Tabla 2. 2. Materiales y equipos pruebas de desgaste abrasivo.	54
Tabla 2. 3. Materiales y equipos para exposición a la intemperie.	55
Tabla 2. 4. Maquinaria Utilizada.....	56
Tabla 2. 5. Máquina para Mecanizado de Moldes	57
Tabla 2. 6. Máquina para pruebas de desgaste abrasivo.	58
Tabla 2. 7. Recursos utilizados.....	59
Tabla 2. 8. Modelo de diseño Factorial.....	60
Tabla 2. 9. Diseño factorial general completo	60
Tabla 2. 10. Combinaciones del diseño factorial completo	61
Tabla 2. 11. Variable Independiente	73
Tabla 2. 12. Variable dependiente.....	74
Tabla 2. 13. Ventajas del aluminio y moldes de este material.	75
Tabla 2. 14. Pesaje de probeta maciza de látex puro.....	78
Tabla 2. 15. Volumen del látex	78
Tabla 2. 16. Volumen de las PGCR	80
Tabla 2. 17. Características del material compuesto.....	81
Tabla 2. 18. Características del material compuesto.....	84
Tabla 2. 19. Codificación de probetas para ensayos sin exposición.	90
Tabla 2. 20. Codificación de probetas para ensayos con exposición.	92
Tabla 2. 21. Peso inicial de probetas sin exposición.....	95
Tabla 2. 22. Peso inicial de probetas para exposición.....	96

Tabla 2. 23. Proceso de Exposición de probetas a la intemperie	97
Tabla 3. 1. Identificación de grupo de probetas para recolección de datos.....	100
Tabla 3. 2. Grupo de identificación de probetas para recolección de datos.....	101
Tabla 3. 3. Datos para el ensayo de abrasión en probetas Tipo A 60 % Matriz – 40% Refuerzo sin exposición (0 Días).....	102
Tabla 3. 4. Datos para el ensayo de abrasión en probetas Tipo B 70 % Matriz – 30% Refuerzo sin exposición a la intemperie (0 Días).....	103
Tabla 3. 5. Datos para el ensayo de abrasión en probetas Tipo C 80 % Matriz – 20% Refuerzo sin exposición a la intemperie (0 Días).....	104
Tabla 3. 6. Datos para el ensayo de abrasión en probetas Tipo A 60 % Matriz – 40% Refuerzo con exposición a la intemperie (185 Días).....	105
Tabla 3. 7. Datos para el ensayo de abrasión en probetas Tipo B 70 % Matriz – 30% Refuerzo con exposición a la intemperie (185 días).....	106
Tabla 3. 8. Datos para el ensayo de abrasión en probetas Tipo C 80 % Matriz – 20% Refuerzo con exposición a la intemperie (185 Días).....	107
Tabla 3. 9. Datos para el ensayo de dureza en probetas Tipo A 60 % Matriz – 40% Refuerzo sin exposición a la intemperie (0 Días).....	108
Tabla 3. 10. Datos para el ensayo de dureza en probetas Tipo B 70 % Matriz – 30% Refuerzo sin exposición a la intemperie (0 Días).....	109
Tabla 3. 11. Datos para el ensayo de dureza en probetas Tipo C 80 % Matriz – 20% Refuerzo sin exposición a la intemperie (0 Días).....	110
Tabla 3. 12. Datos para el ensayo de dureza en probetas Tipo A 60 % Matriz – 40% Refuerzo con exposición a la intemperie (185 Días).....	111
Tabla 3. 13. Datos para el ensayo de dureza en probetas Tipo B 70 % Matriz – 30% Refuerzo con exposición a la intemperie (185 Días).....	112
Tabla 3. 14. Datos para el ensayo de dureza en probetas Tipo C 80 % Matriz – 20% Refuerzo con exposición a la intemperie (185 Días).....	113
Tabla 3. 15. Promedio de factores influyentes en las muestras a exposición mes a mes. ...	115
Tabla 3. 16. Verificación de normalidad del porcentaje de pérdida de masa.....	118
Tabla 3. 17. Verificación de igualdad de varianza del porcentaje de pérdida de masa.....	119
Tabla 3. 18. Verificación de independenciam de residuos de los datos de porcentaje de pérdida de masa	120
Tabla 3. 19. Análisis de varianza de los datos transformados del porcentaje de pérdida de masa	121

Tabla 3. 20. Verificación de normalidad de la dureza.	124
Tabla 3. 21. Verificación de igualdad de varianza de la dureza.....	125
Tabla 3. 22. Verificación de independencia de residuos de los datos de dureza.....	126
Tabla 3. 23. Análisis de varianza de la dureza.	127
Tabla 3. 24. Optimización individual del desgaste	130
Tabla 3. 25. Optimización individual de la dureza	130
Tabla 3. 26. Optimización global con minimización del desgaste y de dureza.	131
Tabla 3. 27. Resumen de coeficientes del análisis.	132
Tabla 3. 28. Comparación de Materiales	133
Tabla 3. 29. Resumen de resultados configuración optima (20% PGCR+ 80% Látex) de desgaste y dureza	134

ÍNDICE DE FIGURAS

Fig 1.1. Aplicaciones de materiales nuevos.....	5
Fig 1.2. Grupos de materiales nuevos.....	5
Fig 1.3. Ejemplificación de matriz y refuerzo	6
Fig. 1.4: Áreas de aplicación de Composites.....	7
Fig 1.5. Composites acordes a su matriz.....	8
Fig 1.6. Composites acordes al tipo de Refuerzo.....	9
Fig 1.7. Método Hand lay-up (contacto manual).....	11
Fig 1.8. Método Spray-up (proyección simultánea)	11
Fig 1.9. Método (a) bolsa de vacío – (b) autoclave	12
Fig 1.10. Enrollado de filamentos.....	12
Fig 1.11. Método molde cerrado- Pultrusión	13
Fig 1.12. Compresión en caliente	13
Fig 1.13. Conformación de un composite	14
Fig 1.14. Representación de cadenas transversales en matriz elastómera	16
Fig 1.15. Tipos de elastómeros	16
Fig 1.16. Látex de Plastisol líquido	17
Fig 1.17. Dirección de refuerzos fibrosos.....	19
Fig 1.18. Esquemización de la fibra laminar en el composite	20
Fig 1.19. Esquemización de material compuesto con refuerzo particulado.....	20
Fig 1.20. Refuerzo particulado- Caucho	21
Fig 1.21 Tamaños de granulo de caucho	22
Fig 1.22. Red aplicativa del caucho	24
Fig 1.23. Datos estadísticos de neumáticos en desuso visión 2026	25
Fig 1.24. Secuencia de reciclaje de neumáticos.....	26
Fig 1.25. Desgaste con fluido de partículas abrasivas.	31
Fig 1.26. Esquemización desgaste en superficie por fatiga	32
Fig 1.27. Representación de elementos a desgaste abrasivo.....	32
Fig 1.28. Esquema de elementos a desgaste por adhesión.....	33
Fig 1.29. Relación de contacto muela abrasiva y probeta.....	34
Fig 1.30. Abrasímetro Taber.....	35

Fig 1.31 Muelas abrasivas – nivel de abrasión	36
Fig 1.32. Abrasímetro para pruebas rápidas de desgaste	46
Fig 1.33. Software de análisis estadístico	48
Fig 1.34. Supuestos paramétricos y su verificación.....	49
Fig 1.35. Ejemplificación de gráfico de interacciones.....	50
Fig 2. 1. Diseño de molde en software.....	77
Fig 2. 2. Proceso de mecanizado de molde	77
Fig 2. 3. Materia prima para el compuesto.	85
Fig 2. 4. Preparación y secado de molde.	85
Fig 2. 5. Pesaje de cantidad de PGCR.	86
Fig 2. 6. Pesaje de cantidad de Látex.....	86
Fig 2. 7. Mezcla de Látex y PGCR.	86
Fig 2. 8. Agregado de mezcla sobre molde de Aluminio.....	87
Fig 2. 9. Inserción del molde	87
Fig 2. 10. Vulcanización de probetas en el horno.....	88
Fig 2. 11. Extracción de probetas del molde.....	88
Fig 2. 12. Verificación de dimensiones del composite.....	89
Fig 2. 13. Probetas terminadas	89
Fig 2. 14. Código de identificación para probetas sin exposición	95
Fig 2. 15. Código de identificación para probetas para exposición	96
Fig 3. 1. Método aplicable al análisis de resultados	114
Fig 3. 2. Factores influyentes en la exposición a la intemperie	116
Fig 3. 3. Factor de Humedad relativa (%) en la exposición a la intemperie de abril a octubre.....	117
Fig 3.4. Diagrama de Pareto de efectos del porcentaje de pérdida de masa	122
Fig 3.5. Efectos principales para el porcentaje de pérdida de masa	122
Fig 3.6. Gráficas de interacción para el porcentaje de pérdida de masa	123
Fig 3.7. Diagrama de Pareto de efectos de la dureza	128
Fig 3.8. Efectos principales para la dureza	128
Fig 3.9. Gráficas de interacción para la dureza.....	129
Fig 3.10. Deseabilidad Global	131

RESUMEN EJECUTIVO

El desarrollo de la presente investigación está enfocado en el material compuesto por la matriz de látex y partículas de gránulo de caucho reciclado (PGCR) como refuerzo, ya que este composite tiene particularidades óptimas para la elaboración de pisos. Para el desarrollo de este estudio se tomó en cuenta la variación del porcentaje de refuerzo de tal manera que, se permita evidenciar cuál de las configuraciones volumétricas presenta mejores propiedades de Desgaste y Dureza. Los ensayos fueron aplicados según las especificaciones de la norma de desgaste ISO 9352, Dureza ASTM- D2240 y ASTM D 1435 para la exposición a la intemperie.

A través de la aplicación de diseño de experimentos (DOE), se realizó un diseño factorial general completo del cual se obtuvieron seis configuraciones volumétricas con una variación de refuerzo de veinte, treinta y cuarenta por ciento. Seguidamente se analizó el comportamiento del material aplicando el ensayo de desgaste Taber, la medición de la dureza Shore D empleando las normas ISO y ASTM respectivamente.

Al término de la ejecución de los ensayos mediante tablas y gráficos se evidencio que el porcentaje de desgaste para las tres variaciones de refuerzo es mínimo, a pesar de ello el análisis estadístico demuestra que el tiempo de exposición tiene influencia sobre la tasa de desgaste y que la configuración volumétrica que mejor se ajusta a una aplicación real de pisos es la de 80 por ciento Látex (matriz) y 20 por ciento PGCR (refuerzo), a cero días de exposición ya que posee menor desgaste y mayor dureza.

Palabras Clave: Partículas de Caucho, Desgaste, Abrasímetro, Intemperie, Análisis estadístico.

ABSTRACT

The development of this research is focused on the material composed of the matrix of latex and recycled rubber granule particles (PGCR) as reinforcement, since this composite has optimal peculiarities for the elaboration of floors. For the development of this study, the variation in the percentage of reinforcement was taken into account in such a way that, it is possible to show which of the volumetric configurations has the best properties of Wear and Hardness. The tests were applied according to the specifications of the wear standard ISO 9352, Hardness ASTM- D2240 and ASTM D 1435 for outdoor exposure.

Through the application of experiment design (DOE), a complete overall factorial design was made from which six volumetric configurations were obtained with a reinforcement variation of twenty, thirty and forty percent. The material behaviour was then analysed using the Taber wear test, measuring Shore D hardness using ISO and ASTM standards respectively.

At the end of the execution of the tests by means of tables and graphs it is evident that the percentage of wear for the three reinforcement variations is minimal, yet the statistical analysis shows that the exposure time has an influence on the wear rate and that the volumetric configuration that best fits a real flooring application is 80 percent Latex (matrix) and 20 percent PGCR (reinforcement) , at zero days of exposure as it has less wear and greater hardness.

Keywords: Rubber Particles, Wear, Abrasimeter, Weather, Statistical Analysis.

CAPÍTULO I

MARCO TEÓRICO

1.1 Antecedentes Investigativos

Las pruebas de desgaste en materiales compuestos de matriz y refuerzo son objeto de estudio para nuevos materiales, tal es el caso del compuesto por látex con la adición de partículas de gránulo de caucho reciclado.

En mención al material compuesto y a las buenas propiedades mecánicas de tracción, compresión, dureza e inflamabilidad que este posee es importante recordar la diversidad de aplicaciones para pisos a las que puede reemplazar [1].

Por lo tanto, para el desarrollo del proyecto experimental de investigación se analiza estudios anticipados, los mismos que fueron realizados en Ecuador y países del exterior, estos estudios están relacionados con aplicaciones al intemperismo y pruebas de desgaste en materiales compuestos poliméricos.

El estudio realizado por [2], en el cual explica mediante un análisis profundo las propiedades mecánicas y su comportamiento en el material compuesto de fibra de carbono más resina epoxi frente a pruebas de desgaste abrasivo.

En el desarrollo de la investigación se evidencio un comportamiento positivo en las propiedades de tracción, flexión e impacto. Mientras que en cuanto a las pruebas de desgaste se realizaron en tres tandas, la primera a 100, 500, 1000 y 2000 ciclos, la segunda y la tercera a 1000 ciclos; las tres tandas evaluaron el desgaste y perdida de volumen con su respectivo índice de desgaste Taber e índice de perdida de espesor.

En donde el resultado de pérdida de peso a 2000 ciclos para la primera tanda fue de 7,98% a 9,88 % mostrando un desgaste lineal a temperatura normal, en el caso de evaluación de la segunda y tercera tanda a 1000 ciclos de evaluación presenta pérdida

de peso de 3,94% a 3,76% denotando un desgaste minoritario con respecto a la primera tanda pese a no tener refrigeración.

Entonces independientemente de la combinación de materiales con matriz epoxi las pruebas de desgaste muestran que el material pierde poco peso y volumen hasta antes de los 1000 ciclos de prueba, lo que ocurre por el contrario a mayor número de ciclos mayor desgaste del material compuesto [2].

En el estudio de [3], quien trata sobre cambios en las propiedades térmicas, mecánicas, y Tribológicas en materiales poliméricos termoplásticos, los que han sido modificados con líquido Iónico y nanotubos de carbono menciona que:

Entre las propiedades Tribológicas destaca la reducción del coeficiente de fricción y desgaste del Polimetilmetacrilato (PMMA), en donde el análisis del coeficiente de fricción y desgaste abrasivo tuvo una reducción en un 52%, y la tasa de desgaste al 82% respectivamente, esto para el caso de pruebas con adición de matriz epoxi.

Mientras que, en el caso combinado de PMMA con aceros la reducción del coeficiente de fricción fue del 94% y la tasa de desgaste de un 59%. Para los dos casos indica que la adición de nanotubos de carbono con adición de líquido iónico mejora la estabilidad térmica del material al actuar como plastificante, dando así una estabilidad al material ante ensayos de desgaste abrasivo [3].

En el estudio realizado por [4], explica la incidencia de nano partículas de boro y carburo de silicio en materiales poliméricos compuestos. Además del análisis del porcentaje de desgaste con la variación de proporciones de refuerzo.

Según la combinación del material con resina pura y compuesta con nano-partículas hay presencia de porosidad en los composites, y a causa de esto variación en las propiedades mecánicas, sin embargo, para el caso del desgaste esta disfunción del material no tuvo relevancia, y establece que la tasa de desgaste se redujo para todos los nanocomposites, en comparación con los conformados con matriz epoxi. Es decir, que al no afectar al desgaste del material su uso prolonga su vida útil [4].

En [5], describe el comportamiento de los materiales al intemperismo y los ensayos de degradación del compuesto, es decir, los cambios presentados en los materiales.

Por lo tanto, al finalizar la exposición el autor concluye que los cambios en el material no precisan una consideración importante, debido a que, tuvieron buena resistencia y dureza, pese a la coloración amarillenta que los materiales presentaron al finalizar la prueba de exposición [5].

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo General

- Analizar la influencia de la exposición a la intemperie en el desgaste de un material compuesto de látex y partículas de granulo de Caucho.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Obtener el material compuesto de látex y partículas de gránulo de caucho con fracciones volumétricas de refuerzo de 40%, 30% y 20%.

La obtención del material compuesto se llevó a cabo previendo la cantidad necesaria para cada configuración con el cálculo de volumen y densidad mediante la aplicación del método gravimétrico.

- Realizar la exposición de las probetas con porcentajes de refuerzo de 40%, 30%, y 20% según la norma ASTM D-1435.

La exposición del material compuesto (látex + partículas de gránulo de caucho reciclado), se desarrolló en base a la metodología descrita en la norma ASTM D 1435, de manera que 15 muestras fueron expuestas 185 días a cambios climáticos a una orientación de 0°.

- Desarrollar la prueba de desgaste mediante muelas abrasivas según la norma ISO 9352.

Se aplicó la prueba de desgaste a cada una de las muestras con y sin exposición a la intemperie, para conocer el porcentaje de desgaste a través del índice de desgaste Taber (IDT), y el método de pérdida de masa.

- Comparar y analizar estadísticamente la tasa de desgaste antes y después de la exposición a intemperie del material compuesto.

El análisis estadístico determinó que la tasa de desgaste en las muestras con sus respectivos porcentajes de refuerzo fue mínima en muestras analizadas a 0 días, mientras que en las muestras analizadas a 185 días tuvo un incremento en la tasa de desgaste, pero no significativa.

1.3 Fundamentación teórica

1.3.1 Inicio a los materiales Compuestos

El crecimiento e innovación de la tecnología, impulsa a buscar nuevas alternativas en cuanto a la formación de nuevos materiales con propiedades no existentes en materiales naturales [6]. La obtención de mejores propiedades se logra incluyendo refuerzos como los provenientes de materiales contaminantes.

En Ecuador por otra parte se desechan 2,4 millones de neumáticos cada año, los mismos que no reciben un tratamiento adecuado y forman parte de la contaminación ambiental. Por ello el país tiene la procedencia de tomar ese recurso de manera eficiente e insertarlo en un nuevo material, de tal forma que incremente ingresos económicos del país y sea de comodidad con el medio ambiente.

Por otra parte, suma un aspecto importante a la iniciativa planteada por Seginus (Sistema Ecuatoriano de Gestión Integral de Neumáticos Usados) quien menciona dar tratamiento a estos desechos e incluirlo en materiales de nuevo uso [7].

1.3.2 Nuevos Materiales

Los nuevos materiales corresponden aquellos que en la actualidad poseen características mejoradas con respecto a otros ya existentes. Por lo tanto, se incursionan en nuevas aplicaciones en diferentes ámbitos como: La industria automotriz, aeroespacial, química biomedicina, objetos de uso personal y algunos otros (Fig 1.1) [8].



Fig 1.1. Aplicaciones de materiales nuevos [8].

El enfoque realizado en Ecuador con relación a los nuevos materiales es diverso, sin embargo, está encaminado directamente en el área de la construcción, metalurgia, minería, reciclaje de materiales poliméricos compuestos con refuerzos de fibras naturales y otros residuos [8].

Al existir una diversidad de aplicaciones, ocurre lo mismo con los materiales. Por lo tanto, se establece una clasificación de los mismos entre los siguientes grupos: vidrios e híbridos, cerámicos, metales, polímeros, y elastómeros [8].



Fig 1.2. Grupos de materiales nuevos [8].

Los avances industriales van en aumento y junto con ello el aparecimiento de nuevas ideas, en donde se resalta el uso de polímeros, materiales biodegradables, y los nuevos materiales que son reconocidos como nanomateriales [8].

1.3.3 Material Compuesto

Un material compuesto está dado por la unión mínima de dos componentes o elementos de diferente naturaleza que forman un solo cuerpo, donde fácilmente se visualiza sus componentes [6] [9] [10]. Este tipo de material es nombrado en la actualidad como “composite” y sus propiedades finales deben ser superiores a la de sus componentes actuando solos [10] [6].

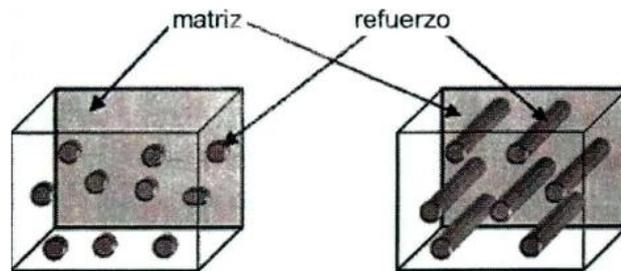


Fig 1.3. Ejemplificación de matriz y refuerzo [9] [10].

La formación de un composite de elementos diferentes se da por la reacción química de sus conformantes entre matriz y refuerzo (Fig 1.3) [11]. La matriz corresponde a la parte más estable y continua, se encarga de proteger y alojar al refuerzo, mientras que el refuerzo es totalmente disperso y es el encargado de mejorar las propiedades mecánicas de la matriz, tal es el caso de la resistencia a la tracción [11] [12].

1.3.3.1 Importancia de los Composite

Los composites se han insertado de manera significativa y han logrado reemplazar a materiales antiguos por sus propiedades de ligereza y resistividad [13]. Al mantener estas propiedades se expande el campo de aplicación y genera más ingresos económicos al país, es por ello la importancia de estudiar, analizar, y fabricar los composites [8].

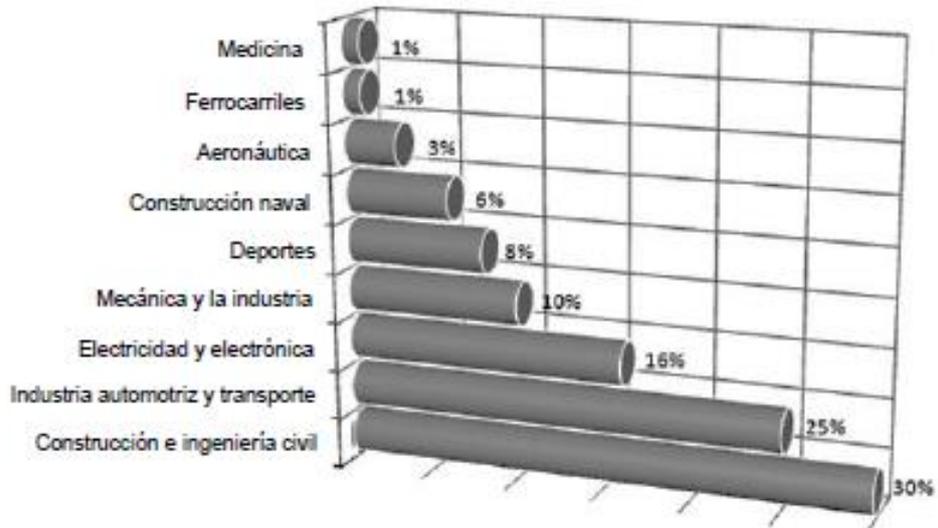


Fig. 1.4: Áreas de aplicación de Composites [8].

La Fig 1.4 muestra el porcentaje de aplicación que abarca los composites, los que son fabricados con matrices poliméricas elastómeras, termoplásticas y termoestables en su gran mayoría, todas estas con el adicionamiento de fibras o material particulado que actúan como refuerzo en porcentajes mayores al 10% [14].

1.3.3.2 Composites de material particulado

Los materiales reforzados con partículas se constituyen como aquellos que establecen una relación geométrica estable en todas las direcciones, lo que la diferencia de materiales con refuerzo fibroso [15].

Este tipo de composites poseen propiedades de buena resistencia con alta rigidez y resistencia al desgaste, la mayor parte de partículas son provenientes de materiales derivados de humo color negro (carburos) [15] [16].

La mejor opción de matriz para alojamiento de refuerzo particulado es la elastomérica, debido a que son blandas a temperatura normal y se deforman con facilidad [17]. Así como el tipo de matriz otra característica de importancia es el tamaño de la partícula,

que independientemente del tipo de material mientras más pequeña (diámetros de 20 a 5000 mm.) sea mayor aporte de resistencia genera a los composites [12].

Por otra parte, el aporte más significativo de los materiales nuevos reforzados con partículas es el bajo coste de adquisición en conjunto con su producción, que al compararlos con fibras resulta de mayor beneficio [18].

1.3.3.3 Composición volumétrica de los composites

El porcentaje de refuerzo y matriz en los materiales compuestos es variante, está en dependencia del estudio a desarrollar y las propiedades del material a obtener.

Según [1], para el nuevo material compuesto por Látex y granulo de caucho reciclado el porcentaje de matriz (60%) y refuerzo (40%) es el que posee superiores propiedades mecánicas, en base a ese concepto las fracciones volumétricas con respecto al composite de látex y caucho triturado que son más benéficas de tratar son: 60%-40%, 70%-30%, y 80%-20% de matriz y refuerzo respectivamente.

1.3.4 Clasificación de los nuevos materiales – Composites.

Los nuevos materiales o composites, se extienden según el tipo de combinaciones que son requeridas, sin embargo, para facilitar el estudio se redondea a dos grupos [19]:

- a) *Acorde a la matriz que lo compone:* Se establecen en concordancia al tipo de composite a desarrollar [15]. Estos se especifican en tres tipos los que muestra la Fig 1.5.

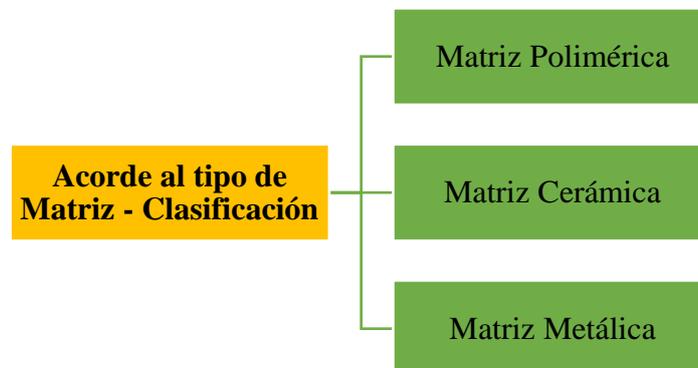


Fig 1.5. Composites acordes a su matriz

b) *Acorde al tipo de refuerzo*: El refuerzo mantienen una clasificación en dependencia de los elementos que lo conforman, los mismos que se indican en la Fig 1.6 [20].

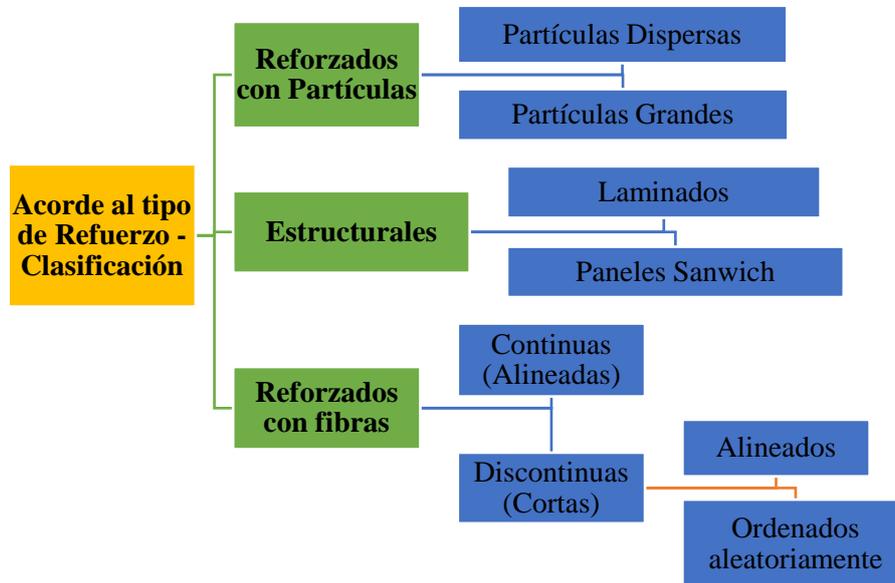


Fig 1.6. Composites acordes al tipo de Refuerzo

1.3.5 Propiedades Mecánicas de los nuevos materiales

Los nuevos materiales que ya se mantienen en uso han presentado propiedades mecánicas positivas, de donde se resalta la resistencia Mecánica, Rigidez, Corrosión, Abrasión, Aislamiento térmico y acústico.

En adición a las propiedades de estos materiales, se hace un enfoque preferente a las propiedades que poseen los elastómeros (Tabla 1.1), debido a que es un material idóneo para considerar como elemento matriz en los composites.

Tabla 1.1. Propiedades de los Elastómeros [21].

Propiedades físicas de elastómeros	
Gravedad Específica	2,16

Fuerza de Tensión	4360 psi
Elongación	320 %
Módulo de Compresión	50000 psi
Fuerza compresiva	1050 psi
Dureza	63 shore D
Rango de Temperatura	-107 °F – 500°F

1.3.6 Proceso de obtención de nuevos Materiales – Composite

La obtención de composites es un proceso que maneja una sola forma de constitución debido a su complicación de adaptación a la forma requerida. Las herramientas y máquinas a utilizar se seleccionan en función a la complejidad del material sea este metálico cerámico, o polímero [22].

Independientemente del uso que se le dé al composite elaborado se establecen dos procesos: La obtención mediante molde abierto y cerrado [22].

1.3.6.1 Proceso de Fabricación molde abierto

En el proceso de fabricación mediante molde abierto se distinguen los siguientes métodos:

- a) **Hand lay-up (contacto manual):** Corresponde al método primitivo usado para el laminado de plásticos con refuerzo de vidrio fibroso. Este método consiste en colocar en el interior del molde la fibra preparada (tejida, trenzada, alargada) añadiendo la resina con una brocha y sobrepasando varias veces con un rodillo hasta alcanzar el espesor deseado. El moldeo se produce sin calor ni elevación de presión y a bajo coste [15] [22].

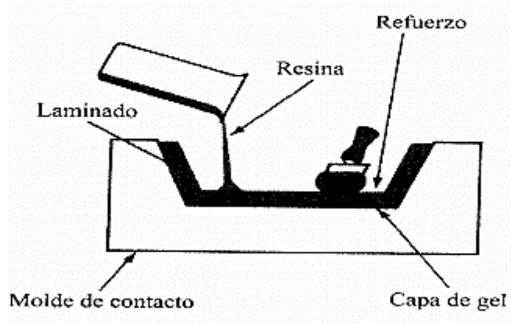


Fig 1.7. Método Hand lay-up (contacto manual) [22].

b) **Spray-up (Proyección simultánea):** Se establece como el método evolucionado al de contacto manual, mejorando tiempos de producción y reducción de costos.

La preparación de materiales es similar a la de contacto manual, reside en colocar en el interior del molde los porcentajes adecuados tanto de matriz como refuerzo. El proceso se realiza para la obtención de un material con una distribución y espesor requerido [15].

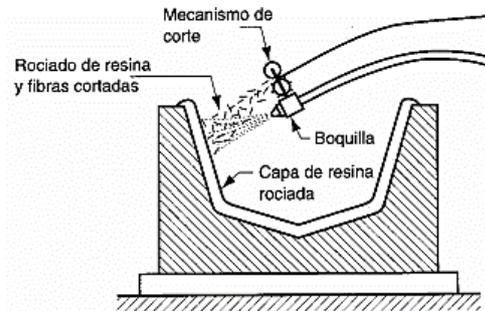


Fig 1.8. Método Spray-up (proyección simultánea) [22].

c) **Bolsa de vacío y presión autoclave:** De igual forma que el spray-up se encadena al método de contacto manual, al cual se agrega mediante capas las láminas sobre el interior el molde, con la intención de retirar el exceso de resina que se excede del laminado [15].

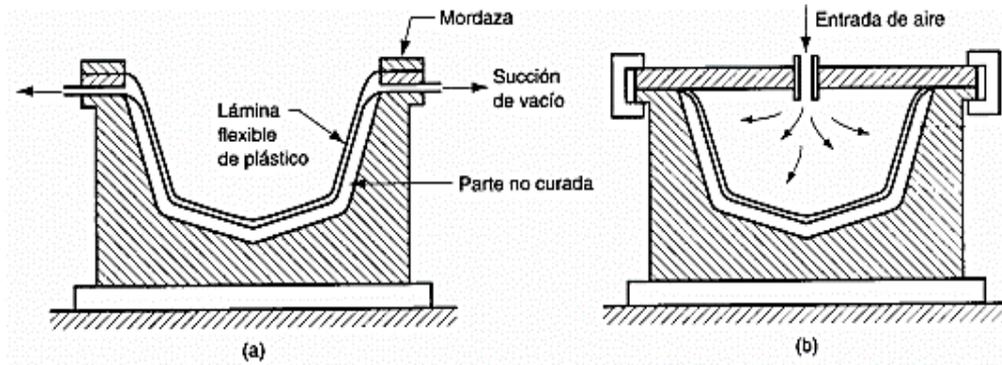


Fig 1.9. Método (a) bolsa de vacío – (b) autoclave [22].

En secuencia al proceso se crea una presión al vacío o autoclave y se añade una bolsa hermética totalmente sellada. El proceso es realizado para extraer el aire generado junto a la resina, consiguiendo la temperatura de curado objetiva [22].

- d) Enrollado de filamentos:* Este método corresponde a la secuencia de hilos (fibra) continuos que atraviesa sobre elementos rodantes (rodillos) hasta llegar al almacenamiento de resina. Una vez fusionados y enfriados los dos materiales se enrollan juntos alrededor de un cilindro.

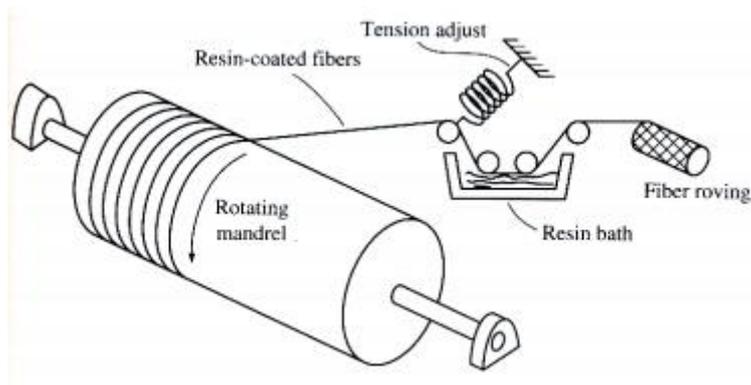


Fig 1.10. Enrollado de filamentos [23].

1.3.6.2 Proceso de Fabricación molde cerrado

Se ha constituido como el proceso de fabricación de calidad en comparación al de molde abierto, por obtener productos de mejores características y terminados. Al igual que el moldeo abierto este mantiene algunos métodos.

- a) **Pultrusión:** Se realiza con la entrega continua de fibras en una sola dirección, en donde se combina con la resina para posteriormente comprimirse a elevadas temperaturas y alcanzar la forma deseada o lo que se conoce como curado de la matriz [22].

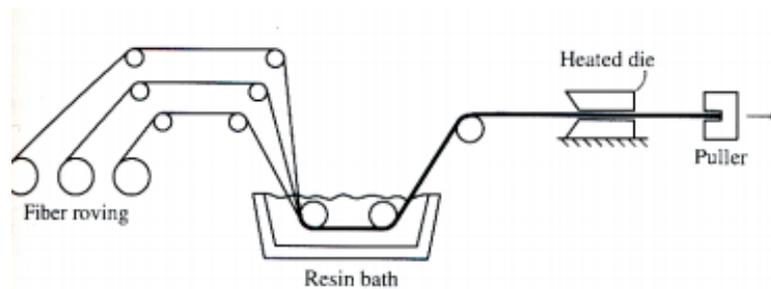


Fig 1.11. Método molde cerrado- Pultrusión [22].

- b) **Método de moldeo comprimido en caliente:** Se realiza el almacenamiento previo de materia prima con temperatura elevada para posteriormente comprimirse, de tal forma que adopten la forma de la cavidad del molde y se obtenga un curado total [23].

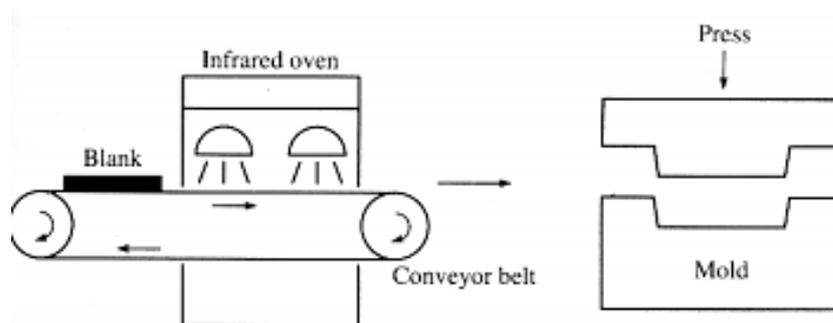


Fig 1.12. Compresión en caliente [23].

- c) **Infusión de Resina:** El refuerzo (fibras) tejido es colocado con antelación en el molde y cerrado. Una vez cerrado el molde se realiza la inyección de la resina a

presiones menores con la finalidad de que el refuerzo se coloque en todo el espacio de la cavidad hasta llenar por completo el molde [23].

d) Prensado en Frio: Para llevar a cabo este proceso se debe considerar dos condiciones; presión y temperatura minoritarias, esto con la finalidad de lograr la fusión del refuerzo y la resina. El alza de temperatura solo ocurre cuando se da el curado [23].

1.3.7 Refuerzo y Matriz en los composites

Para comprender la unión de los dos elementos que conforman un composite es necesario conocer sus características por separado tanto de matriz como refuerzo.

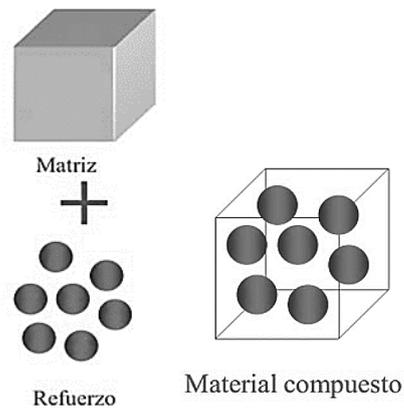


Fig 1.13. Conformación de un composite [24].

1.3.8 La Matriz

Constituye una etapa estable de forma continua independientemente del material que lo conforme, sea este metálico, cerámico, vidrio u cualquier otro. Al establecerlo como matriz este no debe tener una rigidez exorbitante ni ser más resistente que el refuerzo [15].

Características relevantes:

1. Permite la transferencia de cargas al Refuerzo.
2. Controla la conformación del material en el proceso de producción del compuesto.
3. Se usa en su mayoría las matrices poliméricas.
4. Elevan la resistencia a altas temperaturas para que no afecte al refuerzo.
5. Su forma final debe acomodarse a la del material requerido.
6. El material de conformación de la matriz incide en la fracción volumétrica del composite [15] [1].

1.3.8.1 Tipos de Matrices en los composites

Los tipos de matrices son variados y están en dependencia del material a utilizar. Entre las más nombradas están las matrices metálicas, cerámicas, y Poliméricas [8]. Sin embargo, en esta investigación se hace énfasis en las matrices poliméricas.

Este tipo de matrices se aplican mayoritariamente por su propiedad de poseer baja densidad, excelente condición de conformado, y sobre todo facilidad de compra a bajo coste de adquisición [8]. Las más frecuentes son las siguientes:

- a) *Matriz Termoplástica:*** Se encuentran en estado sólido, cambia de estado al incrementar su temperatura, es decir, que al ser sometidas al calor se posicionaran en estado líquido para poder complementare con otros materiales de manera fácil, lo que también corrobora en la capacidad de reciclarse con facilidad. Entre algunos ejemplos están el Polietileno (PE), Poli cloruro de Polivinilo (PVC), Tereftalato de polietileno (PET) todos estos procedentes de un carburante [8].
- b) *Matriz Termoestable:*** Corresponden a matrices tridimensionales que al contrario de las termoplásticas no son de fácil manejo, esto es debido a que se forman mediante reacción química, caso contrario sufren degradación en caso de intentarlo. Este tipo de matrices se procesan con dificultad y entre ellos están las resinas epoxi, poliéster, y fenólica [8].
- c) *Matriz Elastomérica:*** Su característica primordial es la elasticidad, así como la flexibilidad que presenta en conjunto con su elongación (Fig 1.14), en algunos casos alcanza el tamaño de 10 veces la forma inicial sin alterar su representación.

No es deformable fácilmente aun tras superar su límite elástico, lo que ocurre por la limitación de esfuerzos que se le aplican. En este tipo se ubican el caucho natural (látex), caucho vulcanizado, Neopreno como los más relevantes [9] [1].

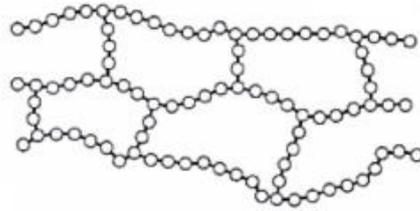


Fig 1.14. Representación de cadenas transversales en matriz elastómera [1].

1.3.8.2 Materiales de matriz elastomérica

Los materiales de matriz elastomérica cumplen con características diferentes a otros materiales poliméricos, es decir, este tipo de materiales mantienen un porcentaje de elongación elevado y en muchos de los casos su cambio de estado los permite ser más eficientes [25].

El cambio de estado que realizan este tipo de materiales ocurre de líquido a sólido mediante la elevación de su temperatura. Aunque no son materiales directamente relacionados existen dos tipos de elastómeros (Fig 1.15):

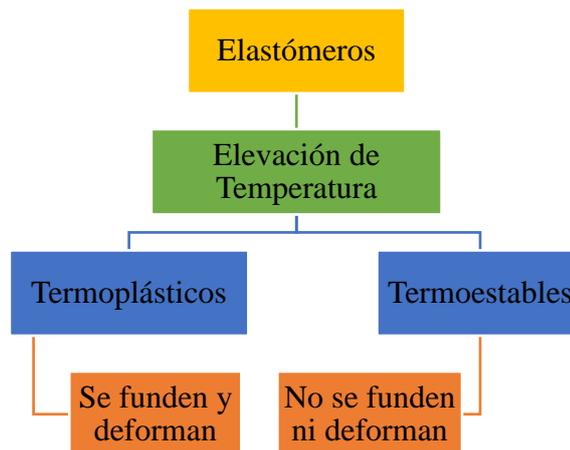


Fig 1.15. Tipos de elastómeros [25].

1.3.8.3 Elastómeros Termoplásticos

Este tipo de material es reconocido como caucho termoplástico, debido a una clasificación de copolímeros, es decir, la combinación de un plástico y un caucho.

El fin de combinar estos dos materiales es obtener propiedades de los dos tipos, pero mejoradas (Propiedades termoplásticas y elastómeras).

La mayor parte de estos materiales son maleables y fáciles de moldear, eso incluye la facilidad de su producción. Se diferencia de los materiales termoplásticos y termoestables por el entrecruzamiento de su estructura en el conformado.

Adicionalmente, de esta combinación resultan materiales con facilidad de reciclaje, característica principal que los materiales termoestables que actuando solos no poseen [26].

a) Látex de poli cloruro de Polivinilo (PVC) – Plastisol

El PVC es un polímero elastómero termoplástico al que es posible encontrarlo en varias presentaciones líquido, sólido y partículas (polvo). El plastificante en combinación con PVC toma una consistencia líquida y se denomina látex de Plastisol (Fig 1.16), el mismo que cambia de estado cuando su temperatura se eleva hasta los 177 °C lo que permite adquirir una consistencia flexible hasta su degradación [1], [27].



Fig 1.16. Látex de Plastisol líquido

La cantidad de mezcla para obtener una consistencia adecuada de los dos elementos no ha sido establecida cuantitativamente, debido a que los fabricantes de productos a base de látex de Plastisol usan cantidades en base a su producción [1].

La aplicación de este polímero en sus diversos estados se encuentra en áreas como; jugueterías, accesorios plásticos, suelas de zapatos, mangueras, estampados y otros similares [27].

1.3.8.4 Elastómeros Termoestables

Los elastómeros termoestables no son deformables una vez establecida su forma la mantiene constante hasta su deterioro, también su constitución es rígida, dura, y frágil y poco solubles, razón por la cual no se los puede reciclar para un posterior uso.

Al ser materiales de condiciones no reversibles tienen el impedimento de ampliar sus aplicaciones lo que constituye un limitante para los elastómeros termoestables, mientras que es una ventaja para los elastómeros termoplásticos que se están constituyendo ventajosamente en la fabricación de nuevos y novedosos materiales [26].

1.3.8.5 Tipos de Elastómeros

Los elastómeros pueden establecer una clasificación variada, pero en este caso se los clasificará en base a su uso; los cristalinos y los amorfos.

La tabla 1.2 refleja los más comunes con su caracterización acorde al costo.

Tabla 1.2: Elastómeros comunes [28].

	Amorphous		Crystalline	
Low cost	PVC	Poly Vinyl Chloride	HDPE	Poly Ethylene High Density
	SAN	Styrene Acrylo Nitrile	LDPE	Poly Ethylene Low Density
	PS	Poly Styrene	PP	Poly Propylene
	PMMA	Poly Methyl Metha Crylate		
	ABS	Acrylonitrile Butadiene Styrene		
SMA	Styrene Maleic Anhydride			
Medium Cost	PPO	Poly Phenlene Oxide	UHMWPE	Ultra High Molecular Weight
	PC	Poly Carbonate		Poly Ethylene
	PPC	Poly Phthalate Carbonate	POM	Poly Oxy Methylene
	PTFE	Poly Tetra Fluoro Ethylene(Teflon)	PA PBT PET	Poly Amide Poly Butylene Terephthalate Poly Ethylene Terephthalate
High Cost	PAR	Poly Arylate	PA-4,6	Poly Amide-4,6
	PES	Poly Ether Sulfone	PPA	Poly Phthal Amide
	PEI	Poly Ether Imide	PPS	Poly Phenylene Sulfide
	PPSU	Poly Phenyl Sulfone	LCP	Liquid Crystal Polymers
	TPI	Thermoplastic	PVDF	Poly Vinyl Diene Fluoride
		Polyimide	FP	Fluoro Polymers
	PAI	PolyAmide Imide	PEEK	Poly Ether Ether Ketone

1.3.9 El Refuerzo

Es la etapa del material alterna o variable que se adjunta a una matriz para conformar el composite. Este componente se presenta de formas diversas de entre las más conocidas resaltan las fibras y las partículas [15].

Características relevantes:

- a) Mejora las propiedades de la Matriz en todos sus campos.
- b) El tamaño y forma del refuerzo influyen en la resistencia del composite.
- c) Deben ser tenaces a temperaturas grandes.
- d) Su distribución en combinación a la matriz debe ser equilibrado [9] [15].

1.3.9.1 Tipos de Refuerzo

Indistintamente de la naturaleza de los refuerzos, estos se clasifican en:

- a) *Refuerzo fibroso:* Constituye al tipo de refuerzo referente a las fibras, las mismas que son de origen natural o sintético. Este tipo es manejable y para su uso se establece una variedad de direcciones [29].

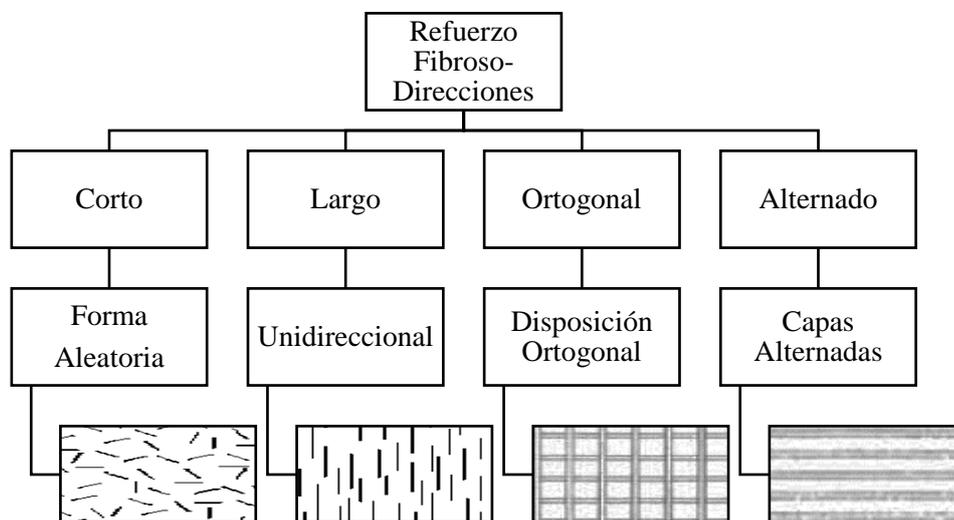


Fig 1.17. Dirección de refuerzos fibrosos

- b) *Refuerzo laminado:* Indicado por su nombre, se presenta laminarmente de variedad de espesores [29]. Al utilizar este tipo de refuerzo el composite brinda mejor

resistencia [12]. Este tipo de refuerzo se forma a partir de una repetición de láminas con orientación normal unidireccional, bidireccional o multidireccional cuando son materiales isotrópicos. [30]

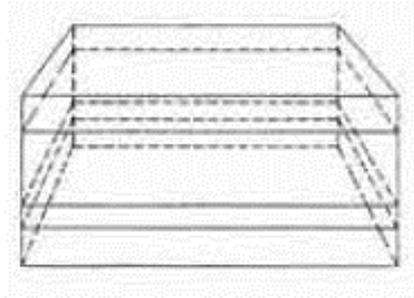


Fig 1.18. Esquematación de la fibra laminar en el composite [29].

- c) *Refuerzo Particulado*: Constituye elementos muy pequeños de forma casi esférica en algunos casos y amorfo en otros, se presentan en dos distinciones: grande y por dispersión.

Su composición se distingue al poseer mayor dureza que la matriz a la cual se agrega, este tipo de refuerzo brinda mejor resistencia cuando se unifica de mejor manera las partículas con su matriz, en su mayoría se utiliza para añadir características de varianza múltiple a un material.

Algunos ejemplos de este material son las partículas de caucho, polvo de madera, arena, entre otros [8].

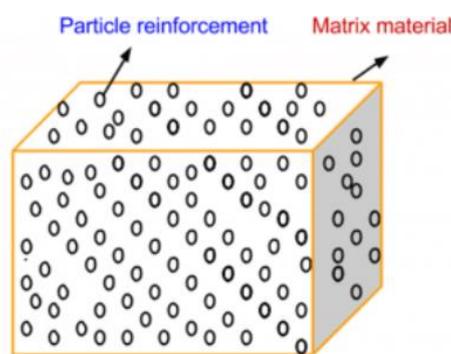


Fig 1.19. Esquematación de material compuesto con refuerzo particulado [19].

1.3.9.2 Presentación de Material Particulado

El material particulado es proveniente de la molienda mecánica o trituración de elementos a los cuales se requiere dar un uso más benéfico. Para el caso de estudio el enfoque principal está relacionado al material particulado proveniente de la trituración de neumáticos en desuso.

A continuación, en la tabla 1.3 se indica según el componente el tamaño de partícula de granulo de caucho.

Tabla 1.3: *Tamaño y componente de partículas de caucho [31].*

COMPOSICION /COMPONENTE	DESCRIPCION
Caucho vulcanizado (%)	< 0,10 para tamaños de caucho superiores a 6mm.
Materiales ferromagnéticos (%)	< 0,01 para tamaños de caucho inferiores o iguales a 6mm.
Materiales textiles (%)	< 0,05
Otros materiales (%)	< 0,05

1.3.10 Granulo de caucho como refuerzo

El gránulo de caucho proveniente del reciclaje y posterior trituración de neumáticos en desuso. En Ecuador esta molienda está tomando auge, debido a que forma parte de nuevos materiales (composites) y actúa como refuerzo (Fig 1.20), es decir, se lo incluye en la mezcla de colorantes o plastificantes, los mismos que al ser calentados se tornan en un material sólido flexible [32].



Fig 1.20. *Refuerzo particulado- Caucho [15].*

Al reutilizar este material como refuerzo, los materiales ya probados han generado mejores propiedades de resistencia mecánica, compresión corrosión, fricción, elongación entre otras, por ende, se evidencia el alargamiento de su vida útil.

Según ECO GREEN [32], este tipo de materiales está reemplazando superficies deslizantes y áreas decorativas en las industrias. Así mismo menciona que la caída de personas sobre el material no genera lesiones graves [32].

1.3.10.1 Tamaños de granulo de Caucho

El tamaño de gránulo de caucho reciclado en el país es variado, es decir que depende de la aplicación en la que se va incluir.

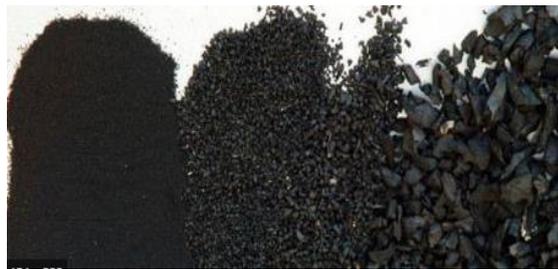


Fig 1.21 Tamaños de granulo de caucho [17].

Para identificar el tamaño de las partículas (polvo) después de la molienda de los neumáticos, esta es pasada por tamices que poseen una medida exacta para poder clasificarlos por tamaño de partículas como por ejemplo en gránulos que van desde 0 -0,5 mm los más pequeños y los más grandes desde 1,2 – 2,5 mm [1].

1.3.11 El caucho

El caucho acorde a su naturaleza está establecido en dos tipos.

- 1. Caucho Natural.* - Se obtiene de árboles a los cuales les fluye una sustancia denominada látex, el mismo que tiene tres presentaciones en lámina, gránulo, y ripio. El cultivo de este material mantiene el proceso de filtrado, coagulado, secado, y empaque del producto final [33].
- 2. Caucho Sintético.* - Es un producto obtenido a partir de una reacción química con base en petróleo, a esta reacción química se la conoce como polimerización. Algunos de los cauchos sintéticos que se obtienen son: el butadieno (SBR), Poli butadieno (PBR), isopropeno [33].

1.3.11.1 Características y utilidad del Caucho

El caucho al pertenecer a los elastómeros posee diversas características, las mismas que están en función del método de obtención.

En la tabla 1.4 se realiza la comparación entre los dos tipos con sus respectivas características.

Tabla 1.4. Caucho Natural vs Sintético [26], [33].

<i>Caucho Sintético</i>	<i>Caucho Natural</i>
Porcentaje de elongación hasta 10 veces su tamaño original.	Porcentaje de elongación extendido no mayor a 10 veces su tamaño original.
Obtención mediante reacción química.	Recolección mediante goteo de fuente natural.
Aplicaciones sin limitantes.	Aplicaciones limitadas.
Cambio de estado con elevación de temperatura.	Cambio de estado con elevación de temperatura.

Por otra parte, el caucho independientemente de su forma de obtención establece una variedad de usos, los mismos que con el avance tecnológico van en aumento con el paso de los días. En la figura 1.20, se muestra algunas aplicaciones relevantes.

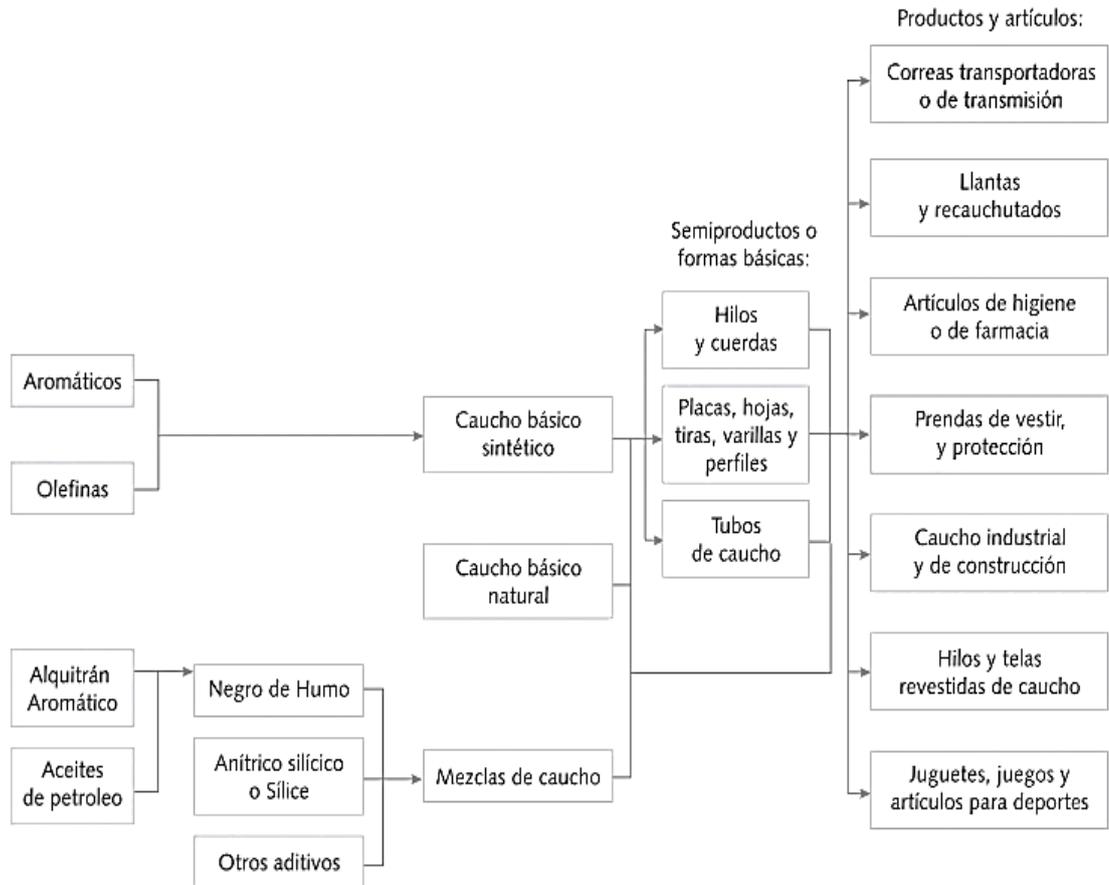


Fig 1.22. Red aplicativa del caucho [33].

1.3.11.2 Componentes de los neumáticos

Los neumáticos tienen como componentes principales los dos tipos de caucho el natural y sintético, en adición a estos también poseen un porcentaje de acero y poca cantidad de fibra textil [34].

En adición a los componentes de un neumático también se tiene materiales que mejoran sus propiedades, la maleabilidad del caucho, antioxidantes, estos actúan en conjunto con el fin de disminuir el tiempo de vulcanizado y aumentar la durabilidad del caucho [34].

A continuación, se muestra los nombres y porcentajes de componentes que mantienen los neumáticos de vehículos livianos y pesados.

Tabla 1.5. Componentes de caucho vehículos livianos vs pesados [34].

MATERIAL	AUTOMOVILES Y CAMIONETAS	CAMIONES Y MICROBUSES
Caucho Natural	14%	27%
Caucho sintético	27%	14%
Negro de Humo	28%	28%
Acero	14 – 15%	14 – 15%
Fibra textil, suavizantes, óxidos, antioxidantes y otros	16 – 17%	16 – 17%
Peso promedio	8.6 Kg	45.4 Kg
Volumen	0.06 m ³	0.36 m ³

1.3.12 Reciclaje del caucho de neumáticos usados

El reciclaje del caucho es un punto de interés, debido a que va alcanzando niveles de contaminación excesivos, y junto con ello enfermedades para la humanidad.

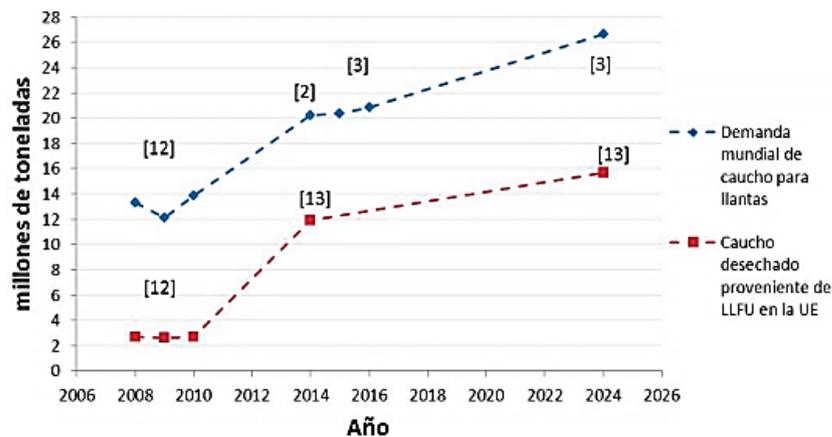


Fig 1.23. Datos estadísticos de neumáticos en desuso visión 2026 [35].

En Ecuador el caucho de mayor contaminación proviene de los neumáticos en desuso, los mismos que después de su vida útil no poseen un almacenamiento adecuado.

Muchos de los neumáticos viejos no tienen destino final, es decir, que cuando han cumplido su función principal son almacenados en basureros, muchas de las veces quemados, o simplemente arrojados a extensiones de terreno deshabitados [7].

1.3.12.1 Métodos de reciclaje de neumáticos viejos.

Las técnicas de reutilización del caucho se dividen en procedimientos mecánicos, crio mecánicos, termo- mecánicos, químico- mecánicos, y otros. El conjunto de procesos mantiene la función única de llevar al caucho a un estado de molienda de donde se obtiene varios tamaños de partículas o polvo [35].



Fig 1.24. Secuencia de reciclaje de neumáticos [36].

El fin de llevar a ese punto al caucho, es poder obtener una reacción química positiva al agregar otros aditivos o en otros casos al combinar con otros materiales. De entre las técnicas más usadas se tiene:

1. Termólisis

El proceso inicia al someter al neumático dentro de una cámara con la menor cantidad de oxígeno, con el fin de obtener el rompimiento de las cadenas químicas y posteriormente alcanzar cadenas hidrocarburíferas [37].

2. Pirólisis

Es un proceso bastante similar a la termólisis, consiste en provocar la desintegración del material mediante el desgaste térmico a causa de la ausencia de oxígeno.

Para llegar a ese punto es necesario mantener el neumático a una temperatura en un rango de 400 a 800 °C [37]. En este grupo también se identifican dos tipos en relación a su temperatura.

- a) **De baja Temperatura:** Realiza la descomposición en polietilenos sumergidos en aceite, cuyo punto final de fusión está sometido a 400°C cuando se lo realiza con ceras del polímero.
- b) **De alta Temperatura:** El desarrollo de este proceso es en base a una temperatura de 630 – 877 °C. Ocurre cuando los neumáticos son insertados en arenas de Cuarzo [37].

3. Incineración

Este proceso está relacionado al cambio de estado de los neumáticos, en donde su transformación ocurre cuando el producto mediante combustible pasa de un estado gaseoso, dándole la característica de ser un material sólido e inactivo.

En este proceso se adiciona la elevación de la temperatura, para el control de la oxidación. A pesar de ser un proceso positivo mantiene la característica negativa de emanar gases tóxicos y contaminantes al ambiente [37].

4. Molienda o Trituración

El desarrollo del proceso de trituración se realiza en dos sub procesos y consiste en cambiar el estado de los neumáticos y llevarlos a ser un material particulado de diferentes tamaños y en algunos casos polvo. El fin de utilizar la trituración es mantener la homogeneidad del material en su mayoría y a su vez obtener combustibles como materiales de segundo orden [37].

- a) **Molienda Mecánica:** Se realiza la molienda mediante un proceso mecánico, donde se separa los componentes de los neumáticos, es decir, fibras metálicas y fibras textiles.
- b) **Molienda Criogénica:** Compone al proceso de separación de componentes, mediante el cual se tritura los neumáticos una vez que estos hayan sido congelados con líquido de nitrógeno.

1.3.12.2 Aplicaciones del reciclaje de neumáticos en desuso

La relación de crecimiento tecnológico y economía del país crea nuevas formas y soluciones que van de la mano con el reciclaje; alberga el remplazo de materiales ya existentes por materiales de menor costo y mayor vida útil [35].

Para determinar el uso y aplicabilidad del caucho se necesita identificar un área en común, tal es el caso de las superficies deslizantes y pisos en general. Algunas de las aplicaciones se indican en la tabla 1.6.

Tabla 1.6. Aplicaciones de partículas de caucho reciclado procesado [38], [39], [35].

USO	FOTOGRAFÍA
Drenaje en pistas y campos deportivos	
Planchas para revestimientos y baldosas	
Cintas transportadoras y componentes reparadores	
Superficies no deslizantes	

<p>Cintas de carga y descarga</p>	
<p>Revestimientos para suelos de hospitales</p>	
<p>Pisos Industriales</p>	

1.3.13 Desgaste

El desgaste es la pérdida o desprendimiento de partículas, fibras, y cualquier elemento conformante en un material; este desprendimiento impide extender el tiempo de uso de diversos materiales.

Adicionalmente, la pérdida de propiedades, características y material se produce en todo elemento destinado a brindar un uso servicio a la humanidad; estos materiales pueden ser metálicos, no- metálicos, cerámicos, vidrios y polímeros.

Determinar a simple vista el desgaste no es posible debido a que el deterioro no se constituye como una propiedad específica de los materiales, sino más bien como la relación entre materiales que mantengan contacto permanente [40].

Al existir una variedad de materiales, el estudio del desgaste es bastante amplio, razón por la cual el enfoque principal para este caso de análisis son los materiales poliméricos, es decir aquellos que mantienen la característica de plasticidad [3].

1.3.13.1 Desgaste de materiales Poliméricos

El desgaste en materiales viscoelásticos como son reconocidos con frecuencia; consiste en el desprendimiento de partículas de su constitución a través del uso frecuente; o mecanismos de contacto mecánico.

Esta pérdida de masa en los polímeros puede ser determinada a partir de la comparación de peso inicial (antes de brindar un servicio) y final (después de brindar un servicio), el mismo que se puede verificar con el pesaje como técnica principal o a su vez, aplicando el método tradicional de observación y comparación [3].

1.3.14 Desgaste en nuevos materiales – Composites

El desgaste en nuevos materiales se presenta de la misma manera que en los materiales existentes desde años atrás y con una variedad de usos, es decir que, al utilizarlos en diferentes espacios, actividades, o servicios sufren desgaste y deterioro; sobre todo cuando este tipo de materiales está sujeto a movimientos constantes bajo la aplicación de una carga.

Por tal motivo, estudios realizados con anterioridad muestran la elevación del porcentaje de resistencia en materiales compuestos a base de matriz y refuerzo [4], [5].

1.3.15 Tipologías de desgaste

De manera general el desgaste se produce en materiales de metal puro, no metales, poliméricos, cerámicos, vidrios; por mencionar algunos, entonces para identificar el tipo de desgaste que sufre cada uno se ha clasificado en los siguientes:

- a. Desgaste de corrosión:
- b. Desgaste erosivo
- c. Desgaste mediante Fatiga
- d. Desgaste mediante abrasión
- e. Desgaste por adherencia
- f. Desgaste de ludimiento.

A continuación, se extiende la definición de la tipología de desgaste.

1.3.15.1 Desgaste de Corrosión

La velocidad de este tipo de desgaste se mantiene controlada a partir de reacciones químicas o electro- químicas expuestas al medio ambiente, estas en primera instancia son las causantes de la oxidación (corrosión) a través de la abrasión mecánica. Este proceso termina cuando la reacción química arroja partículas pequeñas como material sobrante (desperdicios) [41].

1.3.15.2 Desgaste erosivo

El desgaste erosivo causa el desprendimiento y eliminación de material entre las dos superficies de contacto a través de un fluido que en su contenido posee partículas líquidas para generar la abrasión (Fig 1.25) [41].

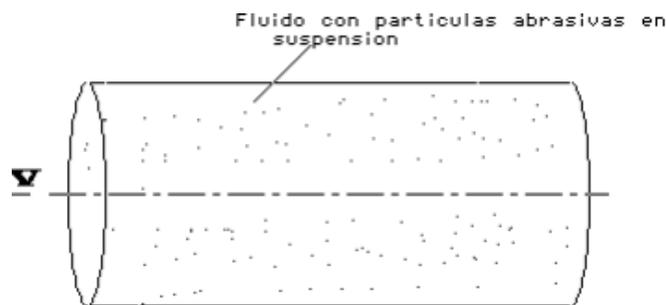


Fig 1.25. Desgaste con fluido de partículas abrasivas [41].

Las aplicaciones de las partículas para generar el desgaste son mediante el movimiento de velocidad (movimiento cinemático), el mismo que es el responsable de que las superficies realicen el proceso de desgaste a partir de una inclinación paralela, generando lo que se conoce como zona de erosión abrasiva, mientras que a la zona erosionada se le da el nombre de erosión de impacto minoritario [41].

1.3.15.3 Desgaste por Fatiga en superficie

El desgaste por fatiga superficial con remoción de material se da en todos los casos en que dos superficies están en contacto, sin embargo, para identificar de mejor manera este tipo de desgaste hay que basarse en el movimiento pendular o de una sola dirección entre superficies [41].

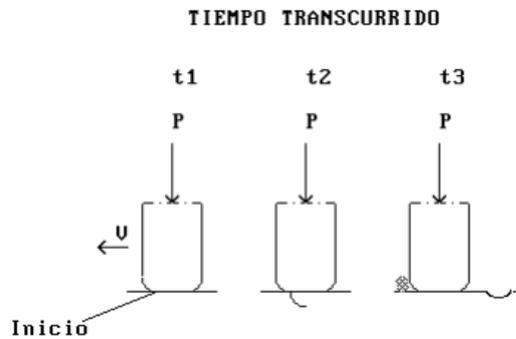


Fig 1.26. Esquematización desgaste en superficie por fatiga [41].

Este tipo de desgaste puede ser identificado por la falta de lubricante en la zona de contacto entre: engranes, levas; rodamientos de diferentes tipos; y mecanismos diseñados para fricción. La evidencia del desgaste se presenta por debajo de la superficie en un punto donde el esfuerzo a cortante permitido es el más alto [41].

1.3.15.4 Desgaste mediante abrasión

El desgaste a partir de medio abrasivo, se produce al mantener dos superficies en contacto; pero una de ellas produce remoción de material ya que se constituye un material más resistente, o a su vez es el encargado de la remoción del material del menos resistente [41].

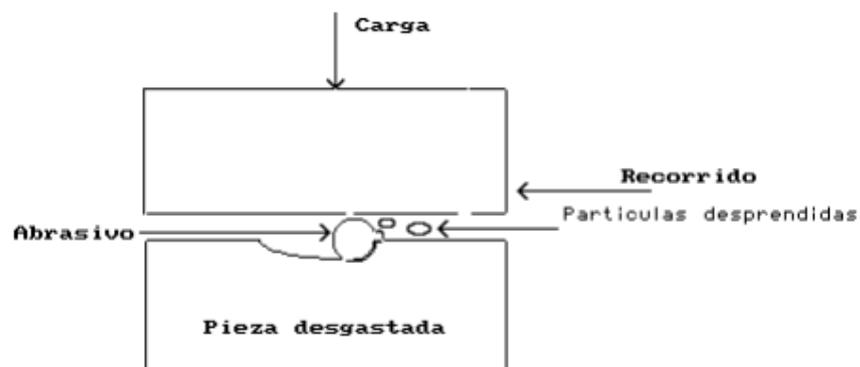


Fig 1.27. Representación de elementos a desgaste abrasivo [41].

En este tipo de desgaste ocurre que en algunos casos en donde se presentan superficies de materiales con dureza similar, ocurre la incrustación de partículas del uno hacia el otro.

1.3.15.5 Desgaste por adherencia

La acción de desgaste es producida por la relación de contacto con deslizamiento entre dos superficies. La zona de contacto es pequeña y no es perceptible al ojo humano, por tal razón es que no se visualiza la ruptura de la interfaz y solo se observa el deslizamiento entre superficies.

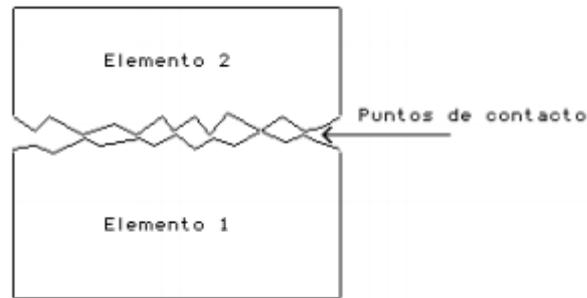


Fig 1.28. Esquema de elementos a desgaste por adhesión [41].

Este fenómeno se produce a causa de las grandes cargas que se aplica sobre los materiales; cuando están en contacto una superficie con la otra, causando grandes daños.

1.3.15.6 Desgaste de ludimiento

Este tipo de desgaste es ejemplificado mediante las zonas en contacto de maquinaria que está sometida a movimientos vibratorios frecuentes. Estas 2 zonas a más de tener un contacto permanente, están expuestas a la presión de carga en una de ellas para permitirse el contacto.

1.3.16 Desgaste abrasivo en composites

Los materiales nuevos (composites) son utilizados en diversos campos, por ende, estos materiales poseen propiedades mejoradas de resistencia térmica, eléctrica, fractura, durabilidad y fatiga. Al combinar todas las propiedades han alcanzado una mejora evidente de *tenacidad / dureza* en relación a su peso.

Estos materiales mantienen un limitante debido a la falta de estudios que indiquen el comportamiento frente al desgaste abrasivo.

Sin embargo, se indica que la mejora de propiedades también garantiza la resistencia al desgaste y los resultados están en dependencia del porcentaje matriz- refuerzo [42].

1.3.17 Ensayos de Abrasión

El fin de realizar ensayos de desgaste abrasivo a los materiales es conocer la cantidad de masa, volumen o profundidad perdido para determinar si mantiene o no una buena resistencia al desgaste.

El ensayo de abrasión se lleva a cabo bajo parámetros establecidos en la normativa correspondiente al material, estas normas mencionan las dimensiones, número de probetas, el código de muelas abrasivas a utilizar; los parámetros de montaje de probeta, entre otros aspectos de ensayo.

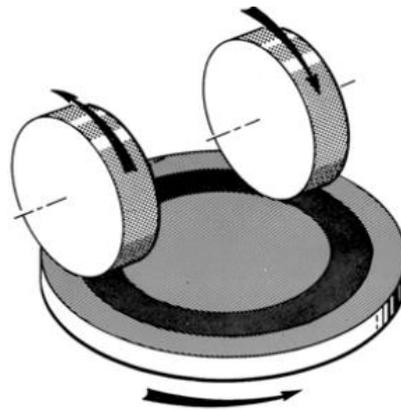


Fig 1.29. Relación de contacto muela abrasiva y probeta [43].

La prueba de desgaste mediante abrasión consiste en colocar dos muelas abrasivas de sentido giratorio vertical y sobre un plato giratorio horizontal. Estas muelas abrasivas se usan en dependencia del material a analizar; el contacto se realiza en direcciones opuestas con giro rotacional en posición vertical dejando huella circular uniforme sobre la probeta como se me muestra en el esquema de la Fig 1.29 [43]. El proceso en función al material se realiza a diferentes revoluciones según sea el requerimiento de estudio.

Una vez concluido el proceso se verifica la equidad de pérdida de material o volumen y se calcula esa pérdida con lo que estima si ese porcentaje es o no aceptable, permitiendo describir el tiempo de vida útil y las garantías del uso del mismo [44].

Pese a que un ensayo de desgaste puede indicar la resistencia a la abrasión en un porcentaje determinado no alcanza el 100% de su comportamiento [43].

1.3.17.1 Abrasímetro Taber

Es una herramienta de precisión cuyo diseño fue realizado para desarrollar ensayos y pruebas de desgaste a partir de medios abrasivos. El medio de aplicación de un abrasímetro es sobre materiales sólidos, rígidos, recubrimientos, telas, polímeros, caucho, y otros.



Fig 1.30. Abrasímetro Taber [45].

La abrasión con este tipo de máquina tiene como finalidad proveer datos que indiquen el comportamiento del material frente al desgaste, de tal manera que permita estimar su comportamiento en el uso final que se le vaya a proporcionar.

1.3.17.2 Muelas abrasivas

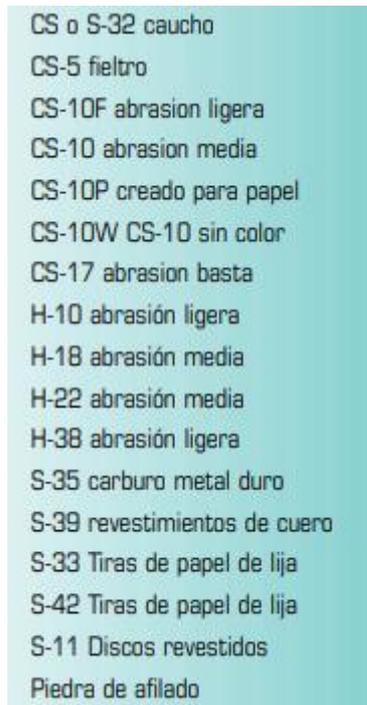
Las muelas abrasivas realizan el contacto abrasivo en las pruebas de desgaste.

Para determinar el tipo de muelas abrasivas a utilizar es recomendable realizar un ensayo previo junto con el material de prueba. La clasificación es en base al tipo de maquinaria a utilizar para el ensayo, tal es el caso del abrasímetro TABER.

Existen dos tipos comunes las calibre, cuya composición corresponde a un aglomerante con elasticidad y partículas de abrasión con óxido de aluminio utilizado en pruebas de materiales rígidos, por otra parte, también están las Calibrade que no tienen la propiedad de ser elásticas, pero poseen un aglomerante de arcilla.

Esto sucede en conjunto con partículas de óxido silícico, que por el contrario a las muelas calibre se usan para materiales flexibles.

A continuación, en la Fig 1.31 se indica algunas de ellas de acuerdo al nivel de abrasión y material de aplicación.



CS o S-32 caucho
CS-5 fieltro
CS-10F abrasion ligera
CS-10 abrasion media
CS-10P creado para papel
CS-10W CS-10 sin color
CS-17 abrasion basta
H-10 abrasión ligera
H-18 abrasión media
H-22 abrasión media
H-38 abrasión ligera
S-35 carburo metal duro
S-39 revestimientos de cuero
S-33 Tiras de papel de lija
S-42 Tiras de papel de lija
S-11 Discos revestidos
Piedra de afilado

Fig 1.31 Muelas abrasivas – nivel de abrasión [43].

1.3.17.3 Métodos de evaluación de desgaste

Los métodos de evaluación de desgaste pueden ser varios, para el caso se lo clasifica en algunos métodos principales.

a) Evaluación Visual

El método de evaluación visual está relacionado directamente con el aspecto físico deteriorado que se ve a simple vista en superficies con recubrimiento, impresiones leves, metales de bajo espesor, por mencionar algunos.

En el caso de algunos materiales leves para determinar el desgaste hay que hallar el punto de afloramiento y evaluarlo en una escala del 1 al 5; al punto de afloramiento se lo define como la visualización del desgaste hasta una capa diferente a la superficial.

Para describir los resultados a partir de este método hay que tener un control específico de iluminación, adicionalmente repetir el proceso en varias ocasiones para garantizar los resultados del ensayo realizado [43].

b) Pérdida de masa

La pérdida de masa corresponde a un método cuantitativo mediante el cual se establece la cantidad de masa pérdida debido al desgaste abrasivo. Al evaluar mediante este método es necesario contar con una balanza calibrada que entregue valores de masa en miligramos, debido a que existen materiales que pierden una cantidad de masa casi despreciable y es necesario comparar su peso antes y después del ensayo [43].

$$\text{Masa perdida} = m_i - m_f \quad \text{Ec. (1)}$$

Donde:

m_i = masa inicial de la muestra sin ensayo

m_f = masa final de la muestra ya ensayada

La adherencia de partículas puede darse por situaciones del ensayo mismo, por eso es recomendable que al terminar el ensayo las probetas estén completamente limpias antes de realizar el pesaje. Es recomendable utilizar este método cuando se requiera comparar los resultados frente a otros materiales de similares características como su gravedad específica.

La comparación de pérdida de peso se realiza en base al índice de desgaste el cual es la pérdida de masa en miligramos por 1000 ciclos de abrasión. Si el índice de desgaste es menos, mayor resistencia tendrá el material ensayado [43].

c) Pérdida de Volumen

La evaluación de pérdida de volumen está relacionada directamente a la corrección de la gravedad específica en los materiales. La comparación en este caso no se la realiza en cuanto al peso, sino más bien a la característica de acabado una vez que haya terminado el ensayo de abrasión, ya que por ejemplo si se desgasta un material de aluminio en comparación con el zinc, a simple vista se va evidenciar el desgaste del

uno en función del otro, el mismo que varía en volumen, mientras que en peso pueda que ambos tengan lo mismo.

Entonces para determinar su tasa de desgaste se deberá aplicar un índice de corrección que evidencia la pérdida de volumen en función de sus gravedades y densidad [43].

d) Medición de espesor

La medición de espesor como método de evaluación del desgaste abrasivo se realiza con un micrómetro o algún instrumento debidamente calibrado que cumpla la misma función. El proceso inicia al realizar mediciones sobre el área desgastada y no desgastada de manera simultánea y realizando la diferencia entre las dos instancias. Para establecer valores valederos hay que realizar al menos cuatro mediciones en cada área.

e) Otros Métodos

La aplicación de métodos adicionales se lo realiza en materiales cuyas especificaciones requieren de un énfasis especial debido a que su aplicación es específicamente determinada, tal es el caso de tejidos textiles, juntas herméticas, materiales aislantes, envases médicos, entre otros.

1.3.18 Dureza

La dureza corresponde a una propiedad específica de cada material, dicha propiedad se la incluye dentro de las propiedades mecánicas como la tensión.

Para medir, verificar, y conocer que magnitud de dureza posee cada material se utilizan diversos instrumentos, de los cuales por su brevedad y facilidad de denotar resultados han destacado los durómetros shore.

Estos instrumentos pueden no llegar a ser tan precisos, pero arrojan resultados fiables siempre y cuando la toma de medida se realice en base a carga fija (muerta) [46].

1.3.18.1 Escalas y tipos de dureza

La dureza se mide en diferentes escalas y estas están acorde al tipo de método de análisis, para el caso de materiales termoplásticos, elastómeros y cauchos el método común de medición es la dureza Shore A, D, IRHD; cuyos valores de conversión se puede identificar en la Tabla 1.7.

Tabla 1.7. Valores de conversión de Durezas [47].

conversor durezas				
°Shore A DIN 53505	°IRHD ASTM D 1415	°Shore D DIN 53505	°Shore O ASTM D 2240	°Shore 00 ASTM D 2240
100	100	58		
95	95	46		
90	90	39		
85	85	33		
80	80	29	84	98
75	74	25	79	97
70	68	22	75	95
65	64	19	72	94
60	62	16	69	93
55	54	14	65	91
50	49	12	61	90
45	44	10	57	88
40	39	8	53	86
35	35	7	48	83
30	28	6	42	80
25			35	76
20			28	70
15			21	62
10			14	55
5			8	45
<i>Elastómeros compactos y celulares</i>	<i>Elastómeros compactos</i>	<i>Poliuretanos, PTFE rígido, Termoplásticos y Elastómeros muy duros</i>	<i>Elastómeros compactos y celulares de media densidad</i>	<i>Elastómeros celulares de media y baja densidad</i>

1.3.18.2 Dureza en materiales termoplásticos, elastómeros vulcanizados

Al igual que en materiales metálicos, cerámicos y poliméricos, los elastómeros o cauchos vulcanizados poseen una dureza, misma que es objeto de estudio dependiendo de su forma y espesor.

La dureza en este tipo de materiales mantiene un contraste de incremento con respecto a la tracción, puede ser de incremento a disminución todo dependerá de la composición del material.

1.3.18.3 Ensayo de Dureza en termoplásticos, elastómeros vulcanizados

Los ensayos de dureza para materiales termoplásticos, elastómeros vulcanizados son de gran rendimiento y se constituyen como un ensayo no destructivo, son de utilidad para evaluar la acción de los componentes combinados específicamente en composites [48].

Este tipo de ensayo se realiza mediante la norma ISO 48, que posee otras equivalencias como la ASTM D 2240. Esta normativa indica la ampliación del ensayo de forma microscópica o a su vez microscópica.

Mediante la especificación de la norma el ensayo de dureza será aplicado sobre muestras de un espesor superior a 2 mm y hasta 10 mm, dependiendo del material [46]. Mientras que en cuanto a la superficie de las muestras para la obtención de resultados se menciona que debe estar totalmente limpia y lisa. Adicionalmente, se debe aplicar el proceso de ensayo repetitivo por tres ocasiones consecutivas [47].

1.3.19 Degradación de composites

Los composites al ser materiales de conformación polimérica en gran porcentaje, tienden a envejecer y deteriorarse con mayor facilidad al estar expuestos a la intemperie.

El deterioro es evidente tras el paso de los días, en ocasiones años, todo depende de la conformación del material, para ello se toma en cuenta la decadencia física, cambios de cristalinidad, deterioro de propiedades mecánicas, erosiones, y otros.

La degradación de composites se da en dependencia al uso y a la situación de exposición que reducen la vida útil de los materiales. Los estudios sobre materiales sometidos a exposición de intemperie buscan conocer el comportamiento del material y en base a eso buscar alternativas que mejoren esas bajas y permitan alargar la vida útil [5].

1.3.19.1 Degradación de Polímeros

Algunas de las características de la degradación en polímeros son la oxidación térmica, la foto-oxidación atmosférica, el ozono, la hidrólisis, y la oxidación. Para comparar estos parámetros en diversos polímeros se establece una escala de evaluación frente a su comportamiento donde:

e = Excelente, mb = muy bueno, b = bueno, p = pobre, mp = muy pobre

Tabla 1.8. Comparación de propiedades de degradación [5].

Polimero	Resistencia al proceso degradativo				
	Oxidación Térmica	Foto-oxidación atmosférica	Ozono	Hidrólisis	γ -Oxidación
Poliétileno	p	p	e	e	mb
polipropileno	mp	mp	e	e	p
Poliestireno	mb	p	e	e	b
Polimetil metacrilato	b	e	e	b	mb
Politetrafluoretileno	e	e	e	e	mp
Poliámidas (Nylon 6 y 6,6)	mb	mb		mb	mb
Poliacrilonitrilo	p	b	e	b	mb
Policloruro de vinilo	mp	p	e	e	p
Politereftalato de etileno	b	b	e	b	b
Polióxido de metileno	p	p	mb	mb	mp
policarbonato	mb	p	b	b	b
Polióxido de fenileno	mp	mb	b	b	b
Poliéster uretano	mb	mb	b	b	mb
Poliuretano	p	p	b	mb	mb
Poli(m-fenileno isoftalamida)	e	mp	e	b	e
Poli(p-fenileno tereftalamida)	e	mp	e	b	e

1.3.19.2 Tipos de degradación comunes en los materiales.

El deterioro de materiales mantiene diversas causas y estas son explicadas a continuación:

- a) **Degradación térmica:** Ocurre al mantener a un material por encima de los 200 °C, como método de afectación principal. Un segundo factor que provoca la degradación térmica son las condiciones ambientales a las que es expuesto el material.
- b) **Degradación por Radiación:** La radiación deteriora los polímeros a base de alta energía sobre los polímeros en donde la proyección de rayos x y gama alteran la interrelación del núcleo y los átomos electrónicos que giran alrededor.
- c) **Degradación Mecánica:** Este tipo de degradación se produce por el paso de energía a través de los materiales, los mismos que son causados por la excesiva aplicación de carga sobre ellos, o en ocasiones por la cantidad de esfuerzos mecánicos a los que están sometidos durante su funcionamiento.
- d) **Degradación química:** Se relacionada directamente al deterioro por la aplicación de sustancias químicas con las que no son compatibles, debido a que al ser más agresivos cambian su estructura de conformación inicial.
- e) **Biodegradación:** Ocurre como una propiedad intrínseca de los materiales naturales (madera, marfil, etc.), cuando generan enzimas de características diferentes a las que poseen solos, la forma de evitar este proceso es aplicando un método de limpieza constante con aislamiento físico – químico. Se diferencia de la degradación ambiental porque esta se produce por la acción de la luz y el calor acumulado, mas no por microorganismos propios del material [49].

1.3.20 Prueba de exposición a la intemperie.

La prueba de exposición a la intemperie tiene como objetivo analizar y determinar el comportamiento de los materiales frente a factores climáticos como, Radiación UV, precipitaciones y humedad.

La normativa que permite establecer el método aplicativo frente a este comportamiento de intemperismo en materiales plástico es la ASTM D-135, la misma que explicada detalladamente cuales son los parámetros, procedimiento y factores a considerar para la colocación de las muestras a exposición.

1.3.21 Manufactura del material compuesto de matriz elastomérica de látex (PVC líquido) reforzado con partículas de gránulo de caucho.

La elaboración del material compuesto se lleva a cabo partiendo desde la obtención y disponibilidad de materiales. En donde ya obtenidos los materiales se procede a la elaboración del composite.

El composite se elabora para la variación de refuerzo y matriz, en donde se analizan tres configuraciones principales:

- a. 60 % Látex y 40% PGCR
- b. 70 % Látex y 30% PGCR
- c. 80 % Látex y 20% PGCR

Como base fundamental para determinar las cantidades de masa y volumen que contendrá la mezcla del composite, se halla la densidad de cada componente de forma individual. Una vez hallada su densidad se procede a calcular la cantidad correspondiente a cada configuración y por consiguiente vulcanizar y obtener el composite tras pasar el correspondiente control de calidad.

1.3.22 Pruebas experimentales bajo la normativa ISO 9352, ASTM D 2240 Y ASTM D-1435.

El desarrollo de pruebas de desgaste y exposición a la intemperie en las probetas previamente elaboradas cumplen con los parámetros e indicaciones correspondientes en cada normativa.

1.3.22.1 Exposición a la intemperie bajo la guía de la norma ASTM D -1435

El contenido de la norma está limitado a explicar el método a través del cual las probetas deben ser expuestas a la intemperie, y en cuyo procedimiento se detalla dimensiones, longitud, materiales y la forma de expresar los resultados obtenidos transcurrido el tiempo de exposición.

Para la exposición de un material a la intemperie, la norma indica que el número de muestras está en función del uso final o a su vez en dependencia al tipo de pruebas mecánicas que se desea conocer.

Adicionalmente indica el ángulo de exposición con respecto a la horizontal que también dependerá del uso, por otra parte, la norma menciona que la base o soporte porta probetas debe ser de un material inerte (aluminio, polímero, madera u otros) para que no tenga interferencia con el material de las probetas de análisis.

En cuanto al periodo de exposición, se identifica si la exposición se realiza a corto, medio o largo plazo y en función a ello se especifica numéricamente en meses (1, 2, 3, 6, 12) el tiempo de duración de la exposición. En el periodo y al finalizar la exposición se realiza el control de apariencia, cambios, dimensiones junto con otros datos de interés, los mismos que deberán ser analizados, detallados, y anotados en las fechas correspondientes para detallar en el informe final de resultados.

1.3.22.2 Ensayo de Dureza

El ensayo de dureza aplicado al composite de Látex más gránulo de caucho reciclado se realiza mediante la aplicación de una fuerza vertical sobre las muestras. El encargado de transmitir o dejar huella de penetración es un indentador, el mismo que posee diferente forma, espesor y tamaño; estas características están en función del método de dureza a evaluar.

El ensayo consiste en colocar la muestra de látex más PGCR sobre la superficie porta muestras, ajustarle adecuadamente y dejar caer el indentador sobre la muestra, se verifica la distancia de penetración en conjunto con la escala de presión, este resultado nos dará la dureza que tiene el material.

Previo a desarrollar el ensayo de dureza en el composite el durómetro de ensayo breve debe estar perfectamente calibrado (ASTM D2240) y contar con los implementos necesarios para el desarrollo correcto del ensayo.

El mismo proceso es aplicable a las probetas de Látex más PGCR sin y con exposición, de tal forma que se pueda describir si la incidencia de cambios climáticos sobre las probetas incide en la dureza o no del material.

1.3.22.3 Ensayo de desgaste abrasivo bajo las indicaciones de la norma ISO 9352

El contenido de la norma menciona el proceso para el desarrollo de pruebas de desgaste con muelas abrasivas en diferentes materiales. Mediante la norma es posible elegir el método a través del cual se va a determinar la cantidad de desgaste o material perdido, adicionalmente se establece la forma de expresar dichos resultados.

En cuanto al proceso se debe tomar en cuenta el tiempo de permanencia de las probetas en el lugar de ensayo que debe ser de al menos 48 horas, y estas deberán estar totalmente limpias, sobre todo en el área donde se produce la abrasión.

Además, otros factores a tomar en cuenta son la humedad del lugar, calibración del equipo, muelas abrasivas en perfecto estado y contrapesos adecuados.

Como se conoce cuando un material mantiene contacto con otro, uno de los dos desprende material, en este caso ese proceso se aplica sobre las probetas del material compuesto por látex y partículas de granulo de caucho reciclado (PGCR).

Considerando esta definición la norma estándar internacional menciona que para obtener el porcentaje adecuado de desgaste en las muestras están deben ser mínimo 3, o en el caso de que el material sea un producto que brinde un servicio establecido se analizará el número necesario de probetas que detalle el beneficiado.

a) Condiciones de Funcionamiento del abrasímetro

La prueba de desgaste que se desarrolla en materiales compuestos depende de los requerimientos finales, los mismos que están relacionados a un desgaste abrasivo leve, medio, fuerte.

El desgaste abrasivo leve corresponde al análisis en muestras que en funcionamiento normal no sufren grandes afectaciones, en cambio en cambio en el desgaste abrasivo medio la abrasión es de una duración más prolongada en donde el contacto abrasivo es de mayor tiempo, finalmente la abrasión fuerte ocurre en condiciones agresivas en las que el material está en contacto constante desprendiendo grandes cantidades de material.

El control del nivel de abrasión es a base del número de ciclos al que se realiza el ensayo puede ser 250, 500, 1000 u otros. Así como también la carga y contra carga que se colocan en los brazos donde se alojan las muelas abrasivas.

Para determinar el éxito de la prueba de desgaste en las probetas, estas deben estar bien sujetadas sobre el disco con motor giratorio de tal forma que al colocar las muelas abrasivas realicen el contacto adecuado y se produzca el desgaste abrasivo.

b) Abrasímetro giratorio Taber

Este dispositivo es el que permite realizar la prueba de desgaste, analizando así diversos materiales con la ayuda de diferente tipo de muela abrasiva, carga y número de ciclos.



Fig 1.32. Abrasímetro para pruebas rápidas de desgaste.

Es apropiado para varios materiales de espesores de menos de 2 cm, debido su capacidad rotativa coordinada de muelas abrasivas y plato giratorio porta probetas.

Características Generales del equipo

El equipo funciona con un voltaje de 220V/ 50-60 Hz, posee un motor constante que gira a 60 y 72 rpm. Tiene un sistema de amarre con expansión rápida, Dispositivo de aspiración con regulador, pantalla digital de control, y revestimiento impermeabilizado de aluminio. Posee algunos sistemas como los que se indican a continuación:

- a. **Dispositivo de aspiración:** Permite la absorción de residuos dejados durante la abrasión constante durante la prueba de desgaste.
- b. **Disco abrasivo:** Se conoce también como muelas abrasivas, son las encargadas de realizar la fricción y desgastar al material de prueba.
- c. **Porta muestras:** Plato giratorio donde se alojan y sujetan las probetas de análisis.
- d. **Botones de ciclos programados:** Su función es permitir al usuario programar el número de ciclos requeridos para las pruebas de desgaste.
- e. **Colocador de pesas:** Extensión del brazo porta muelas abrasivas donde se aloja la carga de 250gr- 500gr- o 100gr, según sea el requerimiento como complemento de la prueba de desgaste.
- f. **Colocador de contrapeso:** Se usa solo en los casos en los que la carga no es suficiente o está en exceso impidiendo el desarrollo de la prueba de desgaste, se ubica al extremo contrario de la carga.

1.3.23 Evaluación de resultados obtenidos sobre la influencia en el desgaste del material compuesto, al ser expuesto a la intemperie.

Transcurrido el tiempo de exposición de las probetas a la intemperie y, realizada la prueba de desgaste respectiva, se calcula el índice de desgaste Taber y el porcentaje de pérdida de masa para posterior análisis.

A continuación, la Ec. (2) y Ec. (3):

a) **Índice de Desgaste Taber (IDT)**

$$I = \frac{(P_1 - P_2) * 1000}{C} \quad \text{Ec. (2)}$$

Donde:

I: Índice de desgaste Taber (IDT)

P₁: Cantidad de masa previo del ensayo de abrasión (mg)

P₂: Cantidad de masa posterior del ensayo de abrasión (mg)

C: Número de ciclos aplicados al ensayo.

b) *Porcentaje de pérdida de masa*

$$PPM (\%) = \left(\frac{P_1 - P_2}{P_1} \right) * 100 \quad \text{Ec. (3)}$$

Donde:

PPM: Porcentaje de pérdida de masa

P₁: Cantidad de masa previo del ensayo de abrasión

P₂: Cantidad de masa posterior del ensayo de abrasión

1.3.23.1 Análisis estadístico

El estudio se desarrolla en el software Minitab que es una herramienta que se utiliza frecuentemente para el análisis estadístico de una variedad de datos en dependencia del objeto de estudio o experimentos.



Fig 1.33. Software de análisis estadístico [50]

Permite realizar análisis e interpretación de resultados independientemente de la metodología utilizada, además de que se ha establecido como una herramienta precisa en el arrojo de resultados en tiempo reducido.

1.3.23.2 Diseño Factorial General

El diseño factorial se constituye en función a la cantidad de niveles y factores analizar en dependencia del experimento, es decir que se puede analizar un diseño a x b con todas sus iteraciones posibles.

Estas iteraciones son las que determinan el número de experimentos del modelo y las respuestas que se obtienen al término del análisis de la varianza, tiende a ser aplicable a n número de muestras [51].

1.3.23.3 Supuestos paramétricos

En el análisis de varianza es indispensable la verificación de los supuestos paramétricos como la normalidad en los datos, la igualdad de varianza e independencia de residuos (Fig 1.45), esto con el fin de determinar si los datos poseen o no normalidad, este proceso es aplicable directamente a los datos del tratamiento o a su vez en sus residuos [51].

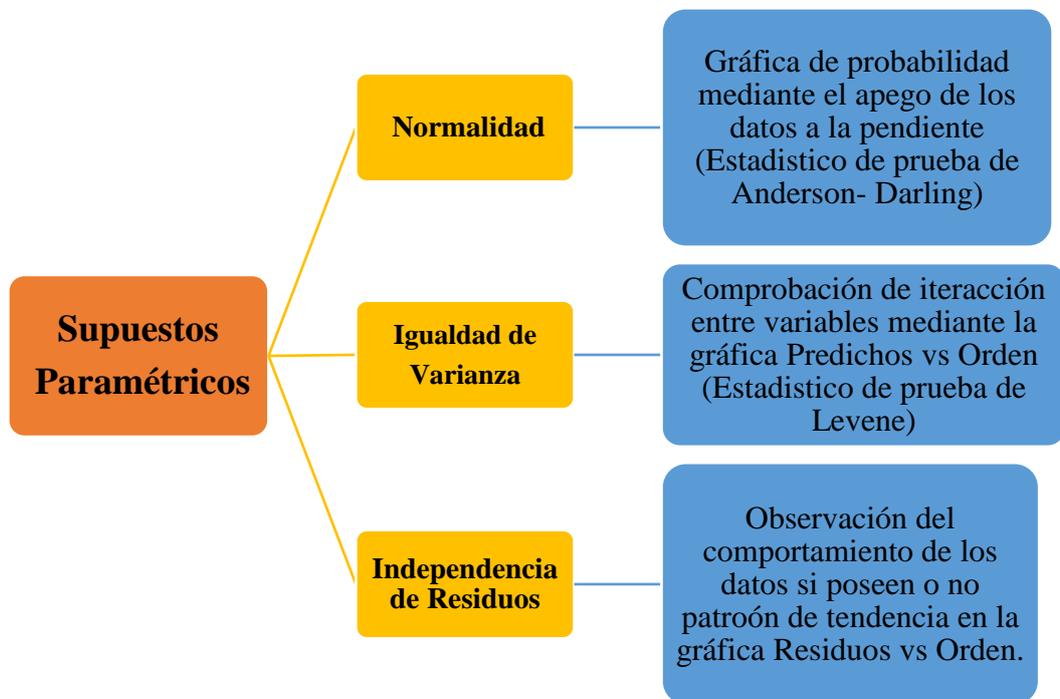


Fig 1.34. Supuestos paramétricos y su verificación.

Se entiende por residuos, a la respuesta obtenida del modelo mediante la diferencia entre una variable observada y una variable predicha, lo que estima y garantiza la aplicabilidad del modelo en las respuestas experimentales.

– Si $p < 0,05$ se rechaza H_0 [51]

Donde: **H₀**: Hipótesis nula

H₁: Hipótesis alternativa

Para el caso de la prueba de normalidad e igualdad de varianza se establece como válida con la aceptación o rechazo de la hipótesis planteada, esto se realiza en función al valor numérico -p, el mismo que en el caso de las dos pruebas debe ser mayor a -p= 0,05 caso contrario se rechaza H₀ y se procede aceptar H₁ [51].

1.3.23.4 Coeficiente de determinación

El coeficiente de determinación corresponde a un valor porcentual que se obtiene tras plantear el modelo de análisis para el experimento cuando es necesario o útil medir estadísticos, este valor debe superar el 60 %, que es recomendable para estudios a nivel de ingeniería, esto con el fin de garantizar la validez y veracidad del estudio al aplicar el análisis de varianza.

1.3.23.5 Gráficos de interacción y efectos

Este tipo de gráficos pertenecen al hallar las respuestas finales del estudio corresponden a la interacción entre factores y su comportamiento frente a los niveles del objeto de estudio [52].

Se presentan relacionando sus factores colocando siempre en el eje de las abscisas los valores de la media correspondiente a cada nivel, mientras que en el eje de las ordenadas se colocan valores de los factores [52].

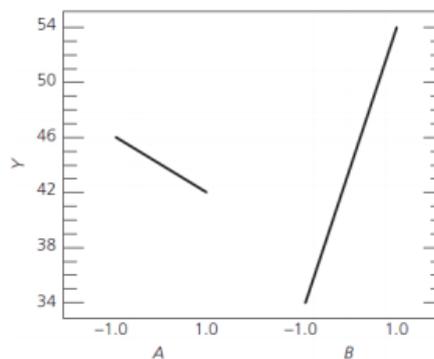


Fig 1.35. Ejemplificación de gráfico de interacciones [52].

De tal forma que entre los niveles y factores se establece el efecto que mayor incidencia tiene sobre las variables de respuesta. Se extiende la interacción cuando las pendientes tornan un camino diferente, debido a que si estuviesen iguales se corrobora que no hay interacción entre sí [52].

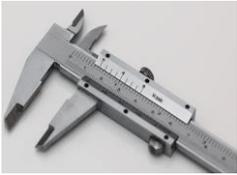
CAPÍTULO II METODOLOGÍA

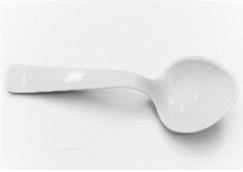
2.1 Materiales

a) Materiales, equipos, herramientas y recursos

La elaboración del compuesto a base de látex y partículas de gránulo de caucho fue manual y se utilizaron los materiales que muestra la tabla 2.1.

Tabla 2. 1. Materiales y equipos para elaboración del compuesto.

Listado de equipos y materiales para elaboración de probetas			
N°	Designación	Descripción	Fotografía
1	Balanza Eléctrica	Instrumento que permite medir cuantitativamente la masa de los objetos.	
2	Calibrador	Instrumento calibrado que permite verificar dimensiones y medidas con exactitud.	
3	Molde de Aluminio	Bloque de aluminio previamente mecanizado para obtención de forma y dimensiones de probetas	
4	Recipientes plásticos	Denominadas tarrinas plásticas para almacenar fluidos, de poca profundidad.	

5	Mezclador plástico	Se usa para mezclar los componentes y permite alcanzar una combinación homogénea.	
6	Partículas de gránulo de caucho	Proviene de la trituración de neumáticos viejos, se usa como refuerzo en nuevos materiales	
7	Látex de Plastisol	Es la combinación de PVC y plastificante, sirve como matriz donde se aloja el refuerzo	
8	Horno	Se utiliza para el proceso de vulcanización del composite y trabaja a 177°C.	
9	Guantes resistentes altas temperaturas	Evita las quemaduras en manos frente al trabajo a elevadas temperaturas	
10	Bailejo	Permite la extracción del molde hacia afuera y el ingreso del mismo en el horno. También llevar a un enfriado brusco al conjunto molde probeta como parte del proceso de vulcanización	

11	Punzón desmoldante	Posee una punta muy fina que permite realizar un pinchazo y extraer las probetas del molde.	
----	--------------------	---	---

La tabla 2.2 indica los materiales utilizados para el desarrollo de las pruebas de desgaste.

Tabla 2. 2. Materiales y equipos pruebas de desgaste abrasivo.

Listado de materiales para pruebas de desgaste			
N°	Designación	Descripción	Fotografía
1	Muelas Abrasivas	Se utilizan como material abrasivo, actúa sobre las probetas mediante giro vertical con respecto al eje horizontal	
2	Pesos	Cumplen la función de nivelar el peso de las muelas abrasivas sobre las probetas para que el desgaste abrasivo se produzca uniformemente	
3	Limpiador de muelas abrasivas	Conocido como lustre, ayuda a la limpieza de superficies lisas y rugosas.	

A continuación, en la tabla 2.3 se indica los materiales que permiten colocar las probetas a exposición a la intemperie.

Tabla 2. 3. Materiales y equipos para exposición a la intemperie.

Listado de materiales y equipos para colocación de pruebas de exposición a la intemperie			
N°	Designación	Descripción	Fotografía
1	Perfil en L25x30	Utilizado para armar la estructura metálica de pequeñas dimensiones.	
2	Electrodos E - 6011	Ideal para soldar acero de construcción.	
3	Pintura	Cubre superficies de acero para prevenir corrosión y es a la vez aislante.	
4	Brocha	Permite impartir la pintura sobre superficies cubriéndola en su totalidad.	
5	Amoladora	Instrumento utilizado para realizar cortes en materiales como el acero.	
6	Soldadora	Permite la unión de partes metálicas a través del proceso de soldadura.	

7	Aisladores	El material de constitución es plástico y se utiliza como aislante.	
8	Silicón Industrial	Permite pegar partes plásticas unas con otras para tener fijación.	
9	Malla Metálica	Posee orificios para el paso de aire y fluidos es adecuada para colocar sobre ella objetos livianos.	

Tabla 2. 4. Maquinaria Utilizada

Listado de Máquinas			
N°	Designación	Descripción	Fotografía
1	Mini CNC Router	Retira material de un bloque en base a una programación especificada.	
2	Abrasímetro TABER	Realiza pruebas de desgaste en composites, cerámicos, polímeros, tejidos, telas y otros.	

b) Ficha Técnica 01

Tabla 2. 5. Máquina para Mecanizado de Moldes

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO			
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA			
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA			
FICHA:	01	MÁQUINA	X
EQUIPO		SISTEMA	
			
		CÓDIGO:	NA
		Mini CNC Router	
CARACTERÍSTICAS GENERALES			
SERIE:	NA	PESO:	620kg
MARCA:	JINAN YIAHI	VELOCIDAD MÁX:	6000mm/min
TAMAÑO DE TRABAJO (X * Y * Z)	1200*1200*100 mm	VOLTAJE DE ALIMENTACIÓN:	220V±10%, 50/60Hz
MODELO:	YH - 1212	POTENCIA DEL HUSILLO:	3 kw con refrigeración con agua.
PINZA DE HERRAMIENTA:	Φ3.175, Φ6, 12.7mm	PRECISIÓN DE REPOSICIONAMIENTO:	<0.05/300mm
COMPONENTES			
Memoria Integrada		Estructura Mecánica	
Husillo de enfriamiento por aire y agua		Computador	
Mesa de absorción de vacío		Motor	
Rieles Lineales		Sistema de control Avanzado	

Eje rotativo	Acceso USB
FUNCIÓN: Etiqueta, moldea 3D en la caja de la lámpara, realiza el trabajo en madera, utiliza tecnología de grabado 3d, posee paneles, corte de chapa de aluminio, grabado de corte acrílico, entre otros.	

c) Ficha Técnica 02

Tabla 2. 6. Máquina para pruebas de desgaste abrasivo.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO						
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA						
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA						
FICHA:	02	MÁQUINA	X	EQUIPO		SISTEMA
						
				Abrasímetro TABER		
CARACTERÍSTICAS GENERALES						
TAMAÑO:	30*43*30 cm		PESO:	30 kg		
MARCA:	Yaoke		CAPACIDAD:	120 pruebas c/mes		
TEMPERATURA DE TRABAJO	< 35°C		CORRIENTE ELÉCTRICA:	AC 220V- 60Hz		

MODELO:	YK-T1000	POTENCIA:	Electrónica
VELOCIDAD DE ENSAYO:	60 o 70 rpm	PRECARGA DE ENSAYO:	250g, 500g, 1000g
COMPONENTES			
Unidad de Vacío		Brazos porta muelas y contrapeso	
Cargas o pesos		Controladores digitales	
Pantalla led digital		Motor Giratorio	
Plato porta muestras giratorio		Sujetadores de probetas	
Accesorios de ajuste y calibración		Muelas Abrasivas de muestra	
<p>FUNCIÓN: Su función es describir el rendimiento de productos poliméricos cerámicos vidrios textiles y otros, a través de un medio abrasivo con el fin de determinar el porcentaje de desgaste en función a la pérdida de masa o volumen.</p>			

Tabla 2. 7. Recursos utilizados

Listado de Recursos			
N°	Designación	Descripción	Fotografía
1	Equipo de Protección Personal (EPP)	Protege a la persona al manipular objetos u proceso de posibles accidentes.	
2	Normativa de pruebas de desgaste, exposición a la intemperie y dureza.	Documento guía en el desarrollo de la investigación.	

2.2 Diseño del modelo experimental

El modelo experimental está basado en diseño factorial completo, el cual se especifica en un diseño factorial de 2x3 que da como resultado 6 combinaciones.

Los factores de entrada y salida según las variables dependientes e independientes se describen en la tabla 2.8.

Tabla 2. 8. Modelo de diseño Factorial.

V. Independiente		→	V. Dependiente
Factores (Parámetros)		Respuesta (Medidas)	
“P”		“Q”	
Tiempo	Configuración		
2 nivel	3 niveles		

Los factores de entrada son el tiempo de exposición y la configuración volumétrica del material.

Para el tiempo de exposición se toma en cuenta 185 días (6 meses), y según la configuración volumétrica el porcentaje de matriz y refuerzo respectivamente:

60% M – 40%R, 70% M – 30%R, 80% M – 20%R.

Tabla 2. 9. Diseño factorial general completo

DISEÑO FACTORIAL			
Factores	Niveles		
Tiempo (días)	0	185	
Configuración (%)	60 -40	70 -30	80-20

Las combinaciones establecidas a partir del diseño factorial son:

Tabla 2. 10. Combinaciones del diseño factorial completo

Combinaciones (3)			
1	0 días	60% M -40%R	P1
2	0 días	70% M -30%R	P2
3	0 días	80% M -20%R	P3
4	185 días	60% M -40%R	P4
5	185 días	70% M -30%R	P5
6	185 días	80% M -20%R	P6

Tomando en cuenta las recomendaciones de la norma ISO 9352 el número de probetas que se debe elaborar del material compuesto son de 3 a 5, razón por la cual se decide elaborar 5 por cada combinación.

$$(6*5) = 30$$

+2 de (60%M – 40 %R)

+2 de (70%M – 30 %R)

+2 de (80%M – 20 %R)

36 probetas

En función al número de probetas, se adiciona 2 probetas extra por cada configuración para una posterior comparación una vez terminado del tiempo de exposición, desarrollo de la prueba de desgaste y ensayo de dureza aplicado al composite.

2.3 Métodos

Mediante la búsqueda de información de fuentes referenciales descritas en libros, revistas, artículos, sitios web y otros, se busca aplicar la metodología Bibliográfica experimental. Este proceso se lleva a cabo identificando la veracidad de las fuentes y su contenido.

El método aplicar tiene como objetivo describir resultados a base de pruebas experimentales que indiquen el comportamiento del material frente al desgaste con adición de exposición ante factores climatológicos (lluvia, viento, sol).

2.3.1 Tipo de Investigación

El nivel o tipo de investigación abarca el propósito al que proyecta alcanzar el trabajo experimental. Para lograrlo se va hacer uso de algunas tipologías de investigación como las que se muestra a continuación:

2.3.1.1 Nivel Descriptivo

La aplicación de este método permite describir los resultados obtenidos en las pruebas de desgaste, las mismas que son aplicadas a los tres tipos de configuraciones, para conocer el comportamiento del material frente al desgaste con y sin exposición a cambios climatológicos.

2.3.1.2 Nivel Bibliográfico

En este nivel se recogió información de libros, textos, artículos científicos, sitios web tesis nacionales e internacionales y otros, todas estas fuentes de consulta son consideradas fidedignas y confiables, por lo que garantizan un proceso de estudio efectivo y de resultados coherentes.

2.3.1.3 Nivel Experimental

El uso del nivel experimental se basa en conocer cómo actúa el compuesto frente al desgaste, tomando en cuenta que esta prueba se lleva a cabo en probetas expuestas a la intemperie durante meses, y comparando con aquellas que directamente elaboradas se las lleva a ensayar, de tal forma que se pueda estimar la duración del material frente a usos cotidianos.

2.3.1.4 Nivel Correlacional

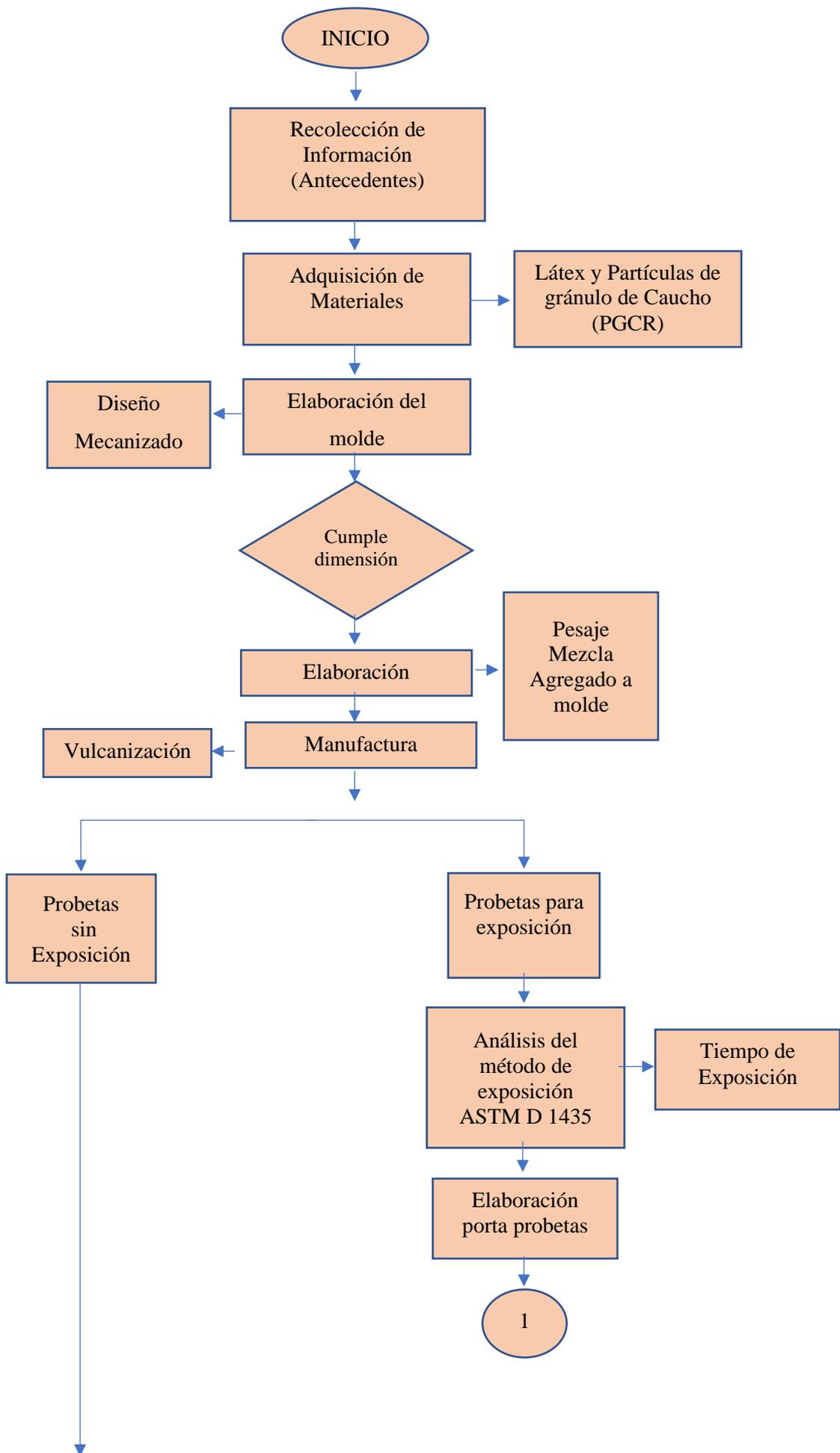
En este nivel se identifica la relación entre variables de análisis, es decir, la variación de fracción volumétrica (Matriz y refuerzo) y la exposición del material al intemperismo con respecto al desgaste, la pérdida de masa, volumen, daño sufrido, propiedades y su comportamiento de uso común.

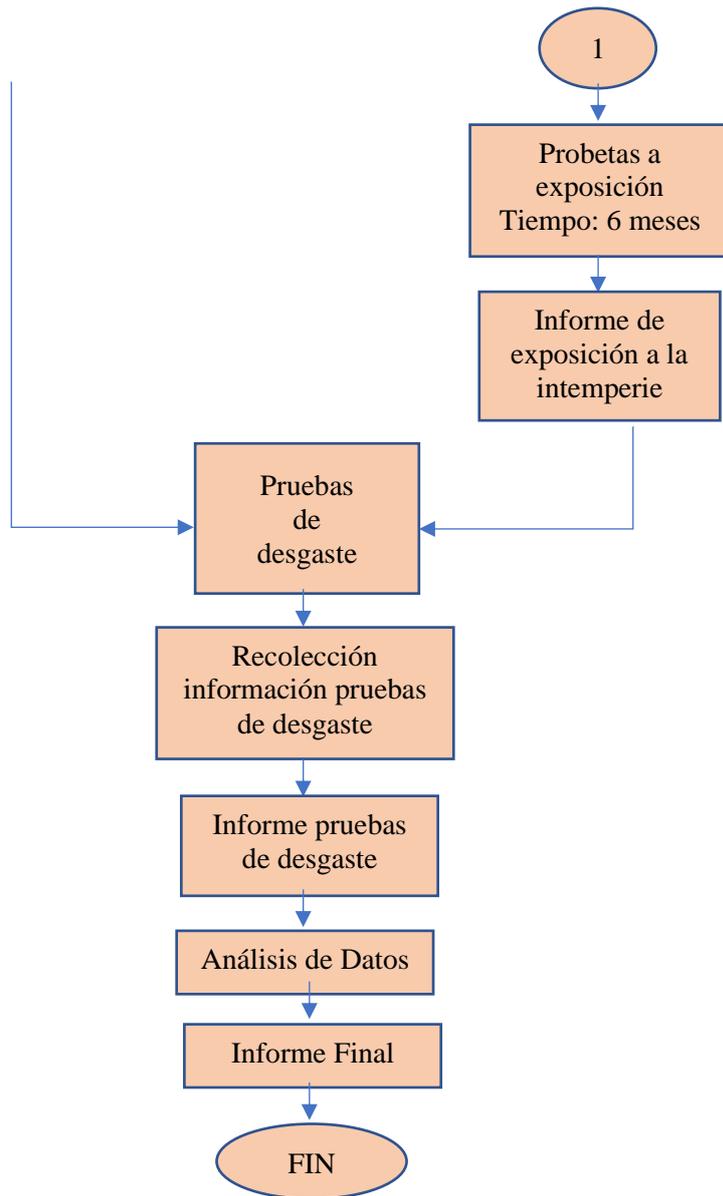
2.3.1.5 Nivel Cuantitativo

A través de este nivel se maneja una variedad de datos matemáticos y estadísticos, los que no se pueden desarrollar de forma manual, por ende, se hace uso de un software, el mismo que es indispensable para el estudio de resultados y junto con este puntualizar conclusiones.

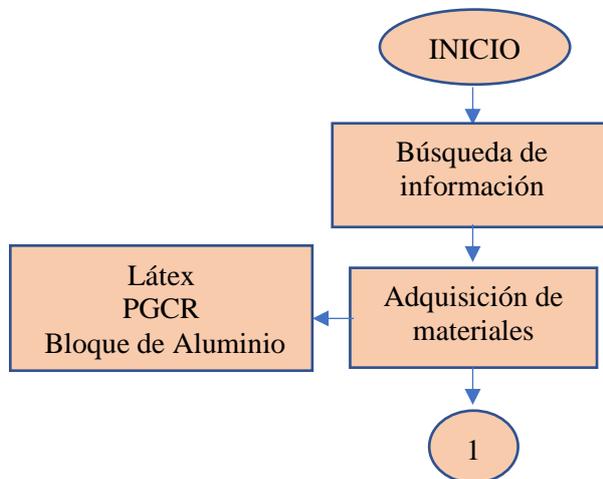
2.3.2 Diagrama de flujo aplicado en los procesos de la Investigación

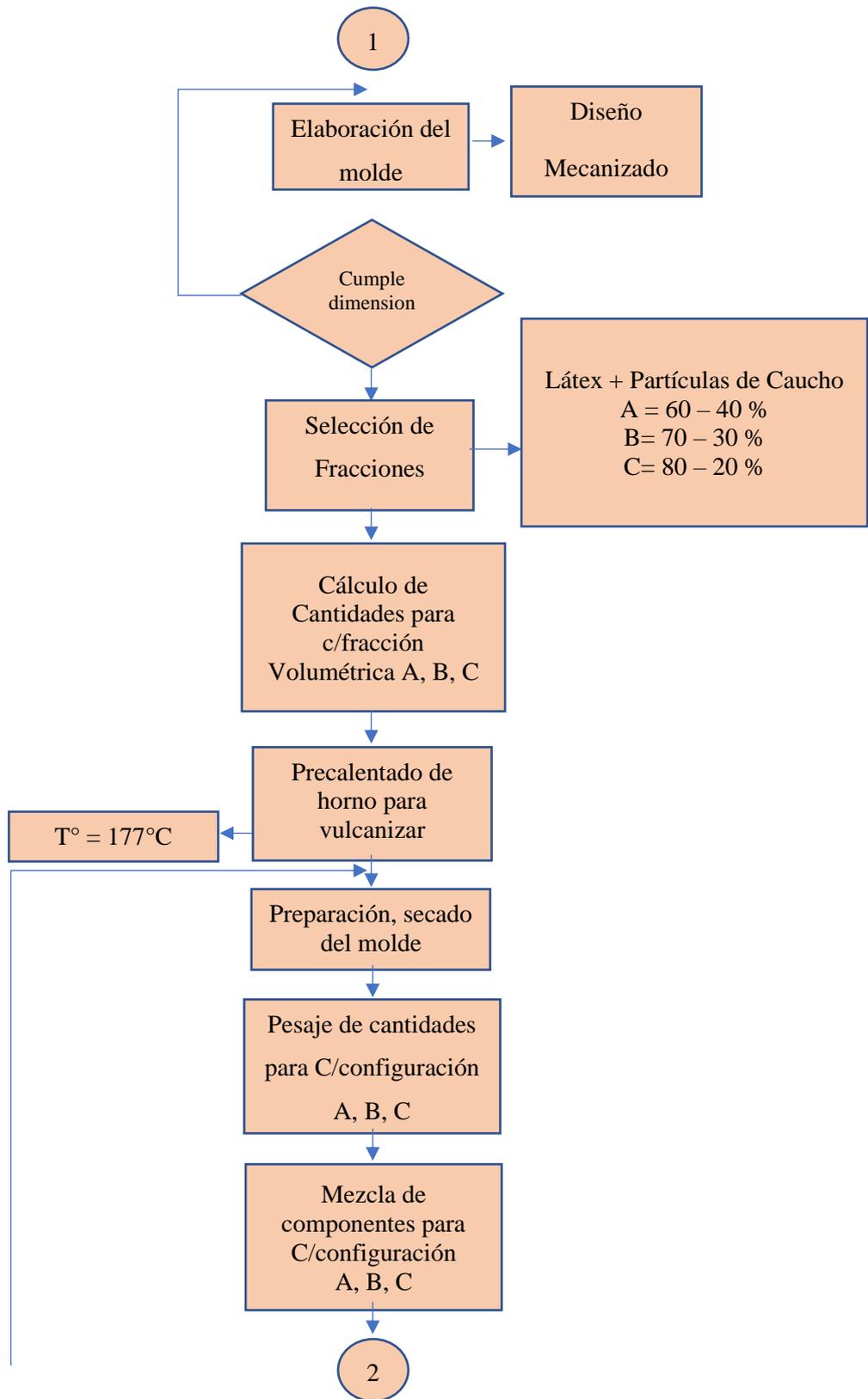
a) Diagrama de flujo para el desarrollo de la investigación

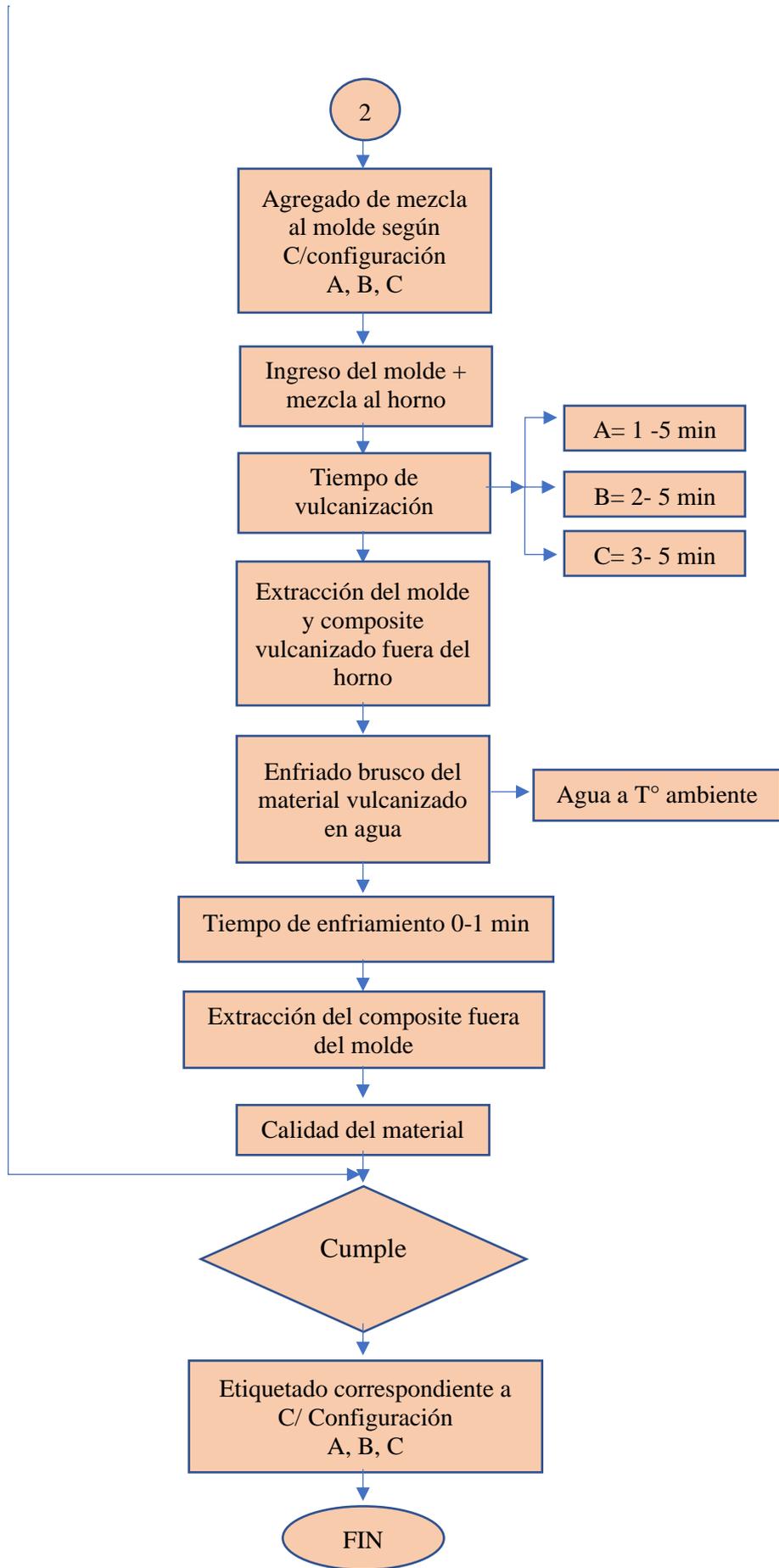




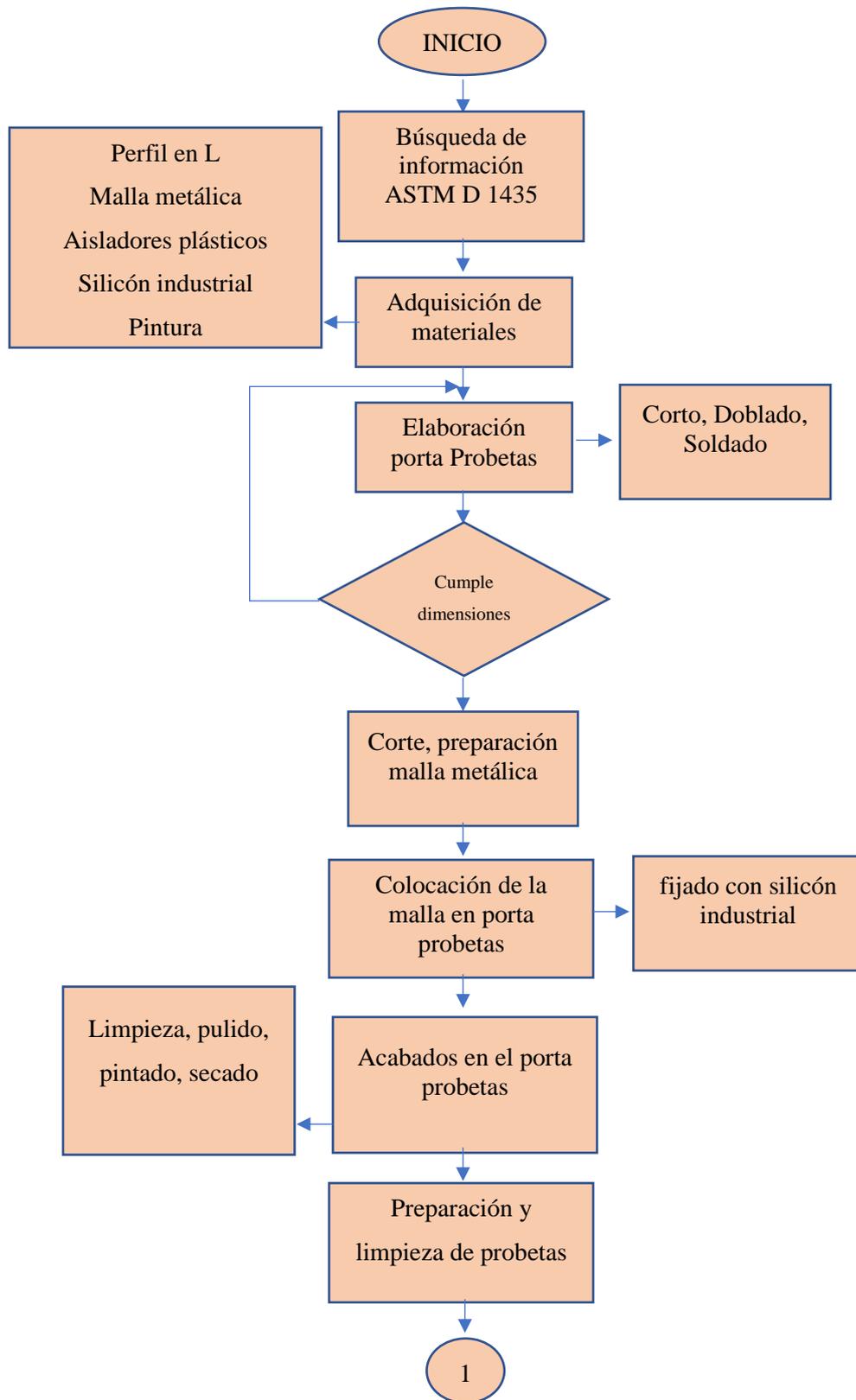
b) Diagrama de flujo para la elaboración del material compuesto

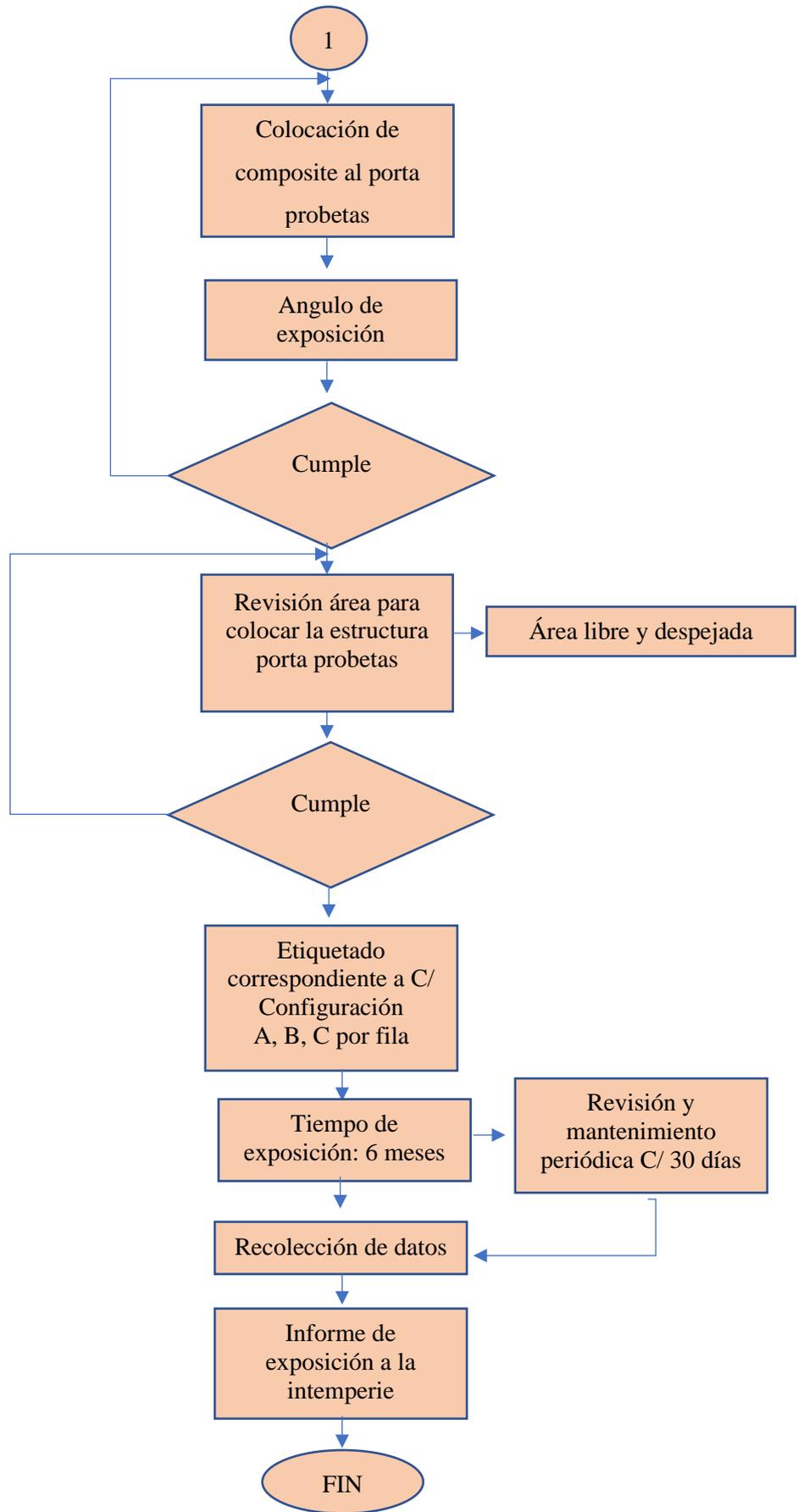




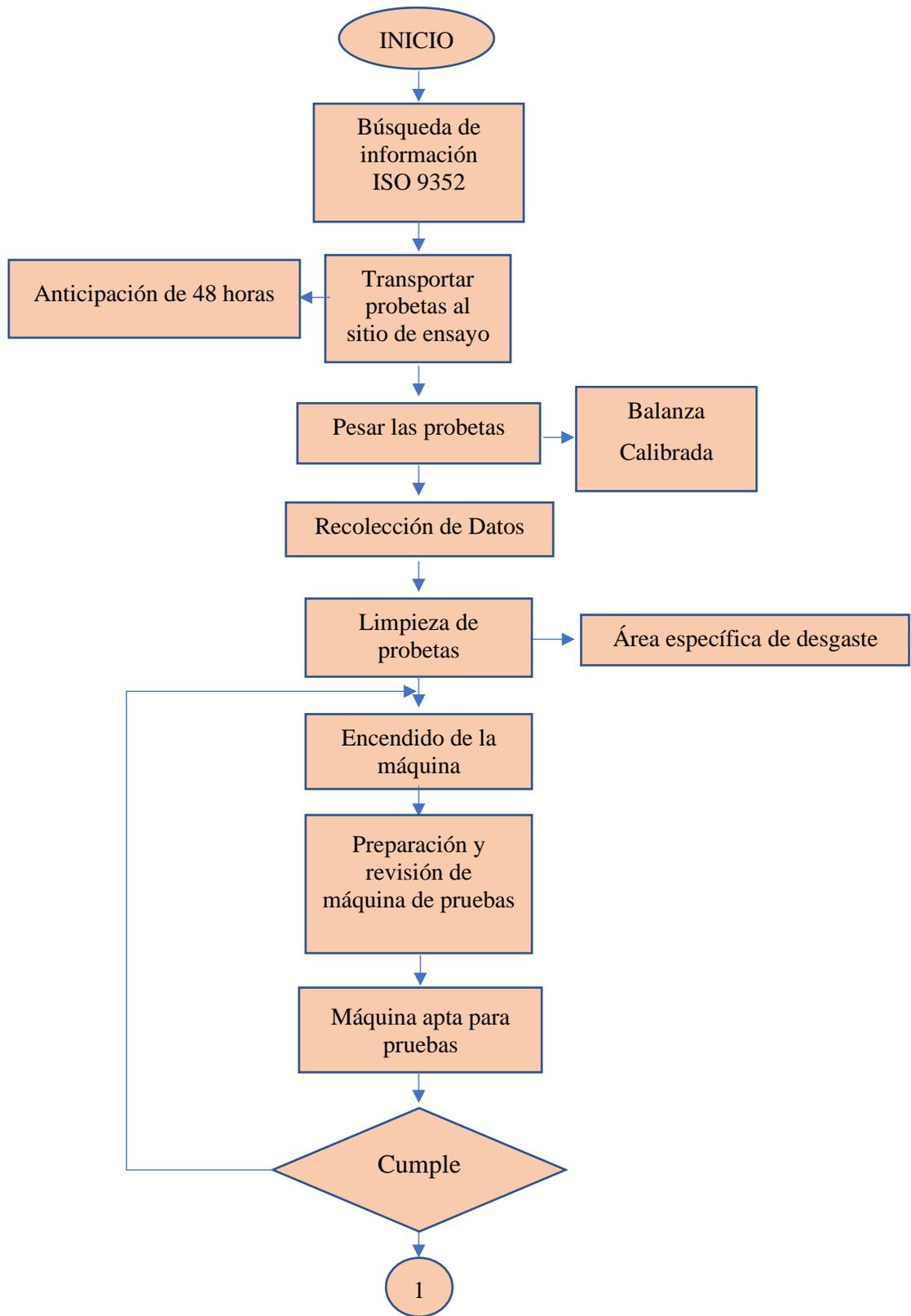


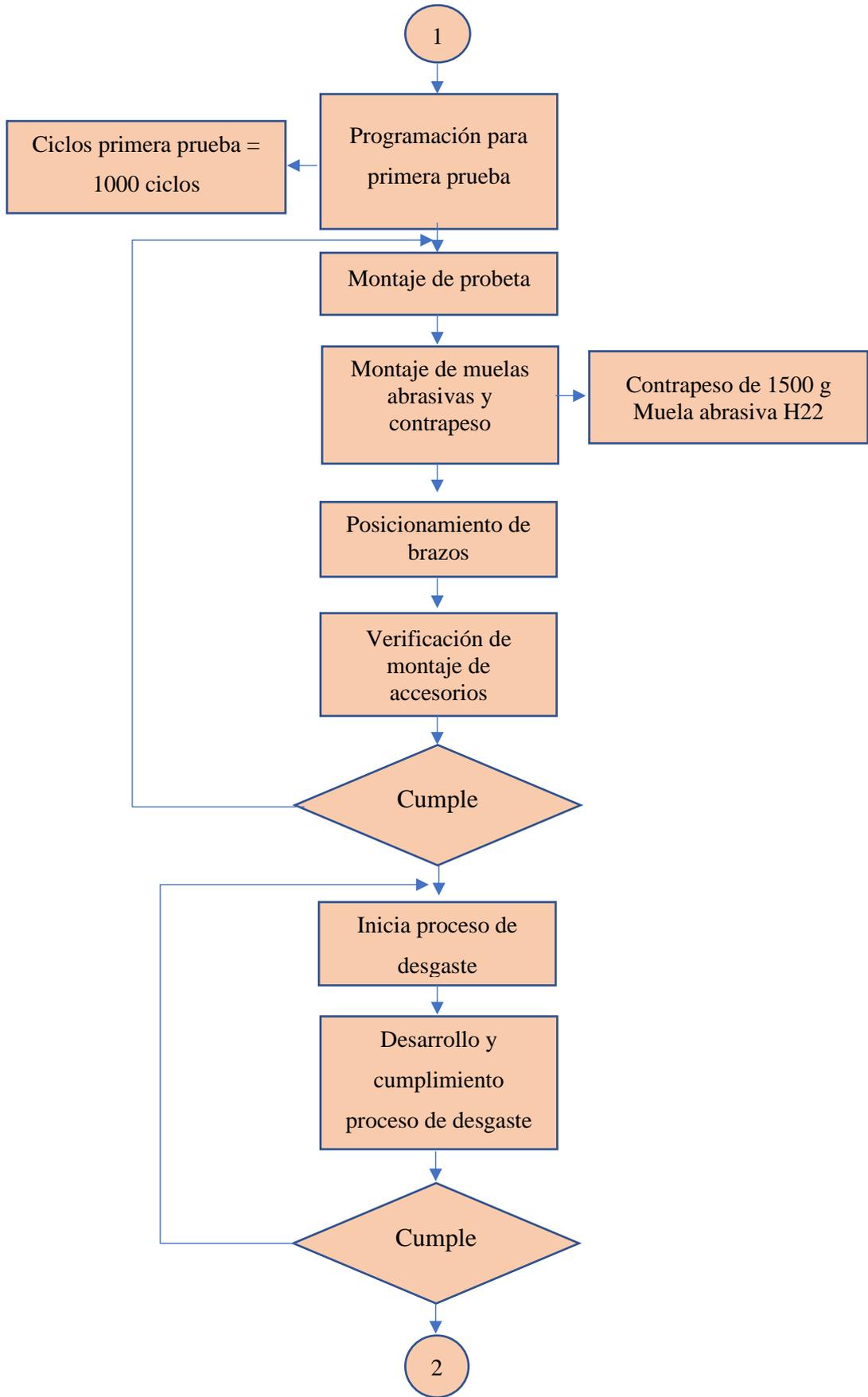
c) Diagrama de flujo para Exposición a la intemperie de las probetas

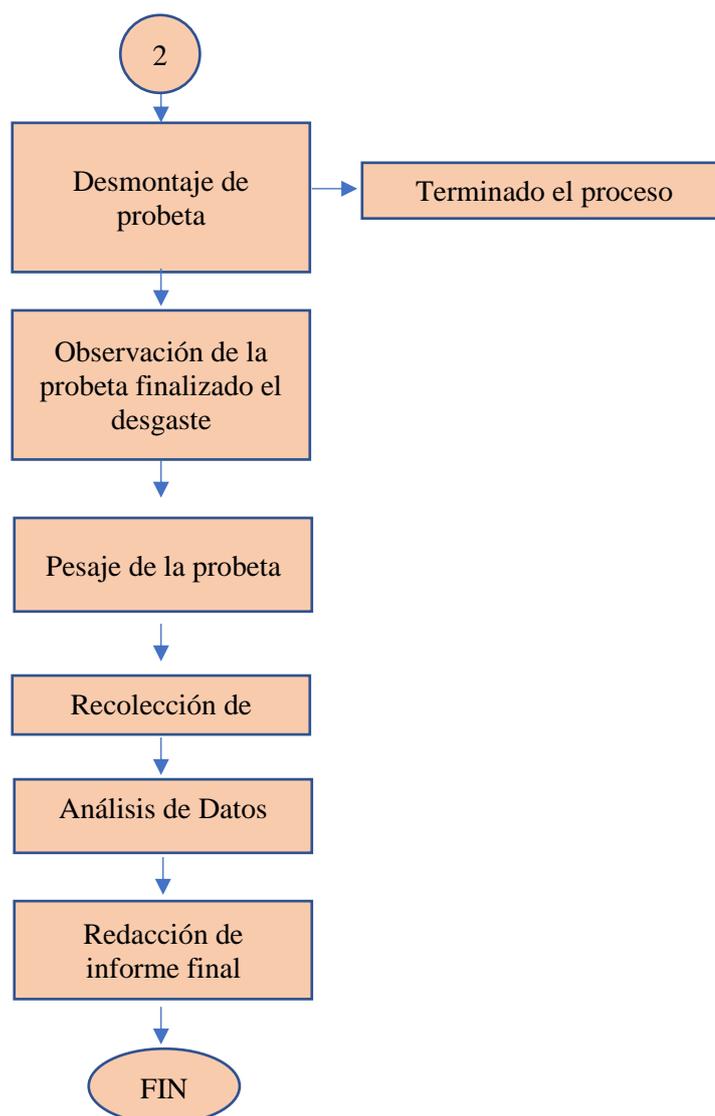




d) Diagrama de flujo para el desarrollo de pruebas de desgaste







2.4 Operacionalización de variables

2.4.1 Hipótesis de estudio

La exposición a la intemperie a 0 y 185 días del material compuesto de látex con adición de partículas de gránulo de caucho reciclado (PGCR) para tres variaciones de refuerzo incide en las propiedades tribológicas de desgaste y dureza.

2.5 Señalamiento de variables en base a la Hipótesis

2.5.1 Variable Independiente

Exposición a la intemperie (Factor tiempo y Porcentaje de refuerzo)

2.5.2 Variable Dependiente

Comportamiento del material de látex reforzado con PGCR frente al desgaste y dureza.

2.5.3 Término de relación

Incide

2.6 Fijación de variables con respecto a la hipótesis

2.6.1 Variable Independiente

Variable Independiente: La exposición a la intemperie

Tabla 2. 11. Variable Independiente

Concepto	Categoría	Indicadores	Ítems	Herramientas
Requisitos para exposición al intemperismo. Propios que admiten se realice bajo factores climáticos que pueden o no afectar a la composición del material y los resultados que se pretenden obtener.	Parámetros de Exposición	Tiempo	<ul style="list-style-type: none"> • 0 días • 185 días 	- Norma para método de exposición de plásticos a la intemperie ASTM-D1435 - Experimento -Observación -Bibliografía
		Ángulo	<ul style="list-style-type: none"> • 0-10 grados 	
	Composición del material	Porcentaje de Matriz (M) y Refuerzo (R)	<ul style="list-style-type: none"> • 60% M – 40% R • 70% M – 30% R • 80% M – 20% R 	

2.6.2 Variable Dependiente

Variable Dependiente: Resistencia al desgaste y dureza

Tabla 2. 12. Variable dependiente

Concepto	Categoría	Indicadores	Ítems	Técnicas e Instrumentación
Consiste en aplicar diversos ensayos mecánicos sobre el material de estudio para conocer la variación de sus propiedades tribológicas.	Propiedades Tribológicas	Desgaste	<ul style="list-style-type: none"> • Desgaste excesivo • Desgaste mínimo 	-Norma para probetas sometidas a desgaste ISO 9352 -Abrasímetro para pruebas de desgaste - Laboratorio de materiales -Bibliografía -Observación -Recolección de Información
		Dureza	<ul style="list-style-type: none"> • Configuración con mayor dureza • Configuración de menor dureza 	

2.7 Procedimiento previo a preparar el material compuesto por Látex más PGCR.

La elaboración del material compuesto por Látex más PGCR se lleva a cabo tomando en cuenta estudios anticipados [16], [17], [39] [35] que indican el comportamiento del material como composite y a su vez sus elementos actuando solos.

Además, se toma como referencia el porcentaje añadido de la mejor configuración (60% Látex + 40% PGCR) según [1]. En base a este contenido se propone realizar la disminución en el porcentaje de refuerzo.

Previo a la elaboración de las probetas se realiza el cálculo de densidades de los materiales conformantes mediante la aplicación del método gravimétrico.

2.7.1 Elaboración del Molde

2.7.1.1 Selección del material y tipo de molde

El material utilizado para fabricar el molde; es el aluminio; por sus características y ventajas en comparación con el acero. Algunas ventajas del material se muestran a continuación:

Tabla 2. 13. Ventajas del aluminio y moldes de este material.

<i>Ventajas del Aluminio</i>	<i>Ventajas de los moldes de Aluminio</i>
<ul style="list-style-type: none">• Material ligero, manipulable y económico• Permite obtener buen acabado superficial.• Resistente a temperaturas mayores a 100°C.	<ul style="list-style-type: none">• Disipador de calor• Reutilizable• Tiempo de Mecanizado reducido• Conductor térmico estable

Una vez establecido el aluminio como material para fabricar el molde, se especifica el proceso de elaboración mediante el cual se lo obtendrá, el mismo que se obtiene mediante un proceso de estratificación manual.

La selección del proceso se realiza en función a los requerimientos de las probetas para desgaste debido a que la normativa de este tipo de ensayos no limita parámetros en cuanto este aspecto.

2.7.1.2 Diseño del molde

Para el diseño del molde se toma en cuenta el método de obtención de las probetas, que para el caso se las consigue directamente por moldeo tomando como referencia las indicaciones de la Norma ISO 9352, ya que estas poseen forma cilíndrica (disco), en donde sus dimensiones corresponden a $111 \pm 0,3 \text{ mm}$ con un orificio centra de $6,357 \text{ mm}$ y $6,3 \text{ mm}$ de espesor.

a) Volumen del molde

El volumen del molde necesario para la elaboración del molde se obtiene mediante la ecuación 4.

$$V = \pi \times h \times (R^2 - r^2) \quad \text{Ec. (4)}$$

Donde:

$V = \text{Volumen del molde}$

$R^2 = \text{Radio Mayor}$

$r^2 = \text{Radio menor}$

$$V = \pi \times 6,35\text{mm} \times ((111\text{mm}^2) - (6,357\text{mm}^2))$$

$$V = 244,99 \text{ mm}^3$$

Realizado las operaciones respectivas el volumen de la sección individual de moldeo es $244,99 \text{ mm}^3$, sin embargo, para agilizar el proceso de manufactura se realizan cuatro cavidades en total, para lo cual el volumen necesario es de $979,96 \text{ mm}^3$.

b) Diseño de molde en software CAD

Mediante el uso de software se establece el diseño del molde para probetas de pruebas de desgaste tal como lo indica la fig. 2.1. Su vista isométrica permite visualizar el molde ya elaborado (Plano general del molde en Anexos).

Se usa el diseño de molde abierto para la obtención de probetas, de tal forma que permitan realizar el ensayo de desgaste.

El molde está diseñado con un diámetro exterior de 111mm, diámetro interior de 6,35 mm y un espesor de 6,35 mm.

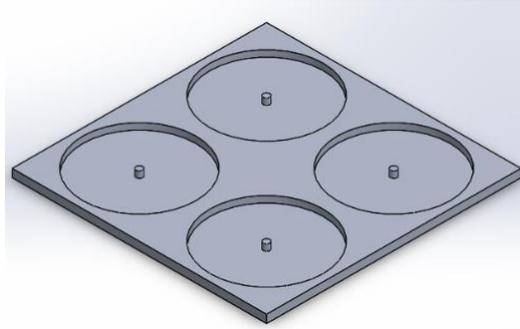


Fig 2. 1. Diseño de molde en software

NOTA: El molde debe ser diseñado de tal forma que considere la contracción del material, para el caso + 3 mm de lo establecido en la normativa y en las dimensiones de la muestra original.

c) Mecanizado del molde

Se realiza el proceso de mecanizado del molde acorde a las medidas establecidas en el diseño en software. Este mecanizado se realiza sobre un rectángulo macizo de aluminio.



Fig 2. 2. Proceso de mecanizado de molde

2.7.2 Cálculo de densidades de matriz - Látex

2.7.2.1 Preparación de una probeta pequeña de látex puro

Se consiguió una muestra pequeña de masa de látex puro mediante vulcanización, posteriormente se realizó el pesaje de la muestra en una balanza calibrada, obteniendo los siguientes resultados:

Tabla 2. 14. Pesaje de probeta maciza de látex puro.

Probeta de látex puro		
Descripción	Valor	Fotografía
Pesaje 1 (gr)	4,4648	
Pesaje 2 (gr)	4,4648	
Pesaje 3 (gr)	4,4408	
Pesaje 4 (gr)	4,4408	
Pesaje 5 (gr)	4,5033	
Promedio (gr)		4,4629

El peso promedio tras 5 mediciones consecutivas es de 4,4629 gr, valor que se utilizará para el cálculo de densidad.

2.7.2.2 Obtención del volumen de la probeta pequeña de látex puro

Este proceso se lleva a cabo a temperatura ambiente con una repetición de al menos cinco veces. El primer paso es colocar un volumen de 60 ml de agua en un vaso de precipitación graduado, luego se introduce la probeta maciza en la cantidad de volumen de agua. Al realizar esta acción el volumen de agua aumenta con respecto al inicial, esta diferencia es conocida como el volumen de la muestra de látex.

Para determinar un valor numérico confiable de volumen tras las cinco repeticiones se obtiene el promedio y ese valor corresponde al volumen final de la probeta maciza de látex.

Tabla 2. 15. Volumen del látex

Volumen del Látex puro (ml)					
N°	Volumen Inicial (ml)	Volumen final (ml)	Diferencia (ml)	Fotografías	
1	60	65	5		
2	60	66	6		
3	60	64	4		
4	60	65	5		
5	60	65	5		
Promedio					5,0 ml

Los valores obtenidos tras haber realizado el proceso se detallan en la tabla 2.15. En donde se indica que la diferencia de volumen para la probeta de látex es de 5ml o lo que es equivalente a 5 cm³.

2.7.2.3 Cálculo de densidad del Látex

El valor de la densidad del látex se calcula mediante la ecuación 5.

$$\rho_L = \frac{m_L}{V_L} \quad \text{Ec. (5)}$$

Donde:

$\rho_L =$ Densidad del látex

$m_L =$ masa del látex

$V_L =$ volumen del látex

$$\rho_L = \frac{4,4629_{gr}}{5,0_{cm^3}}$$

$$\rho_L = 0,8925 \frac{gr}{cm^3}$$

$$\rho_L = 8,925 \times 10^{-4} \frac{gr}{mm^3}$$

El valor de densidad hallado a partir de los datos de la tabla 2.14 y 2.15 es de es de $0,8925 \pm 0,005 \frac{gr}{cm^3}$. Tomando en cuenta este valor se procede a calcular la densidad de las partículas de gránulo de caucho.

2.7.3 Cálculo de densidades de refuerzo – PGCR

2.7.3.1 Preparación de masa de PGCR

Se realiza el pesaje de una pequeña cantidad de gránulo de caucho, para el caso es de 3,754 gr. Este proceso se realiza en cinco ocasiones para obtener el promedio conjuntamente con un valor más aproximado de masa.

El tamaño del gránulo de caucho utilizado es de 0 – 1,2 mm de acuerdo al tamiz #18.

2.7.3.2 Obtención del volumen de PGCR

Aplicando el método gravimétrico a temperatura ambiente por cinco ocasiones, se mide la diferencia de volumen inicial y final. En este caso el volumen (ml) constante corresponde al látex y el volumen añadido corresponde a la cantidad de masa pesada anteriormente (3,754 gr).

Se mide el volumen inicial previo a colocar las PGCR y después cuando estos dos elementos se hayan mezclado, el valor promedio de las cinco mediciones corresponde al volumen de las PGCR (Tabla 2.16).

Tabla 2. 16. Volumen de las PGCR

Volumen de las PGCR (ml)					
N°	Cantidad de masa (gr)	Volumen Inicial (ml)	Volumen final (ml)	Diferencia (ml)	Fotografía
1	3,754	40	45	5	
2	3,754	40	44	4	
3	3,754	40	45	5	
4	3,754	40	45	5	
5	3,754	40	45	5	
Promedio			4,8 ml		

El volumen obtenido con una masa de 3,754 gr para las partículas de caucho reciclado es de 4,8 ml o lo que es equivalente a 4,8 cm³.

2.7.3.3 Cálculo de densidad de PGCR

El valor de la densidad de las PGCR se calcula mediante la ecuación 6.

$$\rho_p = \frac{m_p}{V_p} \quad \text{Ec. (6)}$$

Donde:

ρ_p = Densidad del caucho

m_p = masa del caucho

V_p = volumen del caucho

$$\rho_p = \frac{3,754_{gr}}{4,8_{cm^3}}$$

$$\rho_p = 0,782 \frac{gr}{cm^3}$$

$$\rho_p = 7,82 \times 10^{-4} \frac{gr}{mm^3}$$

Al término de los cálculos se obtiene una densidad de $0,782 \frac{gr}{cm^3}$ para las PGCR de un tamaño de 0 a 1,2 mm, Tamiz #18.

2.7.4 Fracciones Volumétricas del material compuesto (Látex + PGCR)

Conocido el valor de la densidad individual de los materiales conformantes para el material compuesto, se procede a calcular la fracción volumétrica correspondiente en cada caso.

La tabla 2.17 indica los datos que son de utilidad para determinar las cantidades de fracción volumétrica con un tamaño de gránulo de caucho de 0 – 1,2 mm Tamiz #18 y Látex.

Tabla 2. 17. Características del material compuesto

Descripción	Valor	Unidad
Densidad de Látex	0,8925	g/cm ³
Densidad de PGCR	0,782	g/cm ³
Volumen del molde	244,99	mm ³

Las fracciones volumétricas que se toman para el desarrollo del estudio son específicamente decisión de la autora tomando consideraciones de estudios desarrollados con anterioridad.

Adicionalmente, la nomenclatura a utilizar es:

$v_L = \text{volúmen del látex}$

$v_p = \text{Volúmen de PGCR}$

$\rho_L = \text{densidad del látex}$

$\rho_p = \text{densidad de PGCR}$

$m_L = \text{masa del látex}$

$m_p = \text{masa de PGCR}$

2.7.4.1 Fracción Volumétrica: 60% Látex – 40% PGCR

a) Valor de volumen de PGCR y látex a usar:

$$v_L = 0,6 \times 979,96$$

$$v_L = 587,98 \text{ mm}^3$$

$$v_p = 0,4 \times 244,99$$

$$v_p = 391,98 \text{ mm}^3$$

b) Valor de masa de PGCR y látex a usar:

$$m_L = \rho_L \times v_L$$

$$m_L = 8,92 \times 10^{-4} \frac{\text{gr}}{\text{mm}^3} \times 587,98 \text{ mm}^3$$

$$m_L = 0,524 \text{ gr}$$

$$m_p = \rho_p \times v_p$$

$$m_p = 7,82 \times 10^{-4} \frac{\text{gr}}{\text{mm}^3} \times 391,98 \text{ mm}^3$$

$$m_p = 0,307 \text{ gr}$$

2.7.4.2 Fracción Volumétrica: 70% Látex – 30% PGCR

a) Valor de volumen de PGCR y látex a usar:

$$v_L = 0,7 \times 979,96$$

$$v_L = 685,97 \text{ mm}^3$$

$$v_p = 0,3 \times 979,96$$

$$v_p = 293,99$$

b) Valor de masa de PGCR y látex a usar:

$$m_L = \rho_L \times v_L$$

$$m_L = 8,92 \times 10^{-4} \frac{\text{gr}}{\text{mm}^3} \times 685,97 \text{mm}^3$$

$$m_L = 0,612 \text{ gr}$$

$$m_p = \rho_p \times v_p$$

$$m_p = 7,82 \times 10^{-4} \frac{\text{gr}}{\text{mm}^3} \times 293,99 \text{mm}^3$$

$$m_p = 0,223 \text{ gr}$$

2.7.4.3 Fracción Volumétrica: 80% Látex – 20% PGCR

a) Valor de volumen de PGCR y látex a usar:

$$v_c = 0,8 \times 979,96$$

$$v_c = 783,96 \text{ mm}^3$$

$$v_L = 0,2 \times 979,96$$

$$v_L = 195,99 \text{ mm}^3$$

b) Valor de masa de PGCR y látex a usar:

$$m_L = \rho_L \times v_L$$

$$m_L = 8,92 \times 10^{-4} \frac{\text{gr}}{\text{mm}^3} \times 783,96 \text{mm}^3$$

$$m_L = 0,699 \text{ gr}$$

$$m_p = \rho_p \times v_p$$

$$m_p = 7,82 \times 10^{-4} \frac{\text{gr}}{\text{mm}^3} \times 195,99 \text{mm}^3$$

$$m_p = 0,153 \text{ g}$$

Terminados los cálculos de masa y volumen para cada configuración se tiene los siguientes datos:

Tabla 2. 18. Características del material compuesto

Material Compuesto		Composición Volumétrica %	Masa (gr)	Volumen (mm ³)	densidad (gr/mm ³)	Fotografía
A	Látex	60	0,524	587,98	8,92x10 ⁻⁴	
	PGCR	40	0,307	391,98	7,82x10 ⁻⁴	
B	Látex	70	0,612	685,97	8,92x10 ⁻⁴	
	PGCR	30	0,223	293,99	7,82x10 ⁻⁴	
C	Látex	80	0,699	783,96	8,92x10 ⁻⁴	
	PGCR	20	0,153	195,99	7,82x10 ⁻⁴	

2.8 Elaboración del Material compuesto por Látex más PGCR.

Según la norma ISO 5392 y el manual del abrasímetro Taber las dimensiones de las probetas para realizar la prueba de desgaste en materiales termoplásticos/ elastómeros es de 108x6,35mm de diámetro y espesor respectivamente, con una perforación central de ¼ de pulgada.

Para obtener el material compuesto de látex más PGCR se utiliza el proceso de estratificación manual y cada paso a seguir se realiza a temperatura ambiente a excepción de la introducción de las probetas al horno para vulcanizar.

2.8.1 Adquisición de materia prima

El material de adquisición primaria son las partículas de granulo de caucho reciclado (PGCR), el mismo que proviene de la molienda de neumáticos en desuso, cuyo tamaño oscila entre 0 a 1,2 mm. Adicional a ello el látex en estado líquido.



Fig 2. 3. Materia prima para el compuesto.

2.8.2 Preparación del molde

El molde debe estar seco en su totalidad, para ello se lo inserta en el horno durante 2 segundos. En caso de que quedase agua o algún componente líquido en el proceso de vulcanizado y obtención final del material se evidenciará imperfecciones como la aparición de porosidad y burbujas.



Fig 2.4. Preparación y secado de molde.

2.8.3 Cantidad de materiales individuales para mezcla

2.8.3.1 Pesaje de cantidad de PGCR: Se determina la cantidad de PGCR para la elaboración manual de las probetas de material compuesto. Determina el peso adecuado en base al porcentaje para cada composición (40%, 30%, 20%).



Fig 2. 5. Pesaje de cantidad de PGCR.

2.8.3.2 Cantidad de resina líquida de PVC + Plastisol (Látex): En base a la configuración de la matriz (60%, 70%, 80%), se realiza el pesaje del látex líquido.



Fig 2. 6. Pesaje de cantidad de Látex.

2.8.4 Mezcla de matriz y refuerzo

En un solo recipiente se agrega inicialmente la cantidad de látex (matriz) y posteriormente PGCR (refuerzo), una vez colocados los dos componentes se mezclan hasta alcanzar una muestra homogénea.



Fig 2. 7. Mezcla de Látex y PGCR.

NOTA: La mezcla no puede permanecer mucho tiempo estática debido a que al combinar matriz y refuerzo tiende a secarse y volverse pegajosa, impidiendo que el proceso de vulcanizado se realice con normalidad.

2.8.5 Colocación de la mezcla en el molde

La mezcla preparada es agregada al molde de tal forma que cubra toda la superficie dentro del mismo, para añadir la composición solo es necesario dejar caer la mezcla por sí sola.



Fig 2. 8. Agregado de mezcla sobre molde de Aluminio.

2.8.6 Preparación del horno

Con la mezcla ya añadida en el molde, se procede a insertar el molde en el horno que debe estar precalentado a una temperatura que oscila entre los 170 a 177 °C.



Fig 2. 9. Inserción del molde

2.8.7 Vulcanización del nuevo material

Las muestras permanecen dentro del horno mientras se vulcanizan durante 3 y 5 minutos; el tiempo depende del porcentaje de matriz y refuerzo debido a que en cada configuración la duración del proceso de vulcanización varía, pero no más ni menos de lo establecido.



Fig 2. 10. Vulcanización de probetas en el horno.

2.8.8 Extracción del composite del molde

El material vulcanizado es retirado del molde una vez que ya se haya enfriado el mismo, para la extracción es necesario una punta fina que se inserta en un extremo y permite sacar el composite sin daño alguno hasta que se enfría en su totalidad.



Fig 2. 11. Extracción de probetas del molde.

2.8.9 Verificación de dimensiones

El material retirado del molde cumple las especificaciones requeridas en la norma ISO 9352.



Fig 2. 12. Verificación de dimensiones del composite.

2.8.10 Nuevo material vulcanizado

Terminado el proceso de elaboración de las muestras se agrupan de acuerdo a la configuración que corresponda.



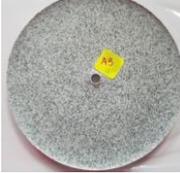
Fig 2. 13. Probetas terminadas

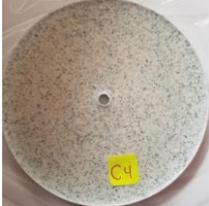
2.8.11 Codificación de muestras

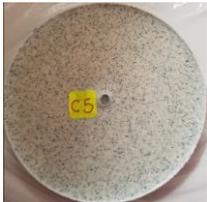
La codificación se realiza en base al porcentaje de matriz, refuerzo y exposición o no a la intemperie.

La tabla 2.19 muestra la codificación correspondiente de las probetas sin exposición conformadas por Látex y Partículas de gránulo de caucho reciclado (PGCR).

Tabla 2. 19. Codificación de probetas para ensayos sin exposición.

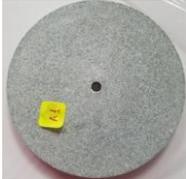
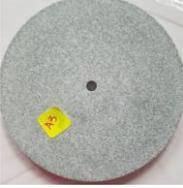
Probetas para análisis sin exposición		
Configuración	Codificación	Fotografía
<p style="text-align: center;">A</p> <p>(60 % Látex - 40% PGCR)</p>	A1 – SE-60M-40R	
	A2 – SE -60M-40R	
	A3 – SE -60M-40R	
	A4 – SE -60M-40R	
	A5 – SE -60M-40R	
<p style="text-align: center;">B</p> <p>(70 % Látex - 30% PGCR)</p>	B1 – SE -70M-30R	
	B2 – SE -70M-30R	

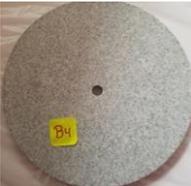
	B3 – SE -70M-30R	
	B4 – SE -70M-30R	
	B5 – SE -70M-30R	
C (80 % Látex - 20% PGCR)	C1 – SE -80M-20R	
	C2 – SE- 80M-20R	
	C3 – SE - 80M-20R	
	C4 – SE - 80M-20R	

	C5 – SE - 80M-20R	
--	-------------------	---

Adicionalmente la tabla 2.20 muestra la codificación correspondiente de las probetas para exposición conformadas por Látex y (PGCR).

Tabla 2. 20. Codificación de probetas para ensayos con exposición.

Probetas para análisis con exposición		
Configuración	Codificación	Fotografía
A (60 % Látex - 40% PGCR)	A1 – CE- 60M-40R	
	A2 – CE - 60M-40R	
	A3 – CE - 60M-40R	
	A4 – CE - 60M-40R	
	A5 – CE - 60M-40R	

<p style="text-align: center;">B</p> <p>(70 % Látex - 30% PGCR)</p>	B1 – CE -70M-30R	
	B2 – CE -70M-30R	
	B3 – CE -70M-30R	
	B4 – CE -70M-30R	
	B5 – CE -70M-30R	
<p style="text-align: center;">C</p> <p>(80 % Látex - 20% PGCR)</p>	C1 – CE- 80M-20R	
	C2 – CE- 80M-20R	

	C3 – CE - 80M-20R	
	C4 – CE - 80M-20R	
	C5 – CE - 80M-20R	

Las probetas que no son sometidas a exposición permanecerán a temperatura ambiente hasta realizar la prueba de desgaste, mientras que las probetas sometidas a exposición frente a factores climáticos tardarán seis meses (185 días) antes de someterse a la misma.

2.9 Tipificación en las probetas

Para facilitar la identificación e interpretación de datos es necesario conocer la nomenclatura de las probetas del compuesto por matriz de látex más refuerzo de PGCR. La misma que es usada para diferenciarlas con respecto a sus configuraciones y si han sido o no expuestas a la intemperie.

2.9.1 Composite de látex más refuerzo de PGCR sin exposición a la intemperie

La primera agrupación que se realiza es con respecto a su configuración volumétrica tomando en cuenta si serán o no expuestas a la intemperie.

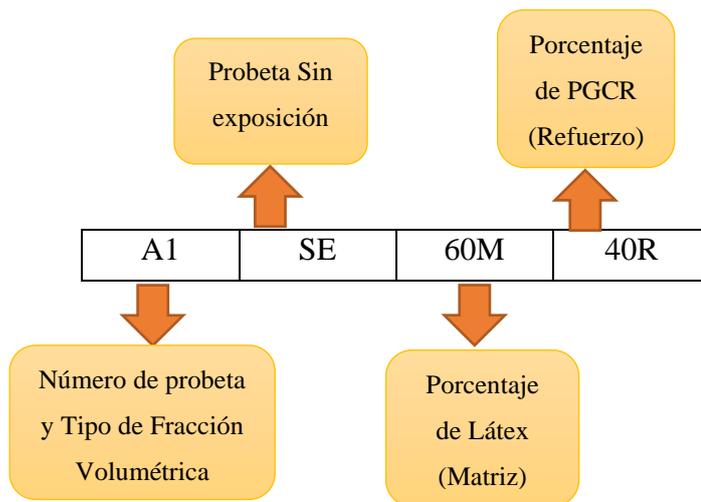


Fig 2. 14. Código de identificación para probetas sin exposición

Tabla 2. 21. Peso inicial de probetas sin exposición

Número	Código	Peso inicial promedio
1	A1 – SE-60M-40R	55,7922
2	A2 – SE -60M-40R	52,8204
3	A3 – SE -60M-40R	43,5724
4	A4 – SE -60M-40R	46,0521
5	A5 – SE -60M-40R	56,3768
6	B1 – SE -70M-30R	43,7441
7	B2 – SE -70M-30R	48,4989
8	B3 – SE -70M-30R	49,1664
9	B4 – SE -70M-30R	47,8201
10	B5 – SE -70M-30R	51,3919
11	C1 – SE -80M-20R	51,5184
12	C2 – SE- 80M-20R	45,8296
13	C3 – SE - 80M-20R	48,6935
14	C4 – SE - 80M-20R	49,5503
15	C5 – SE - 80M-20R	45,7495

2.9.2 Composite de látex más refuerzo de PGCR para exposición a la intemperie

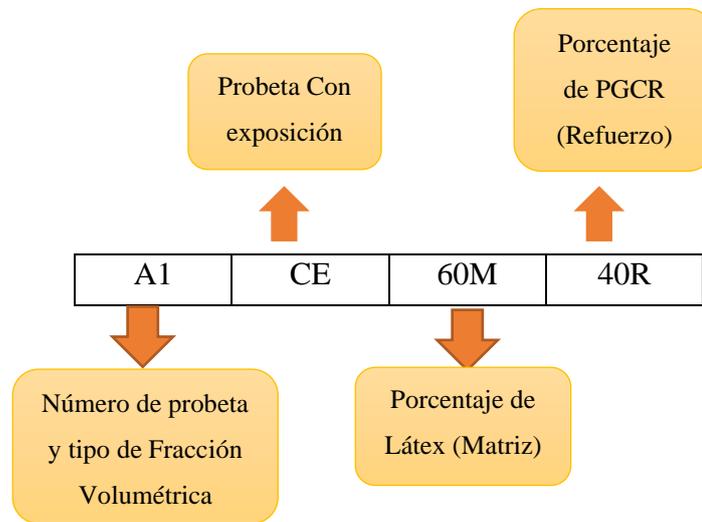


Fig 2. 15. Código de identificación para probetas para exposición

Tabla 2. 22. Peso inicial de probetas para exposición

Número	Código	Peso Inicial promedio
1	A1 – CE-60M-40R	55,7922
2	A2 – CE -60M-40R	52,8204
3	A3 – CE -60M-40R	43,5724
4	A4 – CE -60M-40R	46,0521
5	A5 – CE -60M-40R	56,3768
6	B1 – CE -70M-30R	43,7441
7	B2 – CE -70M-30R	48,4989
8	B3 – CE -70M-30R	49,1664
9	B4 – CE -70M-30R	47,8201
10	B5 – CE -70M-30R	51,3919
11	C1 – CE -80M-20R	51,5184
12	C2 – CE- 80M-20R	45,8296
13	C3 – CE - 80M-20R	48,6935
14	C4 – CE - 80M-20R	49,5503
15	C5 – CE - 80M-20R	45,7495

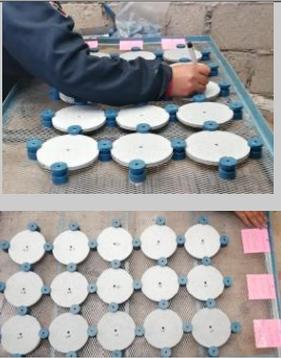
2.10 Exposición de probetas (látex más gránulo de Caucho) a la intemperie

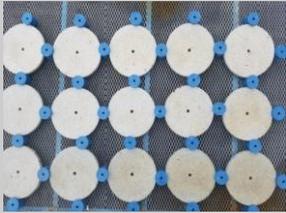
El proceso de exposición a la intemperie se determina mediante la aplicación de la norma ASTM-D1435, en cual se indica el método a seguir para colocar de forma correcta las probetas a exposición.

A continuación, en la Tabla 2.23 se describe dicho proceso.

Tabla 2. 23. Proceso de Exposición de probetas a la intemperie

Exposición de probetas a la intemperie		
Pasos	Descripción	Fotografía
Construcción Porta probetas	Mediante soldadura se establece la construcción de una estructura horizontal rectangular fija.	
Acabados finales del Porta probetas	Inicia el proceso de pulido, limpieza y pintado para evitar corrosión, funciona como aislante.	
Colocación de las muestras a la porta probetas	Las probetas son colocadas de forma secuencial una a continuación de otra con el soporte mínimo de contacto en sus extremos con la ayuda de aisladores plásticos	

<p>Etiquetado correspondiente</p>	<p>Se adiciona la nomenclatura correspondiente a cada probeta y de igual forma por cada configuración.</p>	
<p>Preparación del área para exposición</p>	<p>Limpieza y despeje total del área donde se colocan a exposición de las probetas.</p>	
<p>Verificación de parámetros</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Sujeción de probetas con material aislante lo mínimo posible y en extremos. - Verificación de ángulo de exposición. - Zona libre y despejada 24/día. 	
<p>Colocación de estructura porta probetas en el área de exposición</p>	<p>Se ubica la porta probetas en el área antes despejada y se verifica que cumpla con el ángulo de exposición de 0° con respecto a la horizontal.</p>	

<p>Tiempo de exposición</p>	<p>El tiempo de duración de la exposición son 185 días. .</p>	
------------------------------------	---	---

2.11 Ensayo de desgaste abrasivo aplicado al material compuesto por Látex más PGCR.

El ensayo o prueba de desgaste se desarrolla en base a los lineamientos establecidos en la norma ISO 9352, a través del desgaste continuo a ciclos determinados, mediante la ayuda de muelas abrasivas Calibrade H-22. Este proceso repetitivo se aplica a todas las muestras para determinar el porcentaje de desgaste en un tiempo establecido puesto que aquello garantiza la vida útil del material, y junto con ello la incidencia de la fracción volumétrica utilizada para el análisis con y sin exposición a la intemperie.

El número de muestras necesarias para determinar el proceso de desgaste según la norma es mínimo tres, razón por la cual se toma en consideración los tres tipos de configuración y se realiza cinco muestras por cada una. Al tener 5 muestras permite obtener un flujo de datos estable que a su vez permite determinar el porcentaje de desgaste tanto para las muestras de análisis directo como las que son expuestas a la intemperie.

CAPÍTULO III

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Recolección de Datos

Los resultados obtenidos durante el desarrollo de la investigación corresponden al registro, análisis y valoración tanto del ensayo de dureza como el ensayo de abrasión según cada configuración con su respectiva variación en el porcentaje de refuerzo.

En esta sección la recolección de datos se basa en dos condiciones principales, las mismas que son:

Ensayos previos a la exposición a intemperie y posteriores a la exposición a la intemperie. Los mismos que fueron desarrollados en las mismas condiciones para las dos situaciones propuestas.

Todos los datos establecidos son organizados en fichas acorde a cada configuración establecida según el porcentaje de variación de refuerzo respectivamente (Tabla 3.1), permitiendo de esta forma evidenciar los resultados finales y la variación entre los mismos.

Tabla 3. 1. Identificación de grupo de probetas para recolección de datos.

Denominación	Variación de porcentaje de refuerzo
Tipo A	40%
Tipo B	30%
Tipo C	20%

Previo a ello la tabla 3.2 muestra los grupos de identificación para el registro de datos.

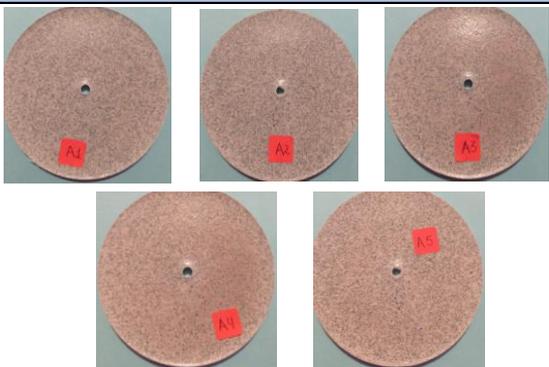
Tabla 3. 2. Grupo de identificación de probetas para recolección de datos.

N°	Denominación	Tiempo de exposición	Designación de las probetas
1	TIPO A	0 días	A1 – SE-60M-40R
2		0 días	A2 – SE -60M-40R
3		0 días	A3 – SE -60M-40R
4		0 días	A4 – SE -60M-40R
5		0 días	A5 – SE -60M-40R
6		185 días	A1 – CE-60M-40R
7		185 días	A2 – CE -60M-40R
8		185 días	A3 –CE -60M-40R
9		185 días	A4 – CE -60M-40R
10		185 días	A5 – CE -60M-40R
11	TIPO B	0 días	B1 – SE -70M-30R
12		0 días	B2 – SE -70M-30R
13		0 días	B3 – SE -70M-30R
14		0 días	B4 – SE -70M-30R
15		0 días	B5 – SE -70M-30R
16		185 días	B1 – CE -70M-30R
17		185 días	B2 – CE -70M-30R
18		185 días	B3 – CE -70M-30R
19		185 días	B4 – CE -70M-30R
20		185 días	B5 – CE -70M-30R
21	TIPO C	0 días	C1 – SE -80M-20R
22		0 días	C2 – SE- 80M-20R
23		0 días	C3 – SE - 80M-20R
24		0 días	C4 – SE - 80M-20R
25		0 días	C5 – SE - 80M-20R
26		185 días	C1 – CE -80M-20R
27		185 días	C2 – CE- 80M-20R
28		185 días	C3 – CE - 80M-20R
29		185 días	C4 – CE - 80M-20R
30		185 días	C5 – CE - 80M-20R

3.1.1 Recolección de datos para ensayo de abrasión

3.1.1.1 Recolección de datos configuración A 60 % Matriz – 40% Refuerzo sin exposición a la intemperie (0 Días)

Tabla 3. 3. Datos para el ensayo de abrasión en probetas Tipo A 60 % Matriz – 40% Refuerzo sin exposición (0 Días)

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA 					
DATOS INDORMATIVOS					
Probetas: 5 - Tipo A		Autorizada por: Ing. Cristian Pérez		Realizado por: Ashley Criollo R	
Sitio de análisis y ensayo		Laboratorio de Materiales - FICM		Fecha: 24/2/2020	
Tipo de estudio		Experimental de Laboratorio		Fecha: 24/2/2020	
Norma utilizada		ISO 9352		Fecha: 24/2/2020	
CONDICIONES PARA EL ENSAYO DE DESGASTE ABRASIVO					
CARACTERÍSTICAS DE LA PROBETA			CARACTERÍSTICAS DE LA MÁQUINA		
Matriz	Látex	Frac. Vol	60%	Velocidad del disco	71 ± 2 rpm
Refuerzo	PGCR	Frac. Vol	40%	Tipo de muela abrasiva	Calibrade H-22
Tiempo de exposición			0 días	Número de muelas	2
Dimensión			108 mm ± 3	Nivel de abrasión	Fuerte
Espesor			5,35 mm	Carga aplicada	1000 gr
Temperatura			19,7 °C		
RESULTADOS					
CODIFICACIÓN	Peso Inicial (gr)	Peso Final (gr)	Índice de desgaste Taber (IDT)	Porcentaje de pérdida de masa (%)	# Ciclos
A1 – SE-60M-40R	55,7922	55,7473	44,94	0,08055	1000
A2 – SE -60M-40R	52,8204	52,7815	38,94	0,07372	1000
A3 – SE -60M-40R	43,5725	43,5270	45,50	0,10442	1000
A4 – SE -60M-40R	46,0521	46,0109	41,22	0,08951	1000
A5 – SE -60M-40R	56,3768	56,3475	29,30	0,05197	1000
Fotografías previo al ensayo			Fotografías posterior al ensayo		
					

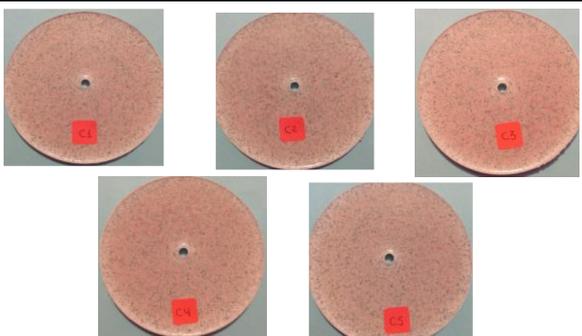
3.1.1.2 Recolección de datos configuración B 70 % Matriz – 30% Refuerzo sin exposición a la intemperie (0 Días)

Tabla 3. 4. Datos para el ensayo de abrasión en probetas Tipo B 70 % Matriz – 30% Refuerzo sin exposición a la intemperie (0 Días)

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA 					
DATOS INDORMATIVOS					
Probetas: 5 - Tipo B		Autorizada por: Ing. Cristian Pérez		Realizado por:	Ashley Criollo R
Sitio de análisis y ensayo		Laboratorio de Materiales - FICM		Fecha:	25/2/2020
Tipo de estudio		Experimental de Laboratorio			
Norma utilizada		ISO 9352			
CONDICIONES PARA EL ENSAYO DE DESGASTE ABRASIVO					
CARACTERÍSTICAS DE LA PROBETA			CARACTERÍSTICAS DE LA		
Matriz	Látex	Frac. Vol	70%	Velocidad del disco	71 ± 2 rpm
Refuerzo	PGCR	Frac. Vol	30%	Tipo de muela abrasiva	Calibrade H-22
Tiempo de exposición		0 días		Número de muelas	2
Dimensión		108 mm ± 3		Nivel de abrasión	Fuerte
Espesor		5,35 mm		Carga aplicada	1000 gr
Temperatura				19,7 °C	
RESULTADOS					
CODIFICACIÓN	Peso Inicial (gr)	Peso Final (gr)	Índice de desgaste Taber (IDT)	Porcentaje de pérdida de masa (%)	# Ciclos
B1 – SE-60M-40R	43,7441	43,6931	51,02	0,11663	1000
B2 – SE -60M-40R	48,4989	48,4596	39,24	0,08091	1000
B3 – SE -60M-40R	49,1664	49,1249	41,44	0,08429	1000
B4 – SE -60M-40R	47,8201	47,8097	10,38	0,02171	1000
B5 – SE -60M-40R	51,3919	51,3527	39,22	0,07632	1000
Fotografías previo al ensayo			Fotografías posterior al ensayo		
					
					

3.1.1.3 Recolección de datos configuración C 80 % Matriz – 20% Refuerzo sin exposición a la intemperie (0 Días)

Tabla 3. 5. Datos para el ensayo de abrasión en probetas Tipo C 80 % Matriz – 20% Refuerzo sin exposición a la intemperie (0 Días)

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA 					
DATOS INDORMATIVOS					
Probetas: 5 - Tipo C	Autorizada por:	Ing. Cristian Pérez		Realizado por:	Ashley Criollo R
Sitio de análisis y ensayo	Laboratorio de Materiales - FICM			Fecha:	26/2/2020
Tipo de estudio	Experimental de Laboratorio				
Norma utilizada	ISO 9352				
CONDICIONES PARA EL ENSAYO DE DESGASTE ABRASIVO					
CARACTERÍSTICAS DE LA PROBETA			CARACTERÍSTICAS DE LA		
Matriz	Látex	Frac. Vol	80%	Velocidad del disco	71 ± 2 rpm
Refuerzo	PGCR	Frac. Vol	20%	Tipo de muela abrasiva	Calibrade H-22
Tiempo de exposición	0 días			Número de muelas	2
Dimensión	108 mm ± 3			Nivel de abrasión	Fuerte
Espesor	5,35 mm			Carga aplicada	1000 gr
Temperatura	19,7 °C				
RESULTADOS					
CODIFICACIÓN	Peso Inicial (gr)	Peso Final (gr)	Índice de desgaste Taber (IDT)	Porcentaje de pérdida de masa (%)	# Ciclos
C1 – SE-60M-40R	51,5184	51,4732	45,12	0,08758	1000
C2 – SE -60M-40R	45,8296	45,7863	43,28	0,09444	1000
C3 – SE -60M-40R	48,6935	48,6582	35,24	0,07237	1000
C4 – SE -60M-40R	49,5503	49,5139	36,36	0,07338	1000
C5 – SE -60M-40R	45,7495	45,7153	34,18	0,07471	1000
Fotografías previo al ensayo			Fotografías posterior al ensayo		
					

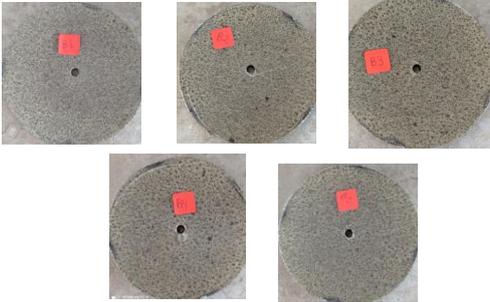
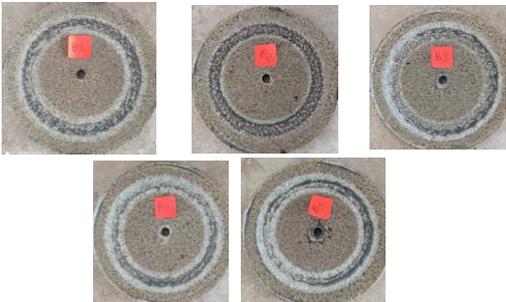
3.1.1.4 Recolección de datos configuración A 60 % Matriz – 40% Refuerzo con exposición a la intemperie (185 Días)

Tabla 3. 6. Datos para el ensayo de abrasión en probetas Tipo A 60 % Matriz – 40% Refuerzo con exposición a la intemperie (185 Días)

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA 					
DATOS INDORMATIVOS					
Probetas: 5 - Tipo A	Autorizada por:		Ing. Cristian Pérez	Realizado por:	Ashley Criollo R
Sitio de análisis y ensayo	Laboratorio de Materiales - FICM				
Tipo de estudio	Experimental de Laboratorio			Fecha:	24/2/2020
Norma utilizada	ISO 9352				
CONDICIONES PARA EL ENSAYO DE DESGASTE ABRASIVO					
CARACTERÍSTICAS DE LA PROBETA			CARACTERÍSTICAS DE LA MÁQUINA		
Matriz	Látex	Frac. Vol	60%	Velocidad del disco	71 ± 2 rpm
Refuerzo	PGCR	Frac. Vol	40%	Tipo de muela abrasiva	Calibrade H-22
Tiempo de exposición	185 días			Número de muelas	2
Dimensión	108 mm ± 3			Nivel de abrasión	Fuerte
Espesor	5,35 mm			Carga aplicada	1000 gr
Temperatura	19,7 °C				
RESULTADOS					
CODIFICACIÓN	Peso Inicial (gr)	Peso Final (gr)	Índice de desgaste Taber (IDT)	Porcentaje de pérdida de masa (%)	# Ciclos
A1 – CE-60M-40R	55,4153	55,1292	286,10	0,51628	1000
A2 – CE -60M-40R	52,4500	51,9580	492,06	0,93815	1000
A3 – CE -60M-40R	43,2250	42,8722	352,88	0,81638	1000
A4 – CE -60M-40R	45,6963	45,5804	115,92	0,25367	1000
A5 – CE -60M-40R	55,9954	55,7848	210,60	0,37610	1000
Fotografías previo al ensayo			Fotografías posterior al ensayo		
					
					

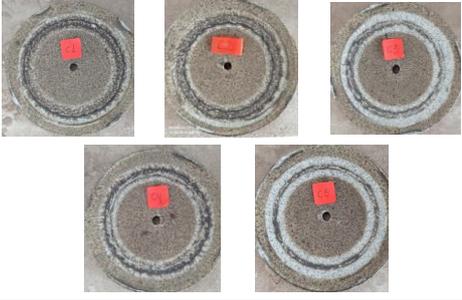
3.1.1.5 Recolección de datos configuración B 70 % Matriz – 30% Refuerzo con exposición a la intemperie (185 Días)

Tabla 3. 7. Datos para el ensayo de abrasión en probetas Tipo B 70 % Matriz – 30% Refuerzo con exposición a la intemperie (185 días)

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO 					
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA					
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA					
DATOS INDORMATIVOS					
Probetas: 5 - Tipo B	Autorizada por:	Ing. Cristian Pérez		Realizado por:	Ashley Criollo R
Sitio de análisis y ensayo	Laboratorio de Materiales - FICM			Fecha:	25/2/2020
Tipo de estudio	Experimental de Laboratorio				
Norma utilizada	ISO 9352				
CONDICIONES PARA EL ENSAYO DE DESGASTE ABRASIVO					
CARACTERÍSTICAS DE LA PROBETA			CARACTERÍSTICAS DE LA		
Matriz	Látex	Frac. Vol	70%	Velocidad del disco	71 ± 2 rpm
Refuerzo	PGCR	Frac. Vol	30%	Tipo de muela abrasiva	Calibrade H-22
Tiempo de exposición	185 días			Número de muelas	2
Dimensión	108 mm ± 3			Nivel de abrasión	Fuerte
Espesor	5,35 mm			Carga aplicada	1000 gr
Temperatura	19,7 °C				
RESULTADOS					
CODIFICACIÓN	Peso Inicial (gr)	Peso Final (gr)	Índice de desgaste Taber (IDT)	Porcentaje de pérdida de masa (%)	# Ciclos
B1 – CE -60M-40R	43,4083	43,3189	89,48	0,20614	1000
B2 – CE -60M-40R	48,1611	48,0555	105,62	0,21931	1000
B3 – CE -60M-40R	48,8411	48,5981	242,98	0,49749	1000
B4 – CE -60M-40R	47,5210	47,2499	271,08	0,57044	1000
B5 – CE -60M-40R	51,0721	50,7905	281,62	0,55142	1000
Fotografías previo al ensayo			Fotografías posterior al ensayo		
					

3.1.1.6 Recolección de datos configuración C 80 % Matriz – 20% Refuerzo con exposición a la intemperie (185 Días)

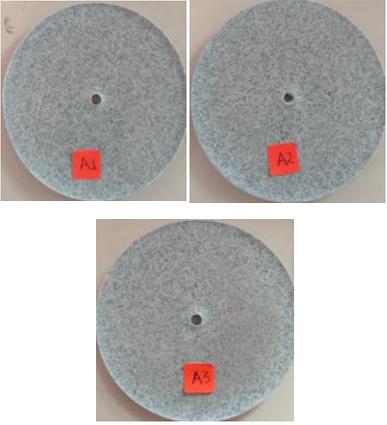
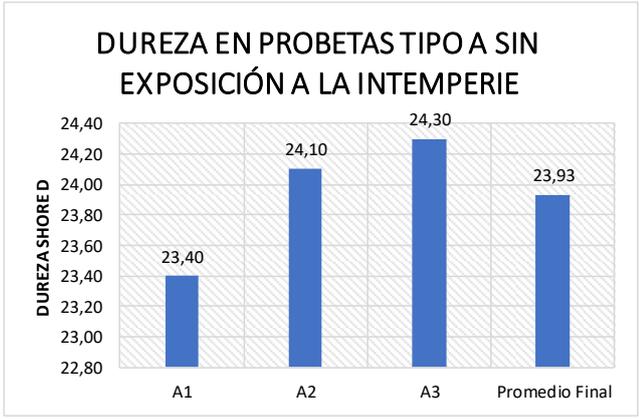
Tabla 3. 8. Datos para el ensayo de abrasión en probetas Tipo C 80 % Matriz – 20% Refuerzo con exposición a la intemperie (185 Días)

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO 					
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA					
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA					
DATOS INFORMATIVOS					
Probetas: 5 - Tipo C	Autorizada por:		Ing. Cristian Pérez	Realizado por:	Ashley Criollo R
Sitio de análisis y ensayo	Laboratorio de Materiales - FICM			Fecha:	26/2/2020
Tipo de estudio	Experimental de Laboratorio				
Norma utilizada	ISO 9352				
CONDICIONES PARA EL ENSAYO DE DESGASTE ABRASIVO					
CARACTERÍSTICAS DE LA PROBETA			CARACTERÍSTICAS DE LA		
Matriz	Látex	Frac. Vol	80%	Velocidad del disco	71 ± 2 rpm
Refuerzo	PGCR	Frac. Vol	20%	Tipo de muela abrasiva	Calibrade H-22
Tiempo de exposición	185 días			Número de muelas	2
Dimensión	108 mm ± 3			Nivel de abrasión	Fuerte
Espesor	5,35 mm			Carga aplicada	1000 gr
Temperatura	19,7 °C				
RESULTADOS					
CODIFICACIÓN	Peso Inicial (gr)	Peso Final (gr)	Índice de desgaste Taber (IDT)	Porcentaje de pérdida de masa (%)	# Ciclos
C1 – CE-60M-40R	51,1779	51,0350	142,94	0,27930	1000
C2 – CE -60M-40R	45,4852	45,3514	133,76	0,29407	1000
C3 – CE -60M-40R	48,3551	48,0258	329,32	0,68104	1000
C4 – CE -60M-40R	49,2247	48,2721	952,58	1,93517	1000
C5 – CE -60M-40R	45,4523	45,0731	379,24	0,83437	1000
Fotografías previo al ensayo			Fotografías posterior al ensayo		
					

3.1.2 Recolección de datos para ensayo de Dureza

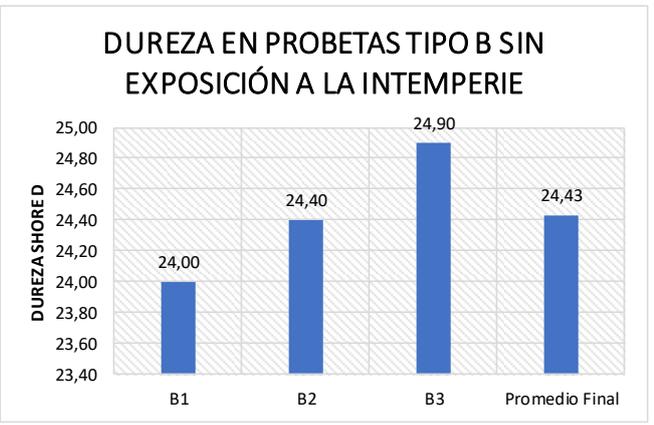
3.1.2.1 Recolección de datos configuración A 60 % Matriz – 40% Refuerzo sin exposición a la intemperie (0 Días)

Tabla 3. 9. Datos para el ensayo de dureza en probetas Tipo A 60 % Matriz – 40% Refuerzo sin exposición a la intemperie (0 Días)

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA 						
DATOS INDORMATIVOS						
Probetas: 3 - Tipo A	Autorizada por:		Ing. Cristian Pérez		Realizado por:	Ashley Criollo R.
Sitio de análisis y ensayo	Laboratorio de Metalografía - FICM					
Tipo de estudio	Experimental de Laboratorio				Fecha:	20/10/2020
Norma utilizada	ASTM 2240					
CONDICIONES PARA EL ENSAYO DE DUREZA						
CARACTERÍSTICAS DE LA PROBETA				CARACTERÍSTICAS DEL EQUIPO		
Matriz	Látex	Frac. Vol	60%	Equipo	Durómetro	
Refuerzo	PGCR	Frac. Vol	40%	Dureza	Shore D	
Tiempo de exposición	0 días			Acondicionamiento de la Superficie	N/A	
Dimensión	108 mm ± 3			Iluminación	Luz Natural	
Espesor	5,35 mm			Temperatura de Pulido	24 °C	
Temperatura	17 °C			Preparación de Superficie	Moldeo	
RESULTADOS						
Codificación	Punto 1	Punto 2	Punto 3	Punto 4	Punto 5	Promedio
A1 – SE-60M-40R	22,00	21,50	24,50	24,00	25,00	23,40
A2 – SE-60M-40R	24,00	24,50	23,50	26,00	22,50	24,10
A3 – SE-60M-40R	24,00	23,50	24,00	24,50	25,50	24,30
Promedio Final						23,93
Desviación Estandar						1,22
GRÁFICAS DE RESULTADOS						
Probetas para Ensayo 						

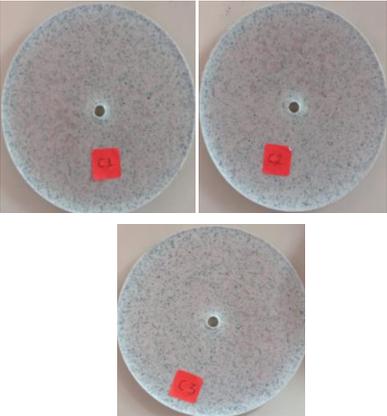
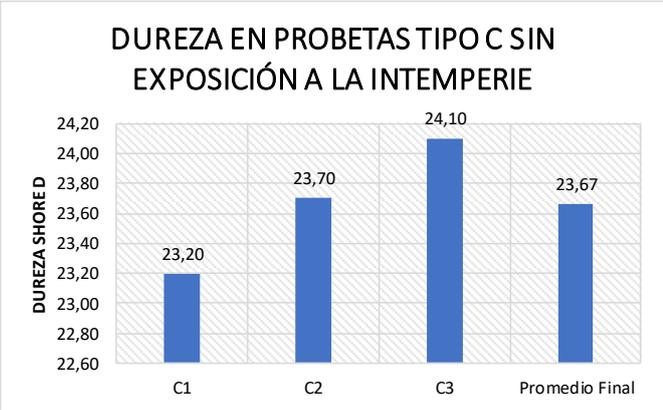
3.1.2.2 Recolección de datos configuración B 70 % Matriz – 30% Refuerzo sin exposición a la intemperie (0 Días)

Tabla 3. 10. Datos para el ensayo de dureza en probetas Tipo B 70 % Matriz – 30% Refuerzo sin exposición a la intemperie (0 Días)

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA 						
DATOS INDORMATIVOS						
Probetas: 3 - Tipo B	Autorizada por:	Ing. Cristian Pérez			Realizado por:	Ashley Criollo R.
Sitio de análisis y ensayo	Laboratorio de Metalografía - FICM				Fecha:	20/10/2020
Tipo de estudio	Experimental de Laboratorio					
Norma utilizada	ASTM 2240					
CONDICIONES PARA EL ENSAYO DUREZA						
CARACTERÍSTICAS DE LA PROBETA				CARACTERÍSTICAS DEL EQUIPO		
Matriz	Látex	Frac. Vol	70%	Equipo	Durómetro	
Refuerzo	PGCR	Frac. Vol	30%	Dureza	Shore D	
Tiempo de exposición	0 días			Acondicionamiento de la Superficie	N/A	
Dimensión	108 mm ± 3			Iluminación	Luz Natural	
Espesor	5,35 mm			Temperatura de Pulido	24 °C	
Temperatura	17 °C			Preparación de Superficie	Moldeo	
RESULTADOS						
Codificación	Punto 1	Punto 2	Punto 3	Punto 4	Punto 5	Promedio
B1 – SE-60M-40R	24,00	26,00	22,50	23,50	24,00	24,00
B2 – SE-60M-40R	24,00	24,50	24,00	23,00	26,50	24,40
B3 – SE-60M-40R	25,50	25,00	23,50	25,50	25,00	24,90
Promedio Final						24,43
Desviación Estandar						1,13
GRÁFICAS DE RESULTADOS						
Probetas para Ensayo 						

3.1.2.3 Recolección de datos configuración C 80 % Matriz – 20% Refuerzo sin exposición a la intemperie (0 Días)

Tabla 3. 11. Datos para el ensayo de dureza en probetas Tipo C 80 % Matriz – 20% Refuerzo sin exposición a la intemperie (0 Días)

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA						
DATOS INDORMATIVOS						
Probetas: 3 - Tipo C	Autorizada por:	Ing. Cristian Pérez		Realizado por:	Ashley Criollo R.	
Sitio de análisis y ensayo	Laboratorio de Metalografía - FICM			Fecha:	20/10/2020	
Tipo de estudio	Experimental de Laboratorio					
Norma utilizada	ASTM 2240					
CONDICIONES PARA EL ENSAYO DE DUREZA						
CARACTERÍSTICAS DE LA PROBETA				CARACTERÍSTICAS DEL EQUIPO		
Matriz	Látex	Frac. Vol	80%	Equipo	Durómetro	
Refuerzo	PGCR	Frac. Vol	20%	Dureza	Shore D	
Tiempo de exposición	0 días			Acondicionamiento de la Superficie	N/A	
Dimensión	108 mm ± 3			Iluminación	Luz Natural	
Espesor	5,35 mm			Temperatura de Pulido	24 °C	
Temperatura	17 °C			Preparación de Superficie	Moldeo	
RESULTADOS						
Codificación	Punto 1	Punto 2	Punto 3	Punto 4	Punto 5	Promedio
B1 – SE-60M-40R	23,50	24,50	22,00	22,50	23,50	23,20
B2 – SE-60M-40R	25,00	24,50	22,50	22,50	24,00	23,70
B3 – SE-60M-40R	22,00	25,00	26,00	23,50	24,00	24,10
Promedio Final						23,67
Desviación Estandar						1,21
GRÁFICAS DE RESULTADOS						
Probetas para Ensayo 						

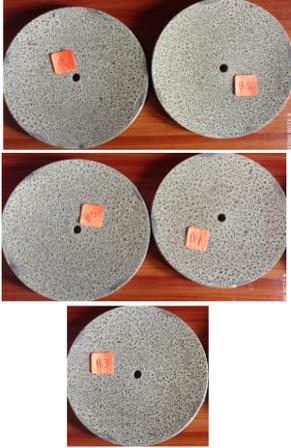
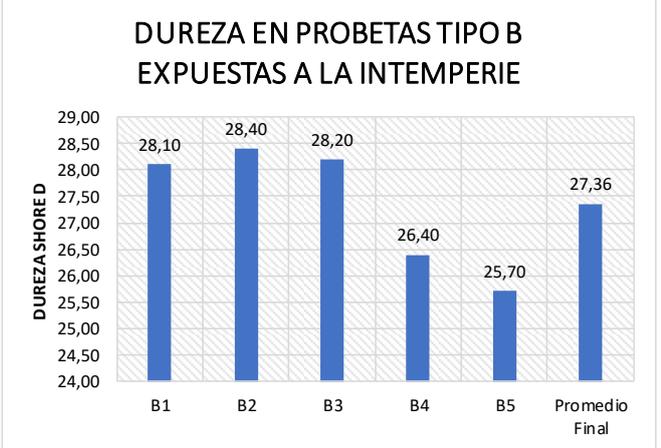
3.1.2.4 Recolección de datos configuración A 60 % Matriz – 40% Refuerzo con exposición a la intemperie (185 Días)

Tabla 3. 12. Datos para el ensayo de dureza en probetas Tipo A 60 % Matriz – 40% Refuerzo con exposición a la intemperie (185 Días)

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA						
DATOS INDORMATIVOS						
Probetas: 5 - Tipo A	Autorizada por:	Ing. Cristian Pérez	Realizado por:	Ashley Criollo R.		
Sitio de análisis y ensayo	Laboratorio de Metalografía - FICM		Fecha:	20/10/2020		
Tipo de estudio	Experimental de Laboratorio					
Norma utilizada	ASTM 2240					
CONDICIONES PARA EL ENSAYO DE DUREZA						
CARACTERÍSTICAS DE LA PROBETA		CARACTERÍSTICAS DEL EQUIPO				
Matriz	Látex	Frac. Vol	60%	Equipo	Durómetro	
Refuerzo	PGCR	Frac. Vol	40%	Dureza	Shore D	
Tiempo de exposición	185 días		Acondicionamiento de la	N/A		
Dimensión	108 mm ± 3		Iluminación	Luz Natural		
Espesor	5,35 mm		Temperatura de Pulido	24 °C		
Temperatura	17 °C		Preparación de Superficie	Moldeo		
RESULTADOS						
Codificación	Punto 1	Punto 2	Punto 3	Punto 4	Punto 5	Promedio
A1 – CE-60M-40R	28,00	29,00	27,00	26,00	27,00	27,40
A2 – CE-60M-40R	24,50	26,50	25,50	26,00	24,50	25,40
A2 – CE-60M-40R	26,00	25,50	26,00	25,00	27,00	25,90
A4 – CE-60M-40R	28,00	29,00	27,00	27,00	27,00	27,60
A5 – CE-60M-40R	27,00	29,50	29,00	29,00	28,50	28,60
Promedio Final						26,98
Desviación Estandar						1,47
GRÁFICAS DE RESULTADOS						
Probetas para Ensayo 			<div style="text-align: center;"> DUREZA EN PROBETAS TIPO A EXPUESTAS A LA INTEMPERIE </div> 			

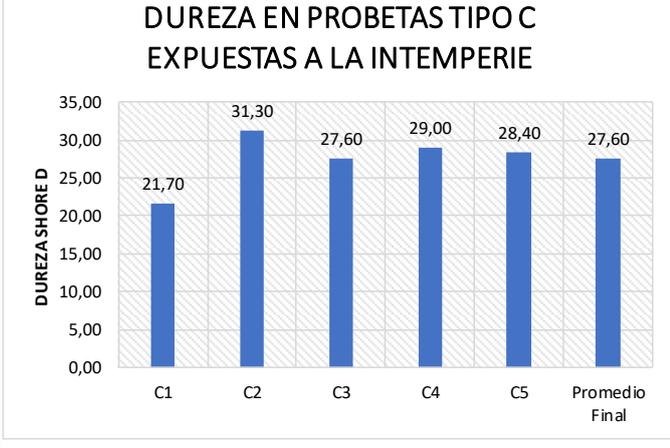
3.1.2.5 Recolección de datos configuración B 70 % Matriz – 30% Refuerzo con exposición a la intemperie (185 Días)

Tabla 3. 13. Datos para el ensayo de dureza en probetas Tipo B 70 % Matriz – 30% Refuerzo con exposición a la intemperie (185 Días)

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA						
DATOS INDORMATIVOS						
Probetas: 5 - Tipo B	Autorizada por:	Ing. Cristian Pérez		Realizado por:	Ashley Criollo R.	
Sitio de análisis y ensayo	Laboratorio de Metalografía - FICM					
Tipo de estudio	Experimental de Laboratorio			Fecha:	20/10/2020	
Norma utilizada	ASTM 2240					
CONDICIONES PARA EL ENSAYO DE DUREZA						
CARACTERÍSTICAS DE LA PROBETA			CARACTERÍSTICAS DEL EQUIPO			
Matriz	Látex	Frac. Vol	70%	Equipo	Durómetro	
Refuerzo	PGCR	Frac. Vol	30%	Dureza	Shore D	
Tiempo de exposición	185 días			Acondicionamiento de la	N/A	
Dimensión	108 mm ± 3			Iluminación	Luz Natural	
Espesor	5,35 mm			Temperatura de Pulido	24 °C	
Temperatura	17 °C			Preparación de Superficie	Moldeo	
RESULTADOS						
Codificación	Punto 1	Punto 2	Punto 3	Punto 4	Punto 5	Promedio
B1 – CE-60M-40R	26,50	29,00	27,50	29,50	28,00	28,10
B2 – CE-60M-40R	28,00	27,50	27,00	30,00	29,50	28,40
B2 – CE-60M-40R	28,00	29,50	26,50	28,00	29,00	28,20
B4 – CE-60M-40R	25,50	26,50	26,50	27,00	26,50	26,40
B5 – CE-60M-40R	27,00	25,50	24,50	24,50	27,00	25,70
Promedio Final						27,36
Desviación Estandar						1,52
GRÁFICAS DE RESULTADOS						
Probetas para Ensayo 			DUREZA EN PROBETAS TIPO B EXPUESTAS A LA INTEMPERIE 			

3.1.2.6 Recolección de datos configuración C 80 % Matriz – 20% Refuerzo con exposición a la intemperie (185 Días)

Tabla 3. 14. Datos para el ensayo de dureza en probetas Tipo C 80 % Matriz – 20% Refuerzo con exposición a la intemperie (185 Días)

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA						
DATOS INDORMATIVOS						
Probetas: 5 - Tipo C	Autorizada por:	Ing. Cristian Pérez	Realizado por:	Ashley Criollo R.		
Sitio de análisis y ensayo	Laboratorio de Metalografía - FICM		Fecha:	20/10/2020		
Tipo de estudio	Experimental de Laboratorio					
Norma utilizada	ASTM 2240					
CONDICIONES PARA EL ENSAYO DE DUREZA						
CARACTERÍSTICAS DE LA PROBETA		CARACTERÍSTICAS DEL EQUIPO				
Matriz	Látex	Frac. Vol	80%	Equipo	Durómetro	
Refuerzo	PGCR	Frac. Vol	20%	Dureza	Shore D	
Tiempo de exposición	185 días			Acondicionamiento de la	N/A	
Dimensión	108 mm ± 3			Iluminación	Luz Natural	
Espesor	5,35 mm			Temperatura de Pulido	24 °C	
Temperatura	17 °C			Preparación de	Moldeo	
RESULTADOS						
Codificación	Punto 1	Punto 2	Punto 3	Punto 4	Punto 5	Promedio
C1 – CE-60M-40R	18,00	22,50	24,00	21,50	22,50	21,70
C2 – CE-60M-40R	32,50	36,50	28,50	32,00	27,00	31,30
C2 – CE-60M-40R	26,00	25,00	30,00	28,50	28,50	27,60
C4 – CE-60M-40R	28,00	29,50	29,00	28,50	30,00	29,00
C5 – CE-60M-40R	25,00	28,00	30,50	30,00	28,50	28,40
Promedio Final						27,60
Desviación Estandar						3,92
GRÁFICAS DE RESULTADOS						
Probetas para Ensayo 			DUREZA EN PROBETAS TIPO C EXPUESTAS A LA INTEMPERIE 			

3.2 Análisis de Resultados

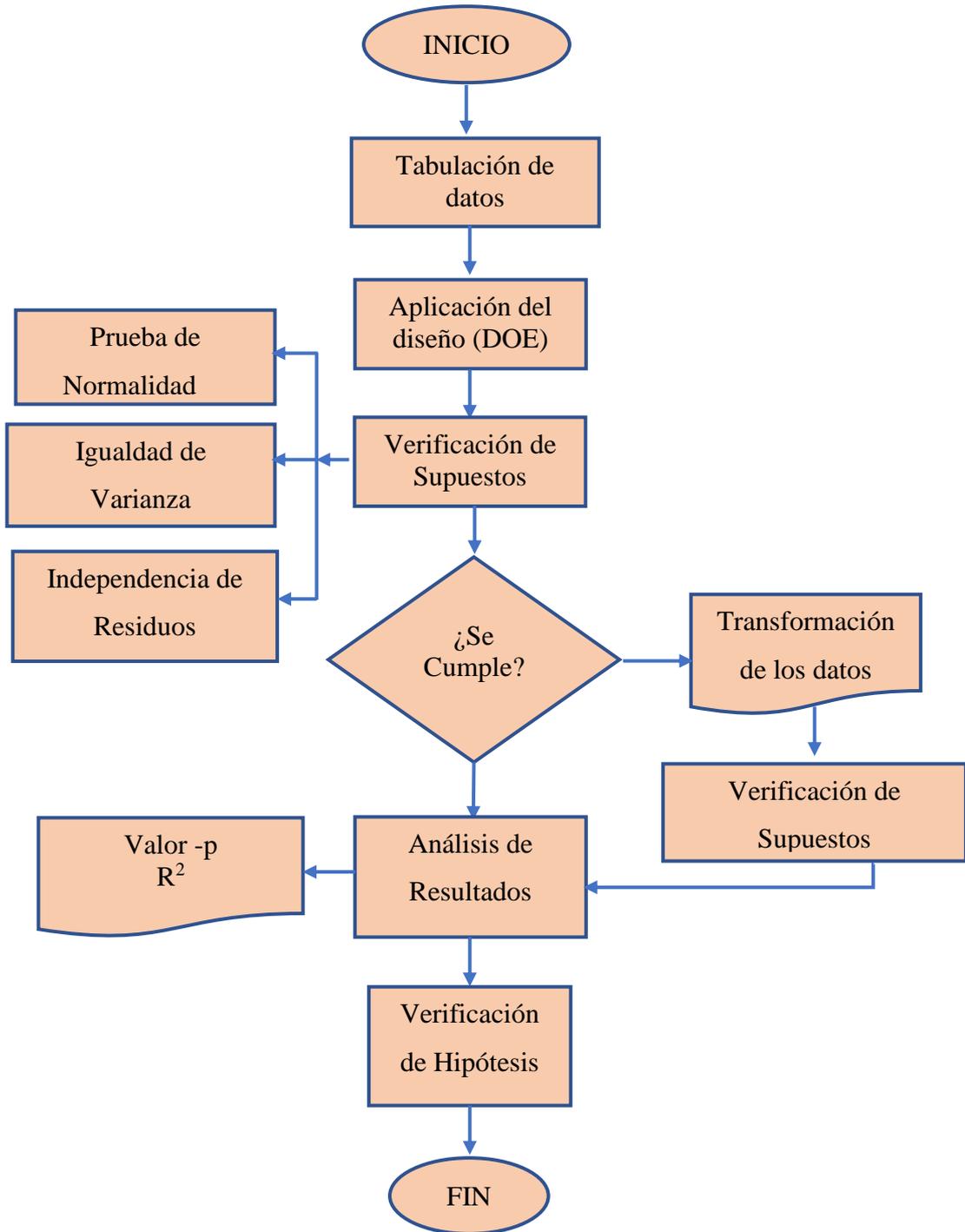


Fig 3. 1. Método aplicable al análisis de resultados

El análisis de resultados se desarrolla mediante el uso de un software estadístico, el cual permite determinar los supuestos paramétricos según cada variable experimental de salida. Se determina la aceptación o rechazo de la hipótesis, una vez terminado el estudio en la investigación propuesta para el material de látex más Partículas de Gránulo de Caucho Reciclado (PGCR).

3.2.1 Parámetros del ensayo de exposición a la intemperie

El ensayo de exposición a la intemperie corresponde a la guía establecida por la norma ASTM D-1435, para lo cual se ensayaron cinco muestras por cada variación del porcentaje de refuerzo para el material de látex más PGCR, las mismas que fueron diseñadas según la norma para ensayo de abrasión con un diámetro de 108 ± 3 mm y con una perforación central de 6.35 mm.

El control diario de los factores influyentes fue durante los 185 días (seis meses), en donde se registra valores de radiación UV alta en promedio [53], Precipitaciones (mm) [54], humedad relativa (%) [55] y temperatura (T_{\max} , $-T_{\min}$) [56].

Los valores obtenidos están presentes en la tabla 3.15 organizados por mes con valores del promedio diario.

Tabla 3. 15. Promedio de factores influyentes en las muestras a exposición mes a mes.

Tabla promedio de factores influyentes en las muestras						
Mes	Fecha de inicio/ final	T° Max (°C)	T° Min (°C)	Lluvia promedio (mm)	Humedad relativa (%)	Promedio de Radiación Uv Alta
Abril	15-30/04/2020	16,81	6,81	4,39	87,50	11,13
Mayo	1-31/05/2020	15,23	9,35	3,39	83,00	10,97
Junio	1-30/06/2020	15,40	8,13	1,49	82,33	10,40
Julio	1-31/07/2020	14,74	7,16	0,76	79,84	10,19
Agosto	1-31/08/2020	16,32	4,81	0,64	75,97	11,74
Septiembre	1-30/09/2020	16,73	1,87	1,11	78,73	12,10
Octubre	1-15/10/2020	16,53	2,60	1,73	75,33	11,47

Tras la recolección de datos de los factores influyentes en la Fig 3.2 se observa la variación de los mismos, en los cuales se aprecia que los valores más altos y la temperatura mínima a los que fueron expuestas las probetas son:

- a) Temperatura máxima (T_{\max}): 16,81 °C - abril
- b) Temperatura mínima (T_{\min}): 2,6 °C - octubre
- c) Lluvia promedio o precipitaciones: 4,39 mm - abril
- d) Radiación Uv: 16,8 - abril

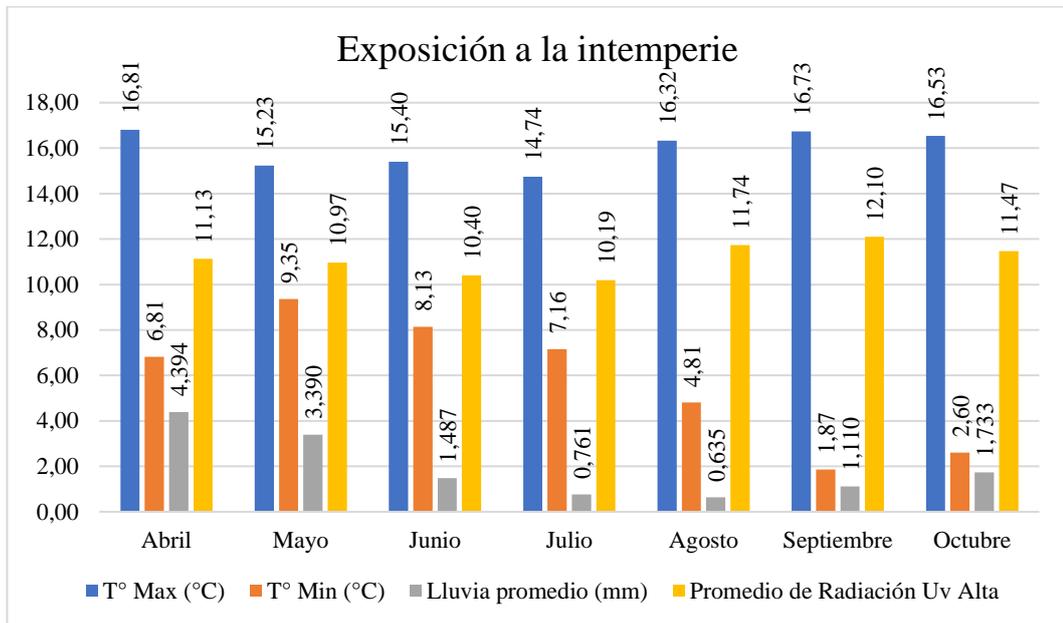


Fig 3. 2. Factores influyentes en la exposición a la intemperie

Por lo tanto, se puede establecer que la mayor influencia de los factores se presenta en el mes de abril, es decir este mes corresponde al que mayores afectaciones dieron sobre las probetas con respecto al resto de meses.

En adición a los factores de influencia sobre las muestras o probetas, el factor de humedad relativa tiene un comportamiento independiente debido a que esta expresado en porcentaje.

El comportamiento del factor en mención se evidencia en la Fig 3.3 dando como resultado de este factor valores altos en el mes de abril y mayo, es decir que durante este par de meses las probetas apreciaron la mayor cantidad de humedad.

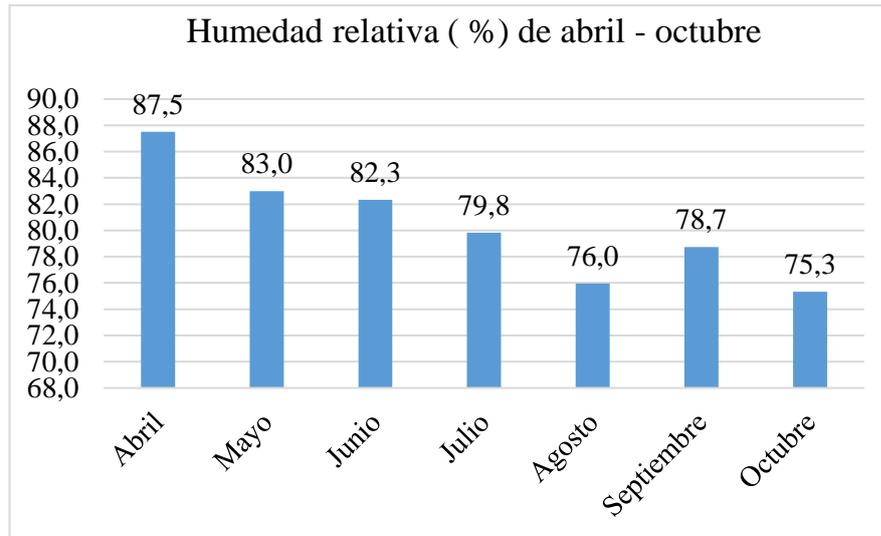


Fig 3. 3. Factor de Humedad relativa (%) en la exposición a la intemperie de abril a octubre.

3.2.2 Análisis de ensayo de abrasión

Se plantea realizar el análisis, en base a un diseño factorial general completo 3 x 2 donde 3 corresponde al número de factores y 2 refiere al número de niveles para 5 réplicas, se consideraron factores de entrada al porcentaje de refuerzo y al tiempo de exposición a la intemperie, como respuesta experimental se evaluó el porcentaje de pérdida de masa.

3.2.2.1 Verificación de supuestos del porcentaje de pérdida de masa

Con los residuos del modelo de regresión factorial, del diseño antes descrito, se efectuó la verificación de los supuestos, para definir como satisfactorio el análisis y dar paso a la interpretación de resultados.

Dentro de este primer paso, se evidencio que los residuos no cumplían con los supuestos, por lo que, para contar con un análisis más preciso, se empleó una transformación de los datos aplicando una Transformación de Box-Cox, el parámetro de transformación empleado fue de λ igual a -0,5.

Con la transformación respectiva se pueden revisar detalladamente los supuestos paramétricos:

a) Supuesto de normalidad de residuos

La verificación del supuesto de normalidad, se detalla en la Tabla 3.16, se la realiza a través de la prueba de bondad de ajuste de Anderson – Darling, con esta prueba se busca contrastar el valor-p en base al estadístico de prueba. Se contempla una significancia predefinida de 0,05.

Tabla 3. 16. Verificación de normalidad del porcentaje de pérdida de masa

NORMALIDAD DE LOS RESIDUOS DEL PORCENTAJE DE DESGASTE				
N° de Experimentos:	30	Estadístico de Prueba:	Anderson-Darling	0,492
Significancia:	$\alpha = 0,05$	Valor - p:		0,203
Hipótesis Nula	Ho: “Los residuos del porcentaje de pérdida de masa para el material compuesto de Látex más PGCR, siguen una distribución normal”			
Hipótesis Alternativa	H1: “Los residuos del porcentaje de pérdida de masa para el material compuesto de Látex más PGCR, no siguen una distribución normal”			
			DESCRIPCIÓN:	
			El valor-p = 0,203 es mayor a $\alpha = 0,05$, razón por la cual no se rechaza Ho.	
			CONCLUSIÓN:	
		Los datos transformados del porcentaje de pérdida de masa del compuesto de Látex más refuerzo de PGCR presentan una distribución normal con una significancia de 5%.		

b) Igualdad de varianza

La verificación del supuesto de igualdad de varianza de los tratamientos, se describe en la Tabla 3.17, se la realiza a través de la prueba de Levene, con esta prueba se busca contrastar el valor-p en base al estadístico de prueba. Se contempla una significancia predefinida de 0,05.

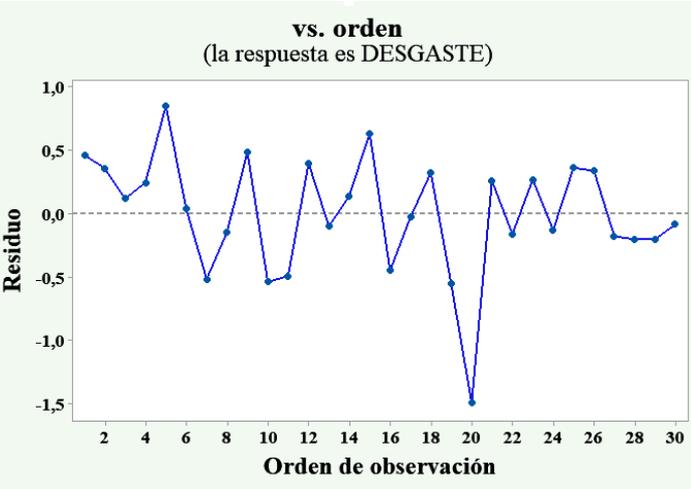
Tabla 3. 17. Verificación de igualdad de varianza del porcentaje de pérdida de masa

IGUALDAD DE VARIANZA DE LOS RESIDUOS DEL PORCENTAJE DE DESGASTE				
N° de Experimentos:	30	Estadístico de Prueba:	Levene	0,940
Significancia:	$\alpha= 0,05$	Valor -p:		0,474
Hipótesis Nula	Ho: “Los tratamientos del porcentaje de pérdida de masa para el material compuesto de Látex más PGCR, presentan varianzas iguales”			
Hipótesis Alternativa	H1: “Los tratamientos del porcentaje de pérdida de masa para el material compuesto de Látex más PGCR, no presentan varianzas iguales”			
<p>Múltiples intervalos de comparación para la desviación estándar, $\alpha = 0,05$</p> <p>REFUERZO EXPOSICIÓN</p> <p>20 0 185</p> <p>30 0 185</p> <p>40 0 185</p> <p>0 1 2 3 4 5</p> <p><i>Si los intervalos no se superponen, las Desv.Est. correspondientes son significativamente diferentes.</i></p> <p>Comparaciones múltiples Valor p 0,209 Prueba de Levene Valor p 0,474</p>			DESCRIPCIÓN:	
			El valor-p = 0,474 obtenido mediante la prueba de Levene es mayor a $\alpha= 0,05$, por tal razón no se rechaza Ho.	
			CONCLUSIÓN:	
Los tratamientos de los datos transformados del porcentaje de pérdida de masa del compuesto de Látex más refuerzo de PGCR presentan varianzas iguales, con una significancia de 5%.				

c) Independencia de Residuos

La verificación del supuesto de independencia de residuos, se especifica en la Tabla 3.18, en la cual se detalla la gráfica de residuos de la respuesta transformada versus el orden de observación.

Tabla 3. 18. Verificación de independencia de residuos de los datos de porcentaje de pérdida de masa

INDEPENDENCIA DE RESIDUOS DEL PORCENTAJE DE DESGASTE	
Número de Experimentos:	30
Hipótesis Nula	H₀: “Los residuos del porcentaje de pérdida de masa para el material compuesto de Látex más PGCR, presentan independencia”
Hipótesis Alternativa	H₁: “Los residuos del porcentaje de pérdida de masa para el material compuesto de Látex más PGCR, no presentan independencia”
 <p style="text-align: center;">vs. orden (la respuesta es DESGASTE)</p>	DESCRIPCIÓN:
	La gráfica de residuos del porcentaje de pérdida de masa en el composite de Látex reforzado con PGCR versus el orden de observación, no presenta un patrón o tendencia.
	CONCLUSIÓN:
	Los residuos del porcentaje de pérdida de masa en el composite de Látex reforzado con PGCR versus el orden de observación, son independientes.

3.2.2.2 Análisis de la varianza del porcentaje de pérdida de masa

Teniendo la transformación respectiva que nos permite tener un correcto análisis del porcentaje de pérdida de masa, en el análisis de la varianza en la Tabla 3.19, se destaca el valor-p del modelo, el cual, al ser menor a la significancia predefinida de 0,05 nos indica que las medias globales de los tratamientos, tienen diferencias significativas.

Esta diferencia conlleva a que, existe una combinación en particular que aproveche los niveles de los factores, para reducir el porcentaje de pérdida de masa del material.

Tabla 3. 19. Análisis de varianza de los datos transformados del porcentaje de pérdida de masa

Fuente	G.L.	Suma de Cuadrados	Cuadrado Medio	Valor F	Valor p
Modelo	5	30,0173	6,0035	23,32	0,000
Refuerzo	2	0,3324	0,1662	0,65	0,533
Exposición	1	29,3487	29,3487	113,99	0,000
Ref.*Expo.	2	0,3362	0,1681	0,65	0,530
Error	24	6,1789	0,2575		
Total	29	36,1962			

El modelo de regresión factorial, del diseño factorial general completo, explica el 82,93% de la variabilidad del porcentaje de pérdida de masa transformado, por lo cual, el modelo tiene una baja variabilidad no contemplada.

3.2.2.3 Interpretación de resultados

a) Diagrama de Pareto de efectos

Una representación más visual de la información presentada en la tabla del ANOVA, respecto a la influencia significativa o no, de las fuentes de variabilidad sobre la respuesta medida, se observa en la Figura 3.4, en donde se evidencia que solo el efecto del tiempo de exposición es significativo sobre la media del porcentaje de pérdida de masa.

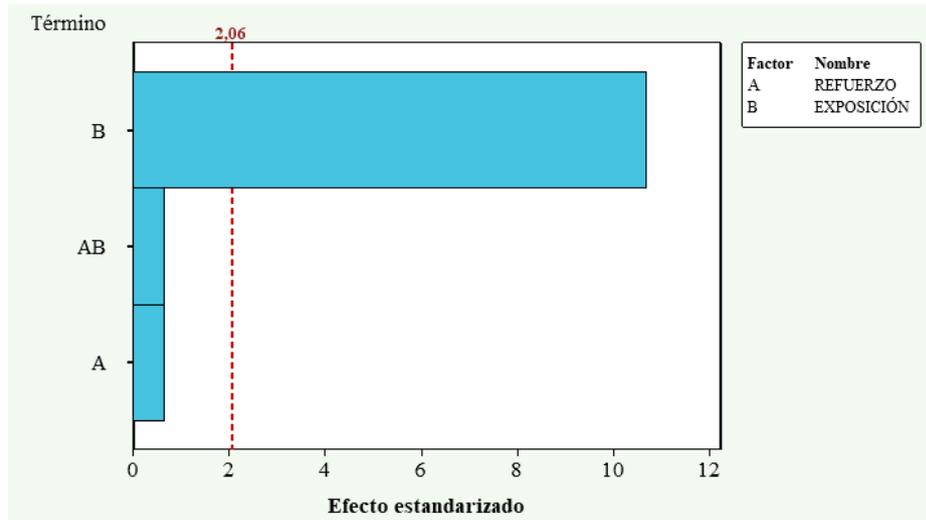


Fig 3.4. Diagrama de Pareto de efectos del porcentaje de pérdida de masa [50]

b) Gráficas factoriales

En la gráfica de efectos principales en la Figura 3.5, se evidencia de manera amplia el efecto significativo que tiene el tiempo de exposición a la intemperie sobre el porcentaje de desgaste, asimismo se puede identificar la ausencia de un efecto significativo por parte del porcentaje de refuerzo. Se puede notar de manera marcada que, a mayor tiempo de exposición, mayor es el porcentaje de pérdida de masa.

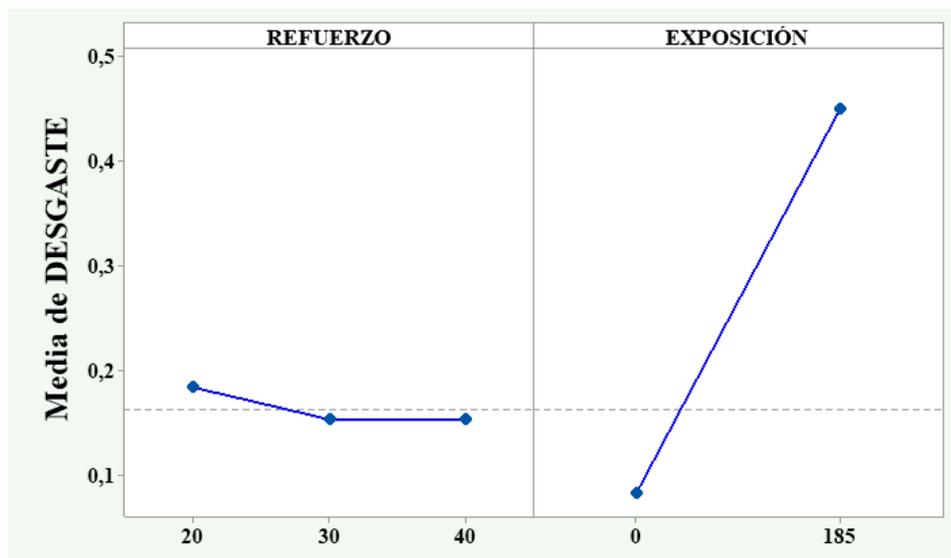


Fig 3.5. Efectos principales para el porcentaje de pérdida de masa [50]

La gráfica de interacciones del Tiempo de exposición con el Porcentaje de refuerzo, que se muestra en la Figura 3.6, indican que; en cada línea, que representa el valor del porcentaje de refuerzo, la variación del porcentaje de pérdida de masa al cambiar el tiempo de exposición a la intemperie, es similar en los 3 niveles, por lo que se deduce que el efecto de interacción no es significativo, entre los factores analizados.

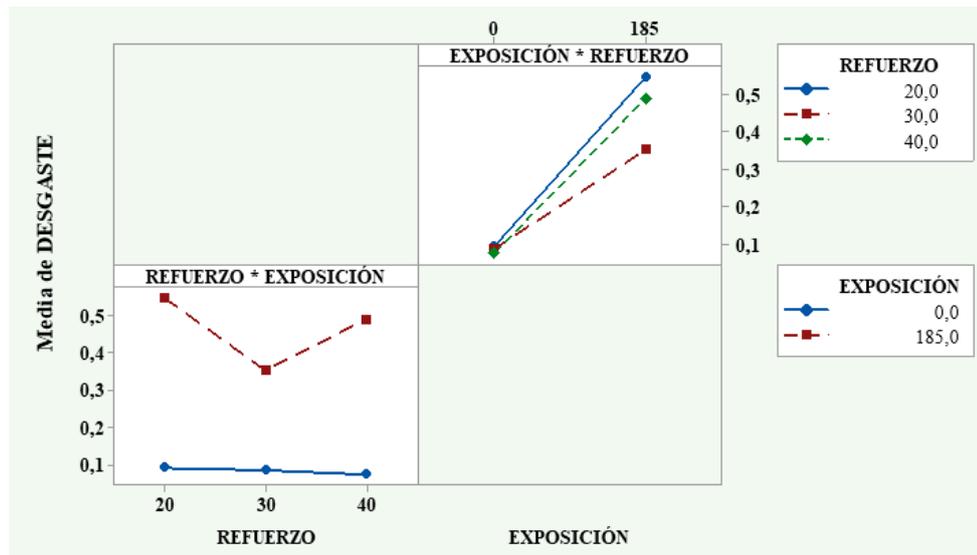


Fig 3.6. Gráficas de interacción para el porcentaje de pérdida de masa [50].

3.2.3 Análisis de ensayo de dureza

Se plantea realizar el análisis, en base a un diseño factorial general completo 3 x 2, con 4 réplicas, se consideraron factores de entrada al porcentaje de refuerzo y al tiempo de exposición a la intemperie, como respuesta experimental se evaluó la dureza por cada variación en el porcentaje de refuerzo.

Apegándonos a la factibilidad que se tuvo de realizar el ensayo de dureza, se tienen 4 réplicas para todos los tratamientos, esto se dio para que exista homogeneidad en el diseño y que este se pueda ejecutar.

3.2.3.1 Verificación de supuestos de la dureza.

Con los residuos del modelo de regresión factorial, del diseño antes descrito, se efectuó la verificación de los supuestos, para definir como satisfactorio el análisis y dar paso a la interpretación de resultados.

Dentro de este primer paso, se evidencio que los residuos cumplían con los supuestos, se pueden revisar detalladamente los supuestos paramétricos:

a) Supuesto de normalidad de residuos

La verificación del supuesto de normalidad, se detalla en la Tabla 3.20, se la realiza a través de la prueba de bondad de ajuste de Anderson – Darling, con esta prueba se busca contrastar el valor-p en base al estadístico de prueba. Se contempla una significancia predefinida de 0,05.

Tabla 3. 20. Verificación de normalidad de la dureza.

NORMALIDAD DE LOS RESIDUOS DE LA DUREZA				
N° de Experimentos:	24	Estadístico de Prueba:	Anderson-Darling	0,368
Significancia:	$\alpha = 0,05$	Valor - p:		0,401
Hipótesis Nula	Ho: “Los residuos de la dureza para el material compuesto de Látex más PGCR, siguen una distribución normal”			
Hipótesis Alternativa	H1: “Los residuos de la dureza para el material compuesto de Látex más PGCR, no siguen una distribución normal”			
			DESCRIPCIÓN:	
			El valor-p = 0,401 es mayor a $\alpha = 0,05$, razón por la cual no se rechaza Ho.	
			CONCLUSIÓN:	
		Los datos de la dureza del compuesto de Látex más refuerzo de PGCR presentan una distribución normal con una significancia de 5%.		

b) Igualdad de varianza

La verificación del supuesto de igualdad de varianza de los tratamientos, se describe en la Tabla 3.21, se la realiza a través de la prueba de Levene, con esta prueba se busca contrastar el valor-p en base al estadístico de prueba. Se contempla una significancia predefinida de 0,05.

Tabla 3. 21. Verificación de igualdad de varianza de la dureza.

IGUALDAD DE VARIANZA DE LOS RESIDUOS DE LA DUREZA			
N° de Experimentos:	24	Estadístico de Prueba:	Levene
Significancia:	$\alpha= 0,05$	Valor -p:	0,138
Hipótesis Nula	Ho: “Los tratamientos de la dureza para el material compuesto de Látex más PGCR, presentan varianzas iguales”		
Hipótesis Alternativa	H1: “Los tratamientos de la dureza para el material compuesto de Látex más PGCR, no presentan varianzas iguales”		
<p>Prueba de igualdad de varianzas: R.DUREZA vs. REFUERZO; EXPOSICIÓN Múltiples intervalos de comparación para la desviación estándar, $\alpha = 0,05$</p> <p>REFUERZO EXPOSICIÓN</p> <p>20 0 185</p> <p>30 0 185</p> <p>40 0 185</p> <p>0 1 2 3 4 5</p> <p>Comparaciones múltiples Valor p 0,487 Prueba de Levene Valor p 0,138</p> <p><i>Si los intervalos no se superponen, las Desv.Est. correspondientes son significativamente diferentes.</i></p>			DESCRIPCIÓN:
			El valor-p = 0,138 obtenido mediante la prueba de Levene es mayor a $\alpha= 0,05$, por tal razón no se rechaza Ho.
			CONCLUSIÓN:
			Los tratamientos de la dureza del compuesto de Látex más refuerzo de PGCR presentan varianzas iguales, con una significancia de 5%.

c) Independencia de Residuos

La verificación del supuesto de independencia de residuos, se especifica en la Tabla 3.22, en la cual se detalla la gráfica de residuos de la respuesta transformada versus el orden de observación.

Tabla 3. 22. Verificación de independencia de residuos de los datos de dureza.

INDEPENDENCIA DE RESIDUOS DE LA DUREZA	
Número de Experimentos:	24
Hipótesis Nula	Ho: “Los residuos de la dureza para el material compuesto de Látex más PGCR, presentan independencia”
Hipótesis Alternativa	H1: “Los residuos de la dureza para el material compuesto de Látex más PGCR, no presentan independencia”
<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 60%;"> <p style="text-align: center;">vs. orden (la respuesta es DUREZA)</p> </div> <div style="width: 35%; padding-left: 10px;"> <p>DESCRIPCIÓN:</p> <p>La gráfica de residuos de la dureza en el composite de Látex reforzado con PGCR versus el orden de observación, no presenta un patrón o tendencia.</p> <p>CONCLUSIÓN:</p> <p>Los residuos de la dureza en el composite de Látex reforzado con PGCR versus el orden de observación, son independientes.</p> </div> </div>	

3.2.3.2 Análisis de la varianza de la medición de Dureza

Verificando que los datos cumplen con los supuestos paramétricos, lo que nos permiten tener un correcto análisis de la dureza, en el análisis de la varianza en la Tabla 3.23, se destaca el valor-p del modelo, el cual, al ser menor a la significancia predefinida de 0,05 nos indica que las medias globales de los tratamientos, tienen diferencias significativas.

Esta diferencia conlleva a que, existe una combinación en particular que aproveche los niveles de los factores, para obtener un valor de dureza en el material, de acuerdo a las necesidades del investigador.

Tabla 3. 23. Análisis de varianza de la dureza.

Fuente	G.L	Suma de Cuadrados	Cuadrado Medio	Valor F	Valor p
Modelo	5	72,9309	14,5862	30,03	0,000
Refuerzo	2	0,9572	0,4786	0,99	0,393
Exposición	1	70,0986	70,0986	144,34	0,000
Ref.*Expo.	2	1,8750	0,9375	1,93	0,174
Error	18	8,7419	0,4857		
Total	23	81,6728			

El modelo de regresión factorial, del diseño factorial general completo, explica el 89,30% de la variabilidad de la dureza, por lo cual, el modelo tiene una baja variabilidad no contemplada.

3.2.1.3 Interpretación de resultados

a) Diagrama de Pareto de efectos

Una representación más visual de la información presentada en la tabla del ANOVA, respecto a la influencia significativa o no, de las fuentes de variabilidad sobre la respuesta medida, se observa en la Figura 3.7, en donde se evidencia que solo el efecto del tiempo de exposición es significativo sobre la media de la dureza.

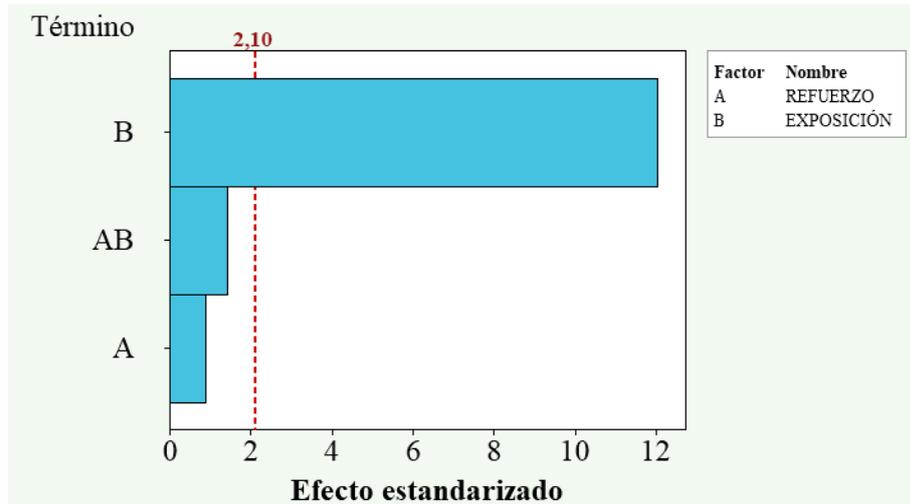


Fig 3.7. Diagrama de Pareto de efectos de la dureza [50]

b) Gráficas factoriales

En la gráfica de efectos principales en la Figura 3.8, se evidencia de manera amplia el efecto significativo que tiene el tiempo de exposición a la intemperie sobre la dureza, asimismo se puede identificar la ausencia de un efecto significativo por parte del porcentaje de refuerzo. Se puede notar de manera marcada que, a mayor tiempo de exposición, mayor es la dureza.

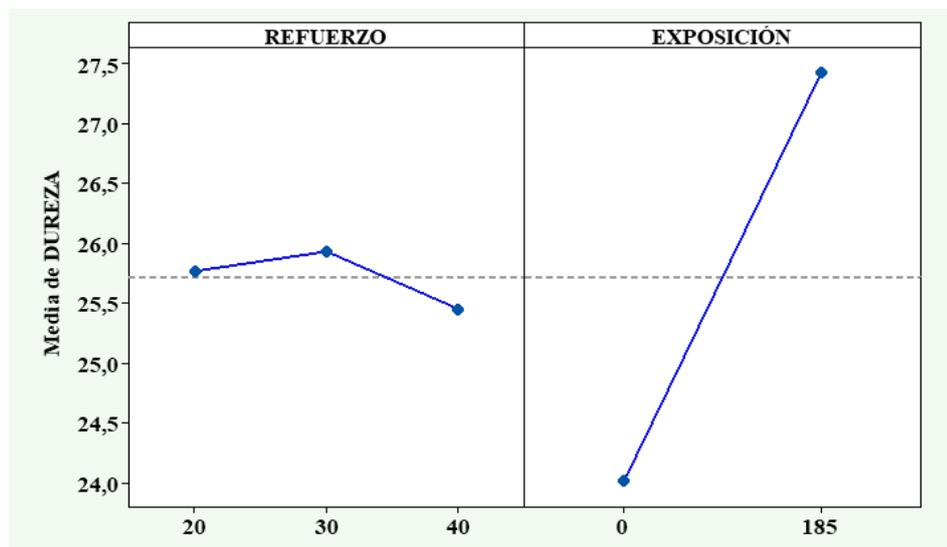


Fig 3.8. Efectos principales para la dureza [50]

La gráfica de interacciones del Tiempo de exposición con el Porcentaje de refuerzo, que se muestra en la Figura 3.9, indican que; en cada línea, que representa el valor del porcentaje de refuerzo, la variación de la dureza al cambiar el tiempo de exposición a la intemperie, es similar en los 3 niveles, por lo que se deduce que el efecto de interacción no es significativo, entre los factores analizados.

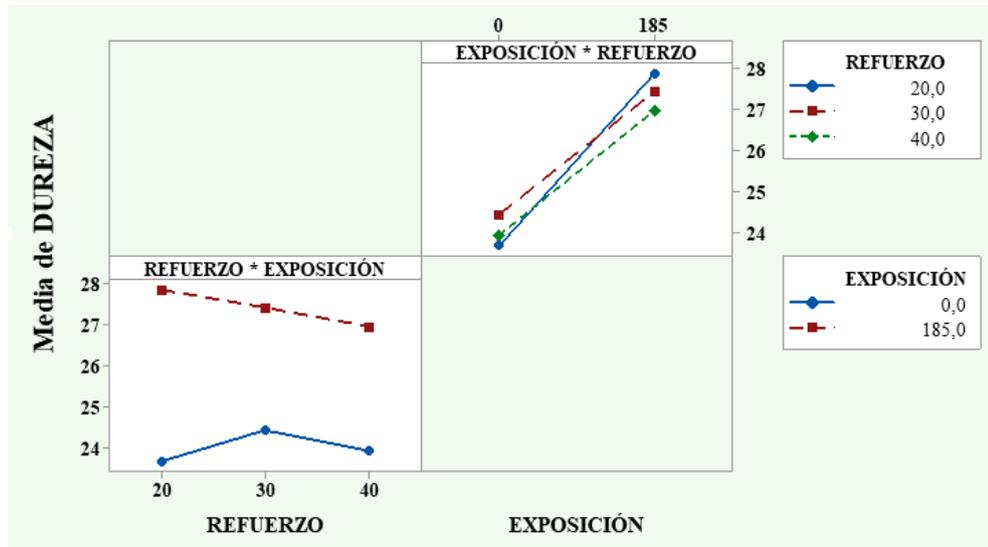


Fig 3.9. Gráficas de interacción para la dureza [50]

3.3 Optimización

Se estiman los valores de deseabilidad individual para el porcentaje de pérdida de masa y para la dureza, se emplea la función de deseabilidad

a) Desgaste optimización individual

Para el porcentaje de pérdida de masa, se consideró minimizar la respuesta predicha, por lo que, de manera particular para esta respuesta, se considera el caso óptimo el que se compone de 40% de refuerzo, sin exposición a la intemperie, esto se puede evidenciar en la Tabla 3.24.

Tabla 3. 24. Optimización individual del desgaste

Refuerzo	Exposición	Porcentaje de pérdida de masa predicho	Deseabilidad
40	0	0,0739	0,9808
30	0	0,0856	0,9746
20	0	0,0915	0,9715
40	185	0,4894	0,7618
30	185	0,3521	0,8342
20	185	0,5468	0,7316

b) Dureza optimización individual

Para la dureza, se consideró minimizar la respuesta predicha, por lo que, de manera particular para esta respuesta, se considera el caso óptimo el que se compone de 20% de refuerzo, sin exposición a la intemperie, esto se puede evidenciar en la Tabla 3.25.

Tabla 3. 25. Optimización individual de la dureza

Refuerzo	Exposición	Dureza predicha	Deseabilidad
40	0	23,933	0,8736
30	0	24,433	0,7874
20	0	27,875	0,9195
40	185	26,975	0,3491
30	185	27,438	0,2694
20	185	27,875	0,1940

c) Optimización global

Con las optimizaciones individuales, se pueden englobar las propiedades analizadas en un valor comparable cuantitativamente, por lo que se puede estimar la combinación que aprovecha eficientemente la combinación de factores. En la Tabla 3.27, se puede notar los valores de las respuestas predichas para el porcentaje de pérdida de masa y para la dureza.

Tabla 3. 26. Optimización global con minimización del desgaste y de dureza.

Refuerzo	Exposición	Porcentaje de pérdida de masa predicho	Dureza predicha	Deseabilidad Global
40	0	0,0739	23,933	0,9256
30	0	0,0856	24,433	0,8760
20	0	0,0915	27,875	0,9452
40	185	0,4894	26,975	0,5157
30	185	0,3521	27,438	0,4741
20	185	0,5468	27,875	0,3767

Asimismo, se observa en la Fig 3.10, la disposición de los valores de la deseabilidad global de los tratamientos, en la que podemos ver que los valores más deseables se lo obtienen en los casos en los que no existió exposición a la intemperie. El caso óptimo global, es el que combina un 20% de porcentaje de refuerzo y que no está expuesto a la intemperie.

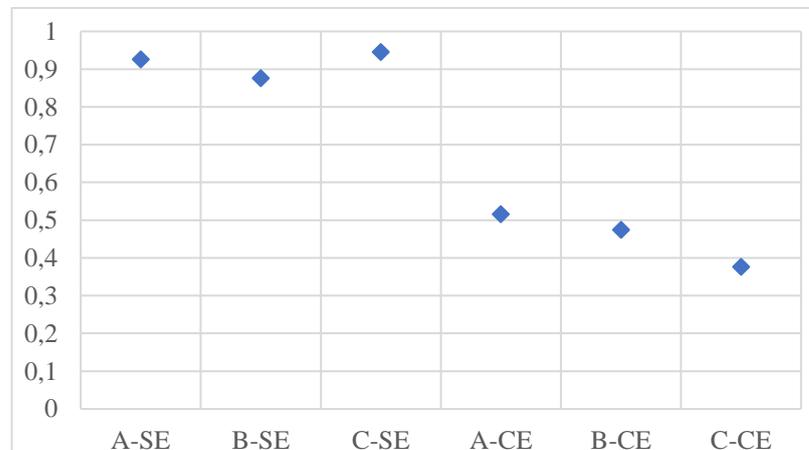


Fig 3.10. Deseabilidad Global

3.4 Verificación de hipótesis

Con la información obtenida en los análisis de la varianza del porcentaje de pérdida de masa y dureza, mediante un modelo de regresión factorial general complejo, en el que se analizaron como factores, el porcentaje de refuerzo y tiempo de exposición a la intemperie; esta información se resume en la Tabla 3.28.

Tabla 3. 27. Resumen de coeficientes del análisis.

Respuesta experimental	Coeficiente de determinación	Valor – p	
		Porcentaje de refuerzo	Tiempo de exposición
Porcentaje de pérdida de masa	82,93 %	0,533	0,000
Dureza	89,30 %	0,393	0,000

Debido a la naturaleza de los resultados, es preciso verificar la hipótesis de manera particular, ya que los parámetros de análisis dentro del material compuesto, tienen distintos efectos variantes sobre las propiedades medidas.

De acuerdo a la hipótesis planteada:

La exposición a la intemperie a 0 y 185 días del material compuesto de látex con adición de partículas de gránulo de caucho reciclado (PGCR) para tres variaciones de refuerzo incide en las propiedades tribológicas de desgaste y dureza.

Y a través del planteamiento de la hipótesis nula (Ho) y alternativa (H1):

Ho: La variación del porcentaje de refuerzo (40%, 30%, 20%) del compuesto de látex más Partículas de Gránulo de Caucho Reciclado (PGCR), expuestas a la intemperie a 0 y 185 días, no inciden de manera significativa en sus propiedades tribológicas de dureza y desgaste.

H1: La variación del porcentaje de refuerzo (40%, 30%, 20%) del compuesto de látex más Partículas de Gránulo de Caucho Reciclado (PGCR), expuestas a la intemperie a 0 y 185 días, inciden de manera significativa en sus propiedades tribológicas de dureza y desgaste.

Se verifica que:

El factor tiempo de exposición, es el único que muestra un -p valor significativo menor que 0,05; por lo tanto, se comprueba que la exposición a la intemperie si incide en las propiedades tribológicas de desgaste y dureza para el material compuesto de Látex más PGCR.

3.5 Aplicación industrial del Composite de látex más PGCR

La principal aplicación del composite de Látex más PGCR es constituirse como un reemplazo de pisos según el estudio realizado por [1], quien presenta excelentes propiedades mecánicas de tracción flexión y dureza.

Tomando en cuenta este estudio entonces se va enfocar en una sola aplicación de piso que para el caso es la adecuación de pisos para parques infantiles.

a) Elaboración de pisos para adecuación de parques infantiles

Acorde a la respuesta de optimización global, en la cual se determina que la configuración más apropiada para la elaboración de pisos es la de un 20% de refuerzo (PGCR), 80% de matriz (Látex) y tras el análisis de la incidencia del intemperismo sobre sus propiedades tribológicas de dureza y desgaste se determina que, en comparación con el material líder (PLAYTOP) en la adecuación de parques infantiles en Europa [57] este nuevo composite puede ser su reemplazo por las características de similitud (Tabla 3.28) que ambos materiales poseen y sobre todo la facilidad de adquisición de materia prima para su elaboración en Ecuador.

Tabla 3. 28. Comparación de Materiales

MATERIAL PARA ADECUACIÓN DE PARQUES INFANTILES		
CARACTERISTICA	PLATOP	LÁTEX + PGCR
Matriz Termoplástica	✓	✓
Refuerzo particulado de caucho	✓	✓
Coste Bajo coste	✓	✓
Mantenimiento Regular	✓	✓
Humedad Baja	✓	✓
Resistencia al Impacto alta	✓	✓
Estimación de Vida útil	✓	✓
Incrustación leve	✓	✓

b) Tiempo de vida útil

El tiempo de vida útil del material se establece en base al porcentaje de desgaste que se obtuvo de la configuración óptima establecida en la tabla 3.26. Por consiguiente, se tiene:

Tabla 3. 29. Resumen de resultados configuración óptima (20% PGCR+ 80% Látex) de desgaste y dureza

RESULTADOS A CERO DIAS		RESULTADOS A 185 DÍAS	
Desgaste promedio de muestras	Dureza promedio de muestras	Desgaste promedio de muestras	Dureza promedio de muestras
8,05 %	23,67	80,47 %	27,60

Con los datos establecidos en la tabla 3.29 se puede determinar que el material compuesto de látex más PGCR se deteriora un 80% tras estar sometido al intemperismo durante seis meses.

$$80,47\% \text{ desgaste} \longrightarrow 6 \text{ meses}$$

$$100\% \text{ desgaste} \longrightarrow x$$

$$x = 7,45 \text{ meses}$$

Suponiendo un desgaste abrasivo excesivo y consecutivo tiene un tiempo de vida útil estimado de siete meses, Si embargo, esta estimación esta consolidada para funcionamiento óptimo del material y sin condiciones de mantenimiento, adicional cabe recalcar que el material en este tiempo no queda obsoleto solo se evidencia cambios en sus propiedades.

Entonces, se puede estimar el tiempo de vida útil a baja condición de fricción, impacto, humedad, desgaste y dureza es 10 años ya que las referencias principales son el área donde se aplica y la similitud al material PLAYTOP.

CAPÍTULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 Conclusiones

- Los nuevos composites de látex reforzados con material particulado se incluyen en el grupo de materiales elastómeros termoplásticos ya que por el tipo de refuerzo tienden a constituirse como materiales de relación geométrica estable en todas sus direcciones y son altamente resistentes al desgaste.
- El material compuesto se obtiene a través del proceso de vulcanización con una variante en el refuerzo de 20%, 30% y 40% para tres tipos de configuración volumétrica, tomado como referencia investigaciones anteriores que mostraron resultados positivos en la manufactura de látex más partículas de gránulo de caucho reciclado.
- El estudio del DOE, se basa en la aplicación del diseño factorial general completo 3*2 para cinco muestras por cada configuración del material de látex más PGCR, con un total de 30 muestras para ensayos y análisis previo y posterior a la exposición a la intemperie.
- La exposición a la intemperie a cero grados para cada configuración volumétrica según la norma ASTM D-1435, evidencia cambios en las propiedades físicas, desgaste y dureza durante los 185 días de exposición.
- Al término del tiempo de exposición las probetas presentan una coloración amarillenta e incremento de rigidez superficial debido a la Radiación Uv, Humedad relativa, precipitaciones y Temperatura a la que estuvieron sometidas las muestras.
- La prueba de desgaste para el material compuesto de látex más PGCR se desarrolla en dos etapas; un grupo previo a la exposición y el otro grupo posterior a la exposición a la intemperie, para cada tanda a 1000 ciclos de ensayo con una carga de 1000g por cada variación de refuerzo en cada una de las muestras.

- Las muestras a ensayar contienen dimensiones exactas acorde a lo descrito por la norma ISO 9352, de igual forma las probetas de látex mas PGCR tienen un diámetro exterior de 111 ± 3 mm, un diámetro interior y espesor de 6,35mm.
- El índice de desgaste Taber (IDT) corresponde a la diferencia del pesaje de la cantidad de masa previa al ensayo y posterior al ensayo de abrasión multiplicada por 1000 y dividido entre el número de ciclos a desarrollar el ensayo.
- Al comparar y analizar los resultados del porcentaje de pérdida de masa, se puede entender que, a mayor tiempo de exposición a la intemperie, mayor es el porcentaje de pérdida de masa; también que la exposición a la intemperie influye en un 81,08 % a la variabilidad del desgaste.
- La variación del porcentaje de refuerzo no afecta significativamente al porcentaje de pérdida de masa ni a la dureza del material; por lo que el cambio en el porcentaje de refuerzo, no altera en gran medida a los valores de dichas propiedades.
- El modelo de regresión, del diseño factorial general completo, explica la variabilidad del porcentaje de pérdida de masa y de la dureza en un 82,93% y 89,30%, respectivamente.
- El tiempo de exposición a la intemperie afecta de manera similar al porcentaje de pérdida de masa y la dureza; a mayor tiempo de exposición, mayor es el valor de la dureza, asimismo la variabilidad de este factor sobre el valor de la dureza es del 85,83%.

4.2 Recomendaciones

- Establecer el porcentaje de refuerzo en base a investigaciones previas evita el desperdicio de materiales o componentes de un composite, además permite avanzar e implementar de manera más efectiva resultados positivos en los nuevos materiales a base de refuerzo particulado.
- Durante el proceso de vulcanización se debe controlar el tiempo exacto para cada configuración volumétrica que corresponde de 1 a 3 minutos a temperatura estable de 180 °C, caso contrario las muestras tienden a presentar burbujas o coloración café por quemadura.

- Una vez obtenido el material compuesto se debe realizar al menos una probeta adicional al número total de muestras para ensayo, debido a que en el proceso o al finalizar el análisis se necesita una muestra adicional para comparación o verificación de los cambios y resultados.
- Al mantener las muestras en exposición a la intemperie se debe llevar un control periódico visual de las probetas, debido a que, en materiales elastómeros termoplásticos a los tres meses de exposición tienen a pandearse y hay que hacer corrección de postura para que mantenga los 0° de exposición y no haya complicaciones en el desarrollo del ensayo de desgaste.
- Tomando en cuenta las indicaciones del manual para ensayos de abrasión; las muestras a someter al ensayo de desgaste se debe colocarlas en el sitio de ensayos por lo menos 24 horas previos al ensayo para de esta forma evitar la influencia de factores externos sobre las muestras.
- Los ensayos se desarrollen en las mismas condiciones para todas las muestras, es decir, a temperatura ambiente, limpieza de superficie previo al ensayo, refrentado de muelas abrasivas y colocación de carga externa.
- Los materiales a base de matriz elastomérica con refuerzo particulado de caucho, deben ser expuestos a un tiempo de exposición prolongado debido a que, a los seis meses presenta desgaste, pero no significativo, si se tuviese datos a mayor tiempo se consideraría un porcentaje de desgaste más demostrativo.
- La cantidad de datos registrados para el estudio tendrá un soporte más eficaz en el análisis de resultados ya que a mayor número de datos se puede eliminarlos los dispersos y evitar resultados fuera de lo común.

BIBLIOGRAFÍA Y REFERENCIAS

- [1] F. Palacios Pérez, “Análisis de las características Mecánicas de un Material compuesto a partir de matriz elastomérica de látex reforzado con granulo de caucho reciclado para elaboración de pisos”, Univ. Técnica de Ambato, 2017.
- [2] H. J. Erquicia Gonzales, “Analysis of wear phenomena in Carbon fibre reinforced Polymer Matrix Composites”, Univ. Cantabria, 2017.
- [3] G. Ojado Sánchez, “Resistencia al desgaste y a la abrasión de polímeros técnicos y nanocomposites”, Univ. Pol. Cartagena, 2013.
- [4] Á. Villamana Pazos, “Propiedades Mecánicas y desgaste de nanomateriales compuestos de matriz epoxi”, Univ. Carlos III de Madrid.
- [5] R. A. Enríquez Delgado, “Estudio del grado de degradación de PVC y PMMA, en las condiciones atmosféricas de la ciudad de Quito”, Escuela Politécnica Nacional, 2012.
- [6] V. Guerrero, et al., “Materiales Compuestos de matriz poliéster reforzados con fibras naturales y sintéticas”, *Departamento de Materiales*, vol. 1, no. 1, p. 5, 2013.
- [7] E. U. “2,4 millones de neumáticos se desechan cada año en Ecuador.” *El Universo* (junio. 03, 2018), sec. A p.1.
- [8] J. L. Dávila, et al., *Nuevos Materiales. Aplicaciones Estructurales e Industriales*, 1 ed., Quito: Imprefep, 2011.
- [9] G. E. Espinoza Beltrán y J. A. Hidalgo Pacheco, “Caracterización de materiales compuestos para la aplicación en la carrocería del Vehículo monoplaza tipo formula SAE”, Univ. Pol. Salesiana sede matriz Cuenca, 2016.
- [10] L. S. Arias Maya y L. Vanegas Useche, “Materiales Compuestos Inteligentes”, *Scientia et Technica*, vol. 1, no.1, p. 6, 2004.
- [11] C. Pérez Alonso, “Naval composites: Los materiales compuestos y la industria Naval”, Univ. Pol. de Catalunya, 2016.

- [12] A. Moral Borque y M. López Noguera, “Materiales Compuestos – Composites”, ETSAG - UAH, 2007.
- [13] J. Williams, “Australian Academy of Science”, 2015 [En línea]. Disponible en: <https://www.science.org.au/curious/technology-future/composite-materials>. [Último acceso: 03-mayo-2020].
- [14] O. Erdem Ismal y P. Roshan, “Sciencedirect”, 2017. [En línea]. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/composite-materials>. [Último acceso: 03-mayo-2020].
- [15] F. Stupenengo, “Materiales y Materias Primas”, Buenos Aires: Saavedra 789, 2011.
- [16] D. Ramírez Rosas, “Estudio Preliminar de un material compuesto de matriz termoplástica con adición particulada en caracterización”, *Reserchgate*, vol., no. 1, p. 30, 2015.
- [17] A. A. Junceda, “Efecto de partículas de caucho provenientes de neumáticos fuera de uso como modificador de la tenacidad en materiales compuestos”, Trabajo de grado, Univ. Madrid, 2015.
- [18] M. Tanzi y G. Candiani, “Organization, Structure, and properties of materials”, *Foundations of Biomaterials Engeneering*, 2019.
- [19] I. GS, “Iesgeneralstudies”, 2017. [En línea]. Disponible en: <https://iesgeneralstudies.com/chapter-7-composites/>. [Último acceso: 15-mayo-2020].
- [20] M. Gonzales Villeareal, “Optimización de las propiedades mecánicas de compositos de Resina poliéster reforzados con fibras de vidrio y cargas de carbonato de calcio”, Trabajo de fin de carrera, Univ. autónoma de Nuevo León, 2014.
- [21] HTL Solutions, “Htl solutions”, 2019. [En línea]. Disponible en: https://www.htls.com.mx/index.php?route=information/information&information_id=30. [Último acceso: 17- mayo-2020].

- [22] G. Morales Antigüedad, “Procesado y Caracterización de materiales compuestos de matriz polimérica reforzados con nanofibras de carbono para aplicaciones tecnológicas”, Univ. Complutense de Madrid, 2008.
- [23] C. Vildoms, “Materiales Compuestos”, UDLAP.
- [24] M. Romero Romay y J. Díaz Hernández, “INTEREMPRESAS”, 2019. [En línea]. Disponible en: <https://www.interempresas.net/Aeronautica/Articulos/244627-Inngra-el-nuevo-refuerzo-en-la-industria-de-los-materiales-compuestos.html>. [Último acceso: 03-mayo-2020].
- [25] J. M. Carrasco, “SlideShare”, Abugattas Ingenieros S.A, 2013. [En línea]. Disponible en: <https://es.slideshare.net/juancarrasco/que-es-un-elastmero>. [Último acceso: 17- mayo-2020].
- [26] D. Juárez Varón, et al., “Estudio análisis y clasificación de elastómeros termoplásticos”, *Ciencias*, vol. 1, no. 1, p. 22, 2012.
- [27] C. Blanco, et al., “Pegamentos de Contacto”, *Plastisoles*, 2013.
- [28] S. Amin y A. Muhammad, “THERMOPLASTIC ELASTOMERIC (TPE) MATERIALS AND THEIR USE IN OUTDOOR ELECTRICAL INSULATION”, vol. 1, p. 16, 2011.
- [29] S. Olivares, M. Galán y F. Roa, “Los Composites: Características y Aplicaciones en la edificación”, no. 1, p. 18, 2003.
- [30] S. Gaucho, “Tipos de Refuerzos”, *Studocu*, no. 1, p. 3, 2016.
- [31] Guzmán, “Granulado de Neumáticos”, CGP0051, 09- junio-2016.
- [32] ECO GREEN, “ecogreenequipment”, 2018. [En línea]. Disponible en: <https://ecogreenequipment.com/es/el-granulo-de-caucho-y-sus-distintas-aplicaciones/>. [Último acceso: 17-mayo-2020].
- [33] PETROQUÍMICA, “Descripción y estructura de la cadena productiva”, Colombia, p. 328, 2003.

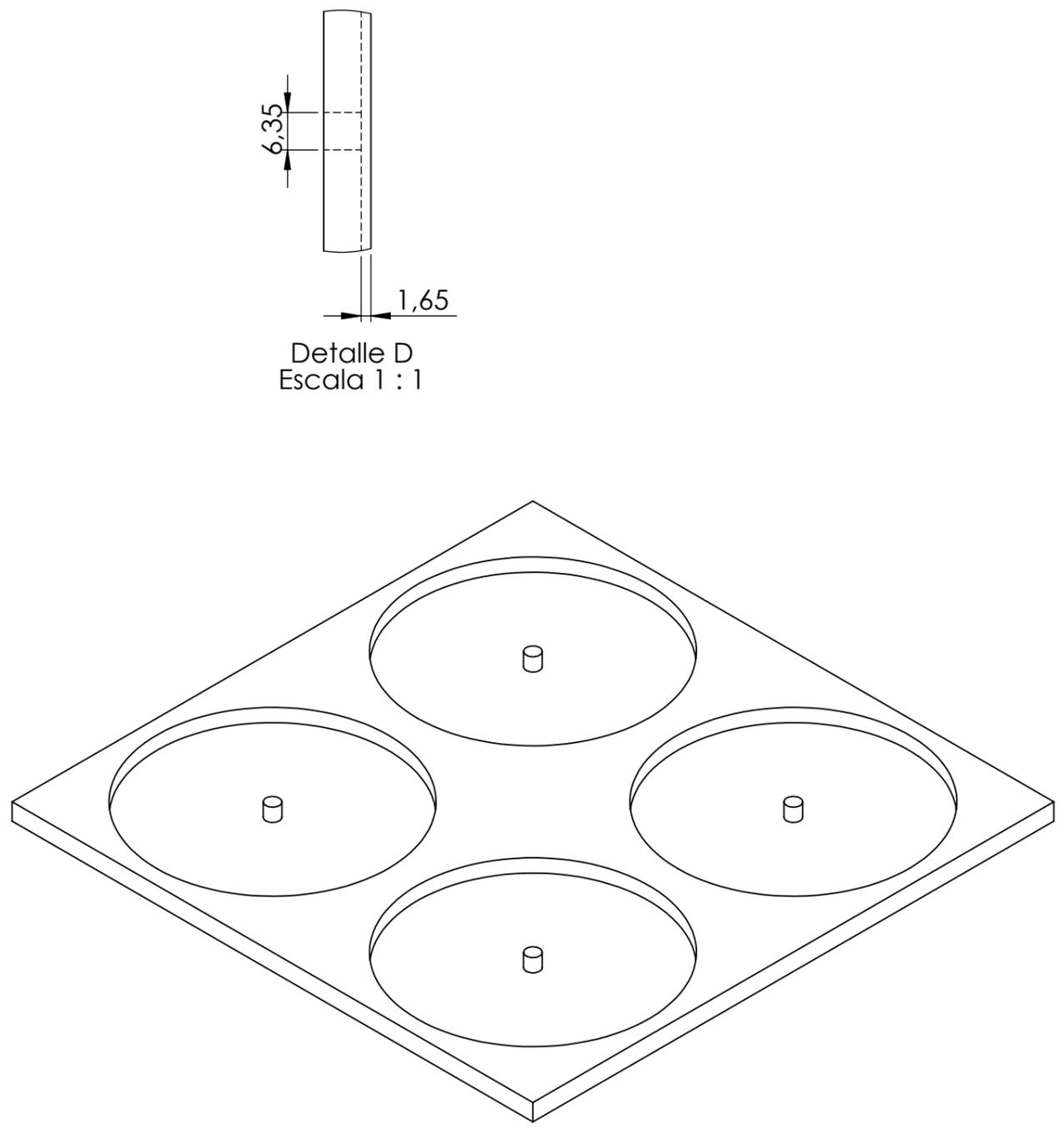
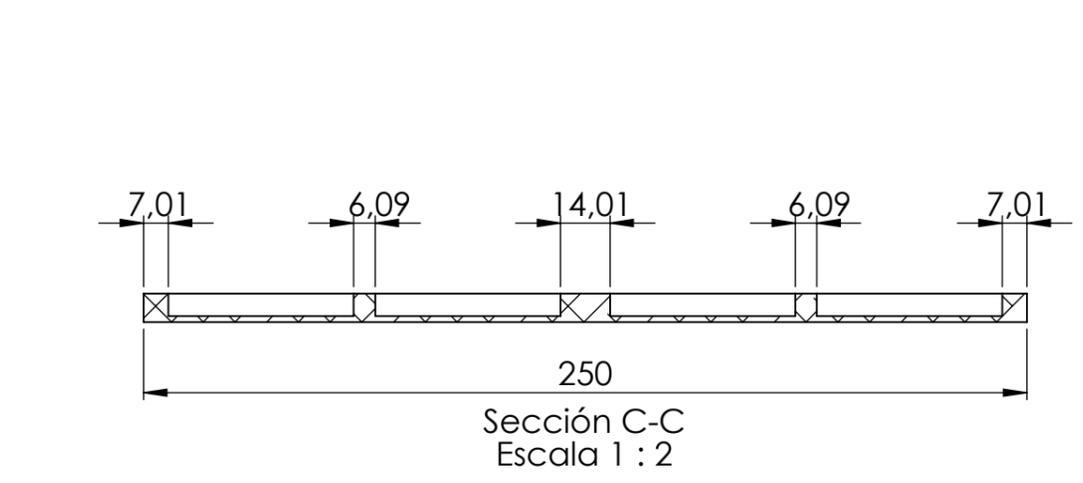
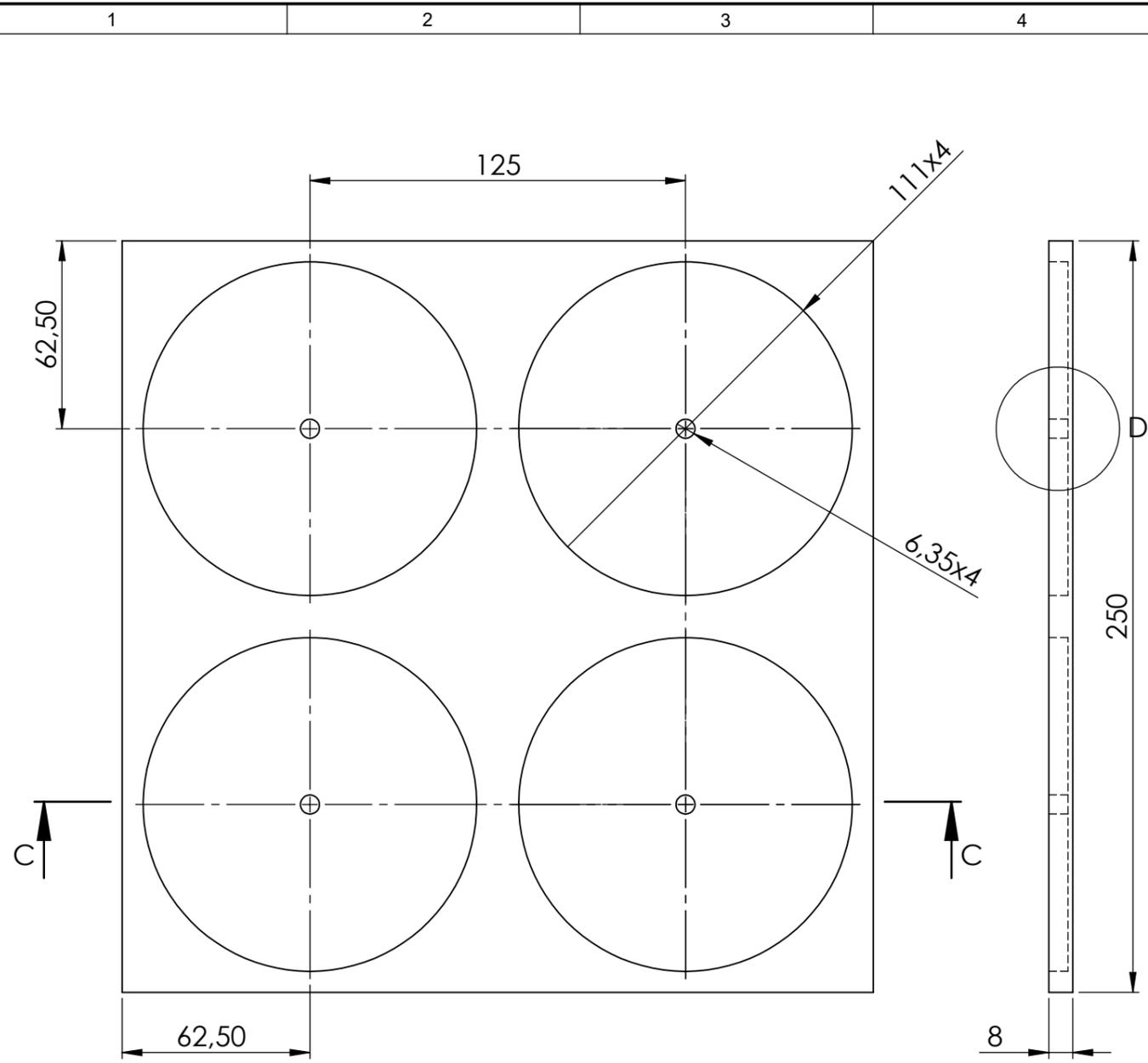
- [34] J. P. Quintero Cáseres y J. P. Suárez Cepeda, “Obtención de un material compuesto a partir de gránulo de caucho reciclado y aceite de higuerilla modificado”, Univ. de Santander, 2009.
- [35] G. J. Peláez Arroyave, et al., “Aplicaciones del Caucho Reciclado: Una revisión de la literatura”, *Ciencia e Ingeniería Neograndina*, vol. 27, no. 2, pp. 27-50, 2017.
- [36] TRACTOMAQ, “Grupo Tractomaq”, 2019. [En línea]. Disponible en: <https://www.grupotractomaq.com/reciclaje/>. [Último acceso: 05-junio-2020].
- [37] L. Cardona Gómez y L. M. Sánchez Montoya, “Aprovechamiento de llantas usadas para la fabricación de pisos decorativos”, *Especialización en PML*, pp. 58-59, 2011.
- [38] I. G. Castro, “FIUBA”, 2007. [En línea]. Disponible en: https://campus.fi.uba.ar/file.php/295/Material_Complementario/Reutilizacion_Reciclado_y_Disposicion_final_de_Numatico.pdf. [Último acceso: 26-marzo-2020].
- [39] R. Mujal Rosas, et al., “Propiedades dieléctricas y mecánicas del polietileno de alta densidad (HDF) reforzado con neumáticos fuera de uso (GTR)”, *Revista de química y teoría Aplicada*, vol. 67, no.545, pp. 7-13, 2010.
- [40] J. Luddey Marulanda, et al., “Construcción de una máquina para ensayo en desgaste abrasivo”, *Pereira*, no. 41, p. 6, 2009.
- [41] F. Diaz del Castillo Rodríguez, *Tribología: Fricción, Desgaste y Lubricación*, Cuautitlán, 2007.
- [42] A. Cenna, J. et al., “Wear mechanism in polymer matrix composites abraded by bulk solids”, *El Servier*, pp. 1-7, 2000.
- [43] NEUTREK, Neurtek instruments, Abrasimetro Taber, ESPAÑA.
- [44] J. Gutiérrez, et al., “Evaluación de la resistencia al desgaste abrasivo en Recubrimientos duros en la Industria”, Colombia, 2004.

- [45] DMCA, “TABER INDUSTRIES”, [En línea]. Disponible en: <https://studylib.es/doc/6544397/abras%C3%ADmetro-rotacional-taber-5135>. [Último acceso: 10- abril-2020].
- [46] C. Martínez, “Control de calidad en la industria del caucho”, Univ. Antioquía, Departamento de Ingeniería de materiales, 2007.
- [47] Aislamiento y Estanqueidad ERICA S.L, “ERICA S.L” 2019. [En línea]. Disponible en: <http://www.ericas.es/web/dureza/>. [Último acceso: 04-septiembre-2020].
- [48] E. Santos, et al., “Acerca del ensayo de dureza”, *Notas Científicas*, vol. 4, no. 2, pp. 73 -80, 2001.
- [49] B. Posada Bustamante, “La degradación de las plásticas”, Universidad Eafit, no. 94, p. 20.
- [50] Minitab Statistical Software, 2019.
- [51] H. Gutiérrez Pulido y R. De la Vara Salazar, *Análisis y diseño de experimentos*, México: Mc Graw Hill, 2012.
- [52] H. Erazo Sánchez, “Análisis estadístico de las propiedades mecánicas a tracción flexión e impacto del material híbrido con fibra de vidrio y abacá en la matriz polimérica de resina poliéster, para determinar la mejor configuración”, Univ. Técnica de Ambato, 2019.
- [53] INAMHI, 2020. [En línea]. Disponible en: http://www.serviciometeorologico.gob.ec/Front_productos/productos_pronosticos.html. [Último acceso: 15 abril – 15 octubre 2020].
- [54] Esclimate, “es. climate”, 2020. [En línea]. Disponible en: <https://es.climate-data.org/america-del-sur/ecuador/provincia-de-pichincha/machachi-25431/>. [Último acceso: 15 abril – 15 octubre 2020].

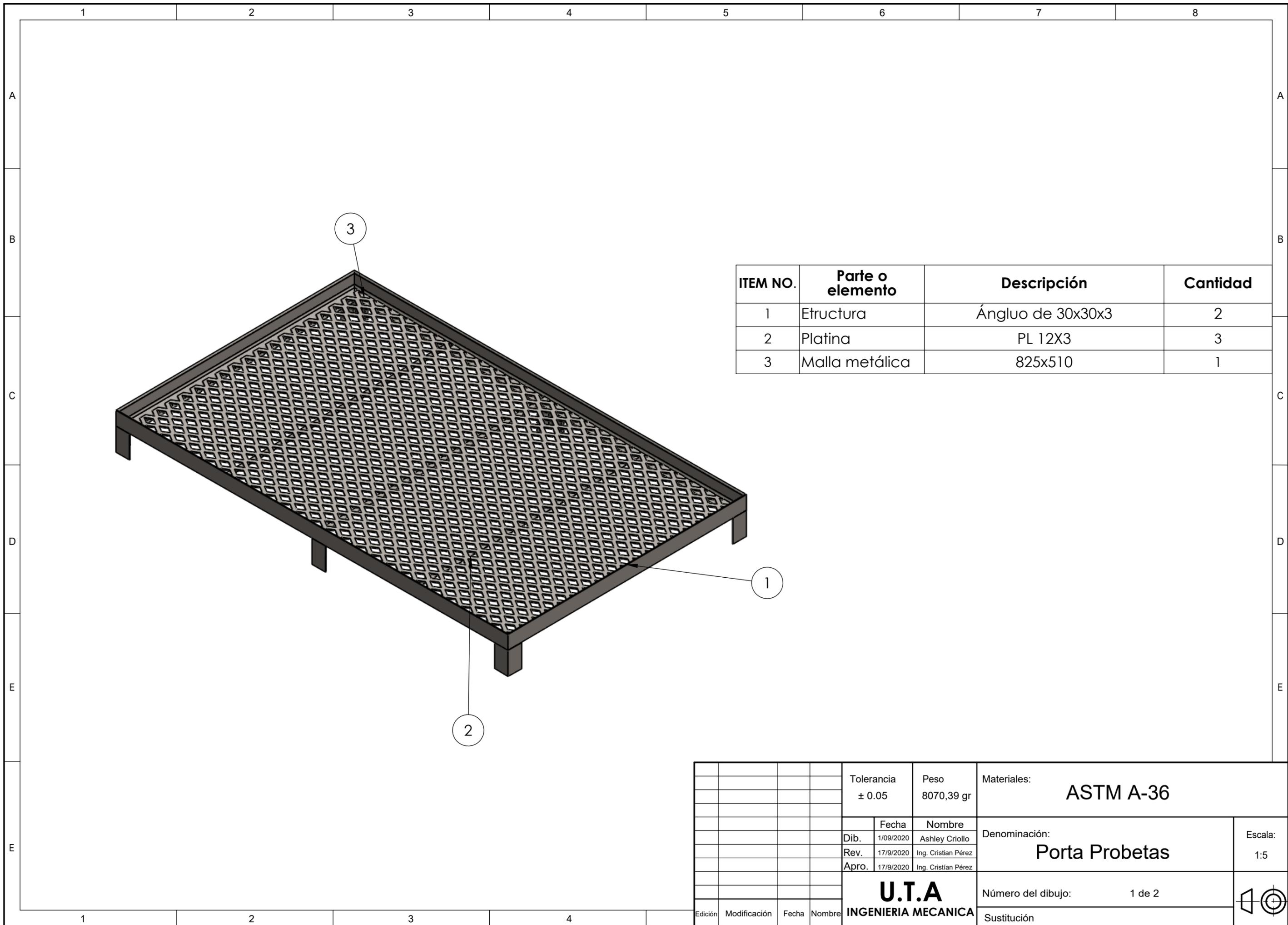
- [55] Meteoblue, 2020. [En línea]. Disponible en: https://www.meteoblue.com/es/tiempo/historyclimate/weatherarchive/machachi_ecuador_3654536?fcstlength=1m&year=2020&month=10. [Último acceso: 15 abril – 15 octubre 2020].
- [56] AccuWeather, 2020. [En línea]. Disponible en: <https://www.accuweather.com/es/ec/machachi/129808/aprilweather/129808?year=2020>. [Último acceso: 15 abril-15 octubre 2020].
- [57] JARDINCELAS, [En línea]. Disponible en: <https://jardincelas.com/suelo-continuo-de-caucho-parques-infantiles/>. [Último acceso: 01 marzo 2021].

ANEXOS

ANEXO A

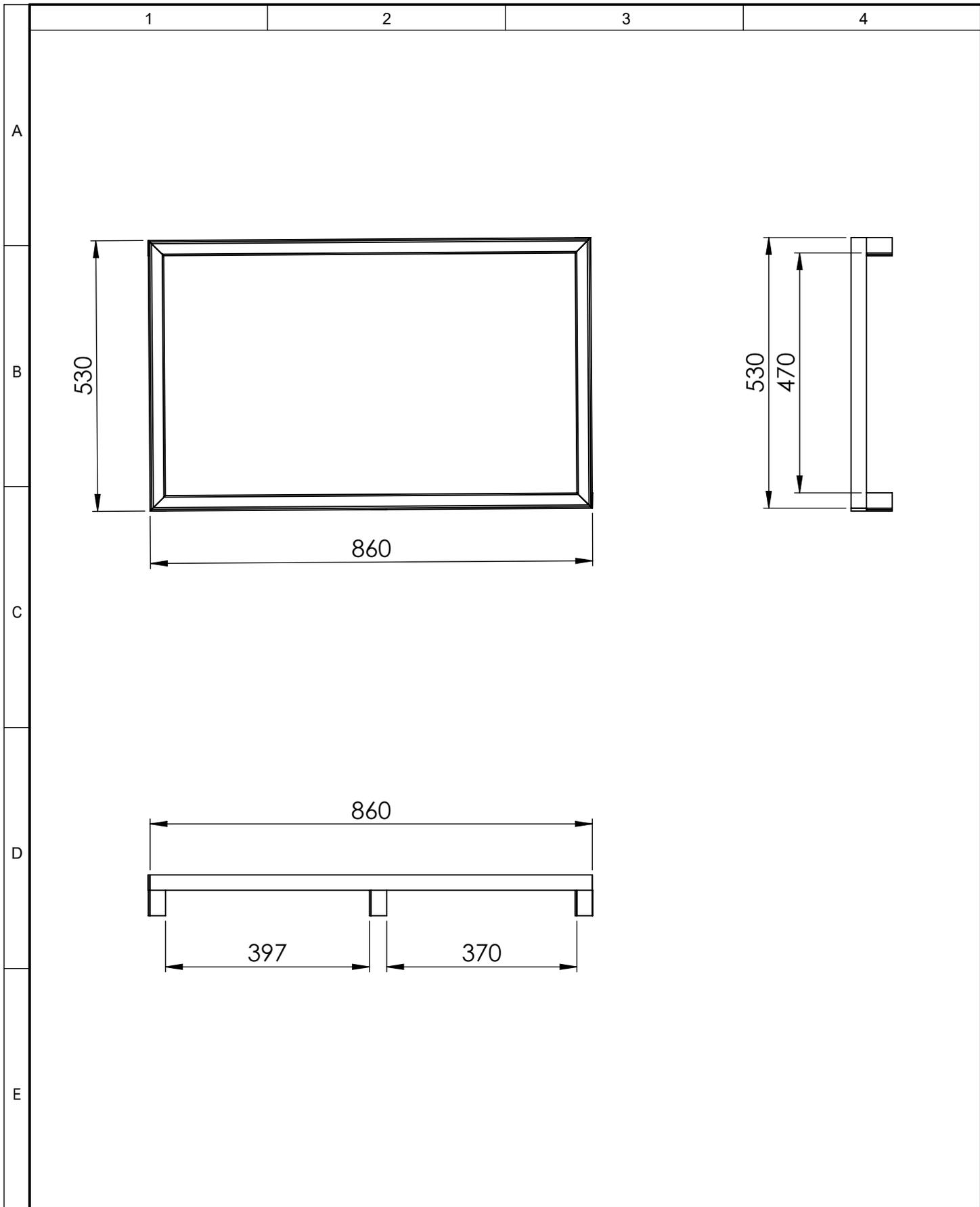


				Tolerancia	Peso	Materiales:	
				±0.05	688,53 gr	Aleación de Aluminio 1060	
					Fecha	Nombre	Denominación:
				Dib.	14/09/2020	Ashley Criollo	
				Rev.	2/1/2021	Ing. Cristian Pérez	
				Apro.	2/1/2021	Ing. Cristian Pérez	Escala: 1:2
				U.T.A INGENIERIA MECANICA			
				Número del dibujo:		1	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre	Sustitución			



ITEM NO.	Parte o elemento	Descripción	Cantidad
1	Estructura	Ángulo de 30x30x3	2
2	Platina	PL 12X3	3
3	Malla metálica	825x510	1

				Tolerancia ± 0.05	Peso 8070,39 gr	Materiales: ASTM A-36		
						Denominación: Porta Probetas	Escala: 1:5	
				Dib.	1/09/2020			Ashley Criollo
				Rev.	17/9/2020			Ing. Cristian Pérez
				Apro.	17/9/2020	Ing. Cristian Pérez		
				U.T.A INGENIERIA MECANICA		Número del dibujo:	1 de 2	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			Sustitución		



				Tolerancia	Peso	Material:			
				±0.05	4015,38 gr	ASTM A-36			
				Fecha	Nombre	Titulo:	Escala:		
			Dibujó:	17/09/2020	Ashley Criollo			Estructura Porta probeta	1:10
			Revisó:	17/9/2020	Ing. Cristian Pérez				
			Aprobó:	17/9/2020	Ing. Cristian Pérez				
				U.T.A INGENIERIA MECANICA		Número de lámina:	Registro:		
Edición	Modificación	Nombre	Fecha			2 de 2			
						Sustitución			



Standard Practice for Outdoor Weathering of Plastics¹

This standard is issued under the fixed designation D 1435; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reapproval. A superscript epsilon (ϵ) indicates an editorial change since the last revision or reapproval.

This standard has been approved for use by agencies of the Department of Defense.

1. Scope

1.1 This practice is intended to cover procedures for the exposure of plastic materials to weather.

NOTE 1—See Practice G 24 for aging under glass.

1.2 This practice is limited to the method by which the material is to be exposed and the general procedure to be followed. It is intended for use with finished articles of commerce as well as with all sizes and shapes of test specimens.

1.3 Means of evaluation of the effects of weathering will depend on the intended use for the test material.

1.4 The values stated in SI units are to be regarded as the standard. The values given in parentheses are for information only.

1.5 *This standard does not purport to address all of the safety concerns, if any, associated with its use. It is the responsibility of the user of this standard to establish appropriate safety and health practices and determine the applicability of regulatory limitations prior to use.*

NOTE 2—This standard and ISO 877.2-1991, Method A, are technically equivalent.

2. Referenced Documents

2.1 ASTM Standards:

- D 883 Terminology Relating to Plastics²
- D 1600 Terminology for Abbreviated Terms Relating to Plastics²
- D 1898 Practice for Sampling of Plastics³
- E 772 Terminology Relating to Solar Energy Conversion⁴
- E 824 Test Method for Transfer of Calibration from Reference to Field Radiometers⁵

¹ This practice is under the jurisdiction of ASTM Committee D-20 on Plastics and is the direct responsibility of Subcommittee D20.50 on Permanence Properties. Current edition approved Nov. 10, 1999. Published February 2000. Originally published as D 1435 – 56 T. Last previous edition D 1435 – 94.

² *Annual Book of ASTM Standards*, Vol 08.01.

³ Discontinued 1998. See *1998 Annual Book of ASTM Standards*, Vol 08.01.

⁴ *Annual Book of ASTM Standards*, Vol 12.02.

⁵ *Annual Book of ASTM Standards*, Vol 14.04.

E 913 Method for Calibration of Reference Pyranometer with Axis Vertical by the Shading Method⁵

E 941 Test Method for Calibration of Reference Pyranometers with Axis Tilted by the Shading Method⁵

G 7 Practice for Atmospheric Environmental Exposure Testing of Nonmetallic Materials⁵

G 24 Practice for Conducting Exposures to Daylight Filtered Through Glass⁵

G 84 Practice for Measurement of Time-of Wetness on Surfaces Exposed to Wetting Conditions as in Atmospheric Corrosion Testing⁶

G 113 Terminology Relating to Natural and Artificial Weathering Tests of Nonmetallic Materials⁵

G 141 Guide for Addressing Variability in Exposure Testing on Nonmetallic Materials⁵

G 147 Practice for Conditioning and Handling of Nonmetallic Materials for Natural and Artificial Weathering Tests

2.2 ISO Standard:

ISO 877.2-1991 Method A, Methods for Exposure to Direct Weathering, to Weathering Using Glass-Filtered Daylight and to Intensified Weathering Using Fresnel Mirrors⁷

3. Terminology

3.1 *Definitions*—For definitions of technical terms pertaining to plastics used in this practice, see Terminologies D 883, D 1600, G 113, and E 772.

4. Significance and Use

4.1 Tests conducted in accordance with this practice are used to evaluate the stability of plastic materials when they are exposed outdoors. The relative durability of plastics in outdoor use can be very different depending on the location of the exposure because of differences in ultraviolet (UV) radiation, time of wetness, temperature, pollutants, and other factors. It cannot be assumed, therefore, that results from one exposure in a single location will be useful for determining relative durability in a different location. Exposures in several locations

⁶ *Annual Book of ASTM Standards*, Vol 03.02.

⁷ Available from American National Standards Institute, 11 W. 42nd St., 13th Floor, New York, NY 10036.

with different climates that represent a broad range of anticipated service conditions are recommended.

4.1.1 Because of year-to-year climatological variations, results from a single exposure test cannot be used to predict the absolute rate at which a material degrades. Several years of repeat exposures are needed to get an average test result for a given location.

4.2 The results of short-term exposure tests can provide an indication of relative outdoor performance, but they should not be used to predict the absolute long-term performance of a material. The results of tests conducted for less than 12 months will depend on the particular season of the year in which they begin.

5. Apparatus

5.1 The test site shall conform to the requirements of Practice G 7. Unless otherwise specified, position exposure racks so that they face the equator. The angle of the exposure rack relative to the horizontal can vary depending upon the end-use conditions that are being evaluated.

NOTE 3—Test sites at latitudes less than 23°27' from the equator in either hemisphere will have a period during the year when the declination of the sun will exceed the latitude of the site.

5.1.1 *At-Latitude Racks*—These racks shall be adjusted such that the exposed surfaces are at an angle from the horizontal corresponding exactly to the site latitude angle

(Note 4).

NOTE 4—At-latitude exposure provides maximum annual total solar-radiant exposure at most non-subtropical sites. In most non-desert areas, however, maximum annual ultraviolet-radiant exposure is provided by exposure at an angle of the latitude angle minus 10°.

5.1.2 *45° Racks*—These racks shall be adjusted such that the exposed surfaces of specimens are at an angle of 45° to the horizontal.

5.1.3 *90° Racks*—These racks shall be adjusted such that the exposed surfaces of specimens are at an angle of 90° to the horizontal.

5.1.4 *Horizontal Racks*—These racks shall be positioned such that the exposed surfaces of the specimens are horizontal (Note 5).

NOTE 5—To provide moisture runoff for most horizontal-type testing of plastics, 5° south exposure is usually preferred. However, plastic roofing membranes, artificial turf, and other plastics that may be exposed at horizontal in their end-use condition should be exposed at 0° horizontal.

5.1.5 *Other-Angle Racks*—These racks shall be adjusted such that the exposed surfaces of specimens are at a tilt angle mutually agreed upon between the interested parties.

5.2 *Materials and Manner of Construction*—Test racks and hardware shall conform to the requirements of Practice G 7 and shall provide for attachment of specimens or holders of any convenient width and length. The structural members of the test racks shall not constitute a backing to the specimens under test. Fasteners used to attach specimens to the test rack shall provide for secure attachment but allow specimens to expand or contract with thermal changes, moisture absorption or desorption, or plasticizer loss.

5.3 *Specimen Holders*:

5.3.1 Most specimens under test will not be of an exact size for mounting directly on the frame. Specimen holders should be used to support the many sizes of specimens involved in this testing. In no case shall the specimen holder constitute a backing for that portion of the material to be evaluated.

5.3.2 The specimen holders shall be constructed of an inert material. (Aluminum extruded shapes have been found to be suitable.)

5.3.3 The design of the specimen holders shall be such that each specimen or sheet in a holder cannot shift its position, yet is not constrained (that is, it is free to expand or contract with thermal changes, swell because of moisture absorption, or shrink because of plasticizer loss).

5.3.4 *Frame Holders*—These holders are in the shape of a frame that may be subdivided as necessary to provide proper spacing of the specimens. The exposure aperture of each frame shall be of sufficient size to expose the entire test area of each specimen when sufficient specimens are contained.

5.3.5 *Plate Holders*—This type of holder is a universal panel consisting of a slotted-aluminum plate on which electrical white glaze porcelain insulators⁸ are mounted at proper positions to affix various-sized specimens. The specimens are mounted in the grooves of the insulators at a fixed distance of 11 mm from the slotted back plate. The insulators provide inert mounting while the slotted plate permits free circulation of air behind the specimen. This method of mounting is shown in Fig. 1.

5.4 Instruments for Measuring Climatological Data:

5.4.1 *Instruments Used to Measure Ambient Temperature and Relative Humidity*—Instruments and procedures used for measurement of ambient temperature and relative humidity shall be in accordance with Practice G 7.

5.4.2 *Instruments Used to Measure Solar Radiation*—Instruments and calibration procedures used for measurement of total solar radiation, total solar ultraviolet radiation, or narrow band solar ultraviolet radiation shall be in accordance with Practice G 7.

6. Sampling

6.1 Sampling shall be in accordance with the pertinent considerations outlined in Practice D 1898.

7. Test Specimens

7.1 Exposure test specimens may be of any size or shape that can be mounted in a holder or applied directly to the racks. They may be specimens suited to the means of evaluating the effects of weathering on a specific physical property, or they may be larger specimens from which smaller specimens for evaluation may be cut. Exposure test specimens should be large enough that mounting edges may be removed where evaluation test results would otherwise be affected.

7.2 As far as practical, exposure test specimens shall simulate service conditions of an end-use application. All materials of an unknown end use application will normally be run in an

⁸ A satisfactory insulator for this purpose is Catalog No. 615160, Special No. 6 Knob, dry-process, porcelain insulator, available from Porcelain Products, Carey, OH.

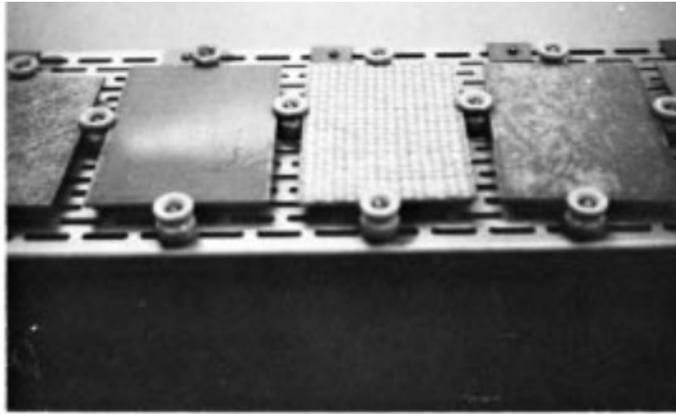


FIG. 1 Suitably Mounted Samples

unbacked condition. When conditions of use are known, the specimen exposed will consist of the plastic material being evaluated plus suitable backing materials to conform to projected practice. The effect of backing is highly significant and contributes to the degradation as a function of reflectance, heat absorption, moisture retention, etc. It shall always be used in relation to an end-use system rather than as a standard mounting method.

7.3 The use of at least two replicates of each experimental material being evaluated is recommended in order to allow for variability.

7.4 The total number of specimens will be determined by the removal schedule and number of replicates plus file specimens. These file specimens shall be retained at conditions of $23.0 \pm 5^\circ\text{C}$ and $50 \pm 20\%$ relative humidity. They shall be covered with inert wrapping to exclude light exposure during the exposure period.

8. Test Sites

8.1 Weathering racks shall be located in cleared areas, preferably at a suitable number of climatologically different sites representing the variable conditions under which the plastic product will be used. Climatological variations within these areas may include those represented by desert, seashore (salt air), industrial locations, tropical, and subtropical regions, plus areas exhibiting a wide range in solar radiant energy. The area beneath and in the vicinity of the weathering racks should be typical of the ground cover in that climatological area. In desert areas in which sand is the prevailing ground cover, coarse gravel is recommended to prevent abrasion and significant dust accretion due to wind-blown sand (Note 6). The ground cover should be low-cut grass in most temperate, tropical, and subtropical areas.

NOTE 6—Sand as a ground cover may be desirable where the abrasive

effects of exposure to wind-blown sand is a part of the desired exposure.

9. Exposure Stages

9.1 Use one of the following methods to specify the exposure stages at which changes in properties of test specimens are determined:

NOTE 7—The same exposure stage (by whichever method is used) will not necessarily give the same changes in properties of the test specimen at different exposure sites. The exposure stages must be regarded as providing only a general indication of the degree of exposure, and the results should always be considered in terms of characteristics of the exposure site as well.

9.2 *Exposure Time*—Specify the duration of the exposure in terms of months (1, 3, 6, 12, 15, etc.) or years (1, 1.5, 2, 3, 4, 5, etc.), unless otherwise instructed.

NOTE 8—The results for exposure stages of less than one year will depend on the season of the year in which the exposure was made. For instance, summer exposures are generally more severe than winter exposures. Seasonal effects are averaged in exposures of several years.

9.2.1 If required, report the total solar radiant exposure and total solar UV radiant exposure that has been measured by radiometers positioned at the same tilt and azimuth angle as the test specimens.

9.3 *Solar-Radiation Measurements*—Since solar radiation is one of the most important factors in the deterioration of plastics during weathering exposure, exposure stages may be defined in terms of the amount of radiation received by the specimens. An inherent limitation in solar-radiation measurements is that they do not reflect the effects of variations in temperature and moisture exposure, which can often be as important as solar radiation.

9.3.1 *Total Solar Irradiance*—Measure the total solar irradiance using solar-radiation measuring instrumentation as described in 5.4.2. Total solar radiant exposure shall be expressed in MJ/m².

9.3.2 *Total Ultraviolet Irradiance*—Measure the total solar-ultraviolet irradiance using ultraviolet-measuring instrumentation as described in 5.4.2. Total solar-ultraviolet radiant exposure shall be expressed in MJ/m². This is the recommended method for determining exposure stages when polymer degradation is being evaluated. Table 1 shows typical UV radiant exposures for 12 months in subtropical and desert climates.

NOTE 9—The average UV radiant exposures shown for subtropical and desert climates are based on several years of measurement in these test environments. The actual yearly values may vary widely from Table 1.

9.3.2.1 Total solar radiant exposure (in MJ/m²) must also be measured and reported for each exposure stage defined by UV radiant exposure.

9.3.3 *Specified Narrow-Band Ultraviolet Irradiance*—The UV irradiance in specified narrow-wavelength intervals (or bands) that conform closely to the wavelengths to which the material is most sensitive may also be used to follow the exposure stages.

10. Procedure

10. Procedure

10.1 Mark the test and control specimens to be exposed with an identifying number, letter, or symbol so that they may be identified readily after exposure. Specimen marking shall be in accordance with Practice G 147 and shall be such that there is no interference with either the exposure or the subsequent testing. (Preferably, mark both specimen and specimen holder on the side not exposed to weather, as advanced weathering can obscure even deeply scribed marks.)

10.2 Record the initial appearance and physical-property data appropriate to the evaluation method used.

10.3 Mount the test specimens in the holder or directly to the exposure rack. It is convenient to group specimens to be removed from exposure at the same time in one holder.

10.4 Record a diagram of the test specimen holder layout, and record the date of installation and length of exposure planned.

10.5 Ensure that the radiometers are mounted at a tilt and azimuth angle that is identical to that of the test specimens.

10.6 Mount the specimens on racks for the prescribed time, solar radiant energy, or total UV radiant energy.

10.7 Establish a fixed procedure of cleaning, visual examination, conditioning, and testing of the specimens. This procedure will vary with materials, but it must be uniform in a series of tests on one material to provide comparative results.

10.8 Unexposed file specimens shall be used for visual comparison to exposed specimens at various exposure levels.

10.9 Exposures and inspections may be planned to permit reporting the following:

10.9.1 Change after a specified exposure,

10.9.2 Exposure to a specified change in properties, and

10.9.3 A record of a series of measurements versus exposure.

11. Report

11.1 Report the following information:

11.1.1 Angle of exposure (horizontal, 45° or 90°), and direction of exposure,

11.1.2 Duration of exposure of each specimen at each site, and dates of exposure,

11.1.3 If required, total UV radiant exposure (295 to 385 nm) for each exposure level, expressed in MJ/m², the manufacturer and model of the UV radiometer used, data of last calibration, and calibrating laboratory,

11.1.4 If required, total solar radiant exposure (295 to 3000 nm) for each exposure level, expressed in MJ/m², the manufacturer and model of the pyranometer used, date of last calibration, and calibrating laboratory,

11.1.5 If required, solar UV radiant exposure measured in narrow bandpass including the bandpass in which the radiant exposure was measured.

Exposure was measured.

11.1.6 Description of the climate at each site and summary of the pertinent climatological data at each site for the exposure period involved, as follows:

11.1.6.1 Rainfall, and

11.1.6.2 If required, time of wetness (see Practice G 84),

NOTE 10—These data are intended as an indication of the climate at the test site, and the values reported are not to be used as absolute limits for any particular specimen on exposure.

11.1.6.3 Temperature average and temperature extremes,

11.1.6.4 Humidity average and humidity extremes,

11.1.6.5 Geographical location of the National Weather Service relative to the test site if climatological data is not measured at the test site,

11.1.7 General appearance properties of the exposed specimens and control materials, if used,

11.1.8 Results of property tests and description or reference to tests used to evaluate the property measured. Calculate retention of characteristic property according to Practice D 5780 when it is reported.

11.1.9 Suitably complete identification of the specimen,

11.1.10 Laboratory name,

11.1.11 Site latitude,

11.1.12 Test method and sequence of the test events,

11.1.13 Specimen mounting, and

11.1.14 Observations, deviations, and waivers pertinent to the testing.

TABLE 1 Typical UV Radiant Exposures for 12 Months in Subtropical and Desert Climates

Exposure Time (Months)	Average UV Radiant Exposure (MJ/m ² , 295 to 385 nm)	
	Subtropical Climate (at 5°)	Desert Climate (at latitude)
12	308	333

12. Precision and Bias

12.1 No statements of precision and bias are applicable to this practice. These are dependent on the ASTM test methods for the specific properties being measured.

13. Keywords

13.1 exposure; natural weathering; outdoor weathering; plastics

ASTM International takes no position respecting the validity of any patent rights asserted in connection with any item mentioned in this standard. Users of this standard are expressly advised that determination of the validity of any such patent rights, and the risk of infringement of such rights, are entirely their own responsibility.

This standard is subject to revision at any time by the responsible technical committee and must be reviewed every five years and if not revised, either reapproved or withdrawn. Your comments are invited either for revision of this standard or for additional standards and should be addressed to ASTM International Headquarters. Your comments will receive careful consideration at a meeting of the responsible technical committee, which you may attend. If you feel that your comments have not received a fair hearing you should make your views known to the ASTM Committee on Standards, at the address shown below.

This standard is copyrighted by ASTM International, 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19428-2959, United States. Individual reprints (single or multiple copies) of this standard may be obtained by contacting ASTM at the above address or at 610-832-9585 (phone), 610-832-9555 (fax), or service@astm.org (e-mail); or through the ASTM website (www.astm.org).

**Plastics — Determination of resistance to
wear by abrasive wheels**

Plastiques — Détermination de la résistance à l'usure par galets abrasifs



Reference number
ISO 9352:1995(E)

Foreword

ISO (the International Organization for Standardization) is a worldwide federation of national standards bodies (ISO member bodies). The work of preparing International Standards is normally carried out through ISO technical committees. Each member body interested in a subject for which a technical committee has been established has the right to be represented on that committee. International organizations, governmental and non-governmental, in liaison with ISO, also take part in the work. ISO collaborates closely with the International Electrotechnical Commission (IEC) on all matters of electrotechnical standardization.

Draft International Standards adopted by the technical committees are circulated to the member bodies for voting. Publication as an International Standard requires approval by at least 75 % of the member bodies casting a vote.

International Standard ISO 9352 was prepared by Technical Committee ISO/TC 61, *Plastics*, Subcommittee SC 2, *Mechanical properties*.

This second edition cancels and replaces the first edition (ISO 9352:1989), of which it constitutes a minor revision.

Annex A forms an integral part of this International Standard.

© ISO 1995

All rights reserved. Unless otherwise specified, no part of this publication may be reproduced or utilized in any form or by any means, electronic or mechanical, including photocopying and microfilm, without permission in writing from the publisher.

International Organization for Standardization
Case postale 56 • CH-1211 Genève 20 • Switzerland

Plastics — Determination of resistance to wear by abrasive wheels

1 Scope

1.1 This International Standard specifies a general method for determining the resistance to abrasive wear of plastics under the action of abrasive wheels. It is equally applicable to moulded test specimens, components and finished products.

1.2 The particular test conditions and the method of expressing the results may differ according to the type of material. The test conditions and specific method are specified in the relevant standards for each material or product.

This method is not applicable to cellular materials or paints.

2 Normative references

The following standards contain provisions which, through reference in this text, constitute provisions of this International Standard. At the time of publication, the editions indicated were valid. All standards are subject to revision, and parties to agreements based on this International Standard are encouraged to investigate the possibility of applying the most recent editions of the standards listed below. Members of IEC and ISO maintain registers of currently valid International Standards.

ISO 48:1994, *Rubber, vulcanized or thermoplastic — Determination of hardness (hardness between 10 IRHD and 100 IRHD)*.

ISO 291:1977, *Plastics — Standard atmospheres for conditioning and testing*.

ISO 293:1986, *Plastics — Compression moulding test specimens of thermoplastic materials*.

ISO 294:1995, *Plastics — Injection moulding of test specimens of thermoplastic materials*.

ISO 295:1991, *Plastics — Compression moulding of test specimens of thermosetting materials*.

ISO 2818:1994, *Plastics — Preparation of test specimens by machining*.

ISO 6506:1981, *Metallic materials — Hardness test — Brinell test*.

ISO 6507-1:1982, *Metallic materials — Hardness test — Vickers test — Part 1: HV 5 to HV 100*.

3 Definitions

For the purposes of this International Standard, the following definitions apply.

3.1 abrasive wheel: A small grinding wheel or a roller faced with abrasive paper.

3.2 abrasive wear: The progressive loss of material from the operating surface of a plastic material resulting from the cutting or scratching action of the abrasive wheel.

4 Principle

Two abrasive wheels are applied to the test specimen with a specified load. The wear obtained after rotation of the test specimen through a specified number of revolutions is assessed by an appropriate procedure (e.g. mass loss, volume loss, change in optical properties, etc.).

5 Apparatus

5.1 Abrasion test machine

The test specimen is placed on a motor-driven rotating disc. A pair of abrasive wheels are allowed to turn freely on their axis and are applied to the test specimen at a specified position under a specified load. Figure 1 illustrates the relative positions of these different components. The apparatus shall comply with the following requirements:

5.1.1 The test specimen support disc shall be flat and fixed to its driving shaft. When the disc is rotated, no point on a 45 mm radius circle traced on its horizontal surface shall oscillate vertically through more than 0,05 mm about its mean position. The disc shall have a nominal diameter of 100 mm and its speed of rotation shall be 72 rev/min at 60 Hz and 60 rev/min at 50 Hz

5.1.2 The abrasive wheels shall be supported by two symmetrical arms that can oscillate freely about a horizontal axis. The method of attaching the wheels shall permit free rotation, e.g. by means of ball bearings. In the test position, the mounting bosses shall be coaxial and positioned in such a way that the vertical projection of their common axis on to the plane of the test specimen support disc is 19,1 mm \pm 0,1 mm from a parallel line passing through the axis of the disc (see figure 1).

The distance between the inside faces of the abrasive wheels shall be 52,4 mm \pm 0,2 mm.

Each arm shall be constructed in such a way as to permit the fitting of a counterweight to balance its mass against that of the abrasive wheel and additional loads of known mass (see 5.4).

5.1.3 The abrasive wheels shall have a cylindrical shape. They shall contain an axial hole allowing them

to be fitted without play to the mounting bosses in the arms.

They shall consist of one of the following two alternatives:

- a) an abrasive material (abrasive wheels). The thickness of the wheels shall be 12,7 mm \pm 0,1 mm and their external diameter 51,6 mm \pm 0,1 mm when new, but in no case less than 44,4 mm,
- b) a metal disc with its periphery clad with a 6 mm layer of vulcanized rubber of hardness 50 IRHD to 55 IRHD (international hardness in accordance with ISO 48) bonded without gaps or overlap with a strip of abrasive paper (for example, secured with the aid of double-sided adhesive tape). The abrasive wheel shall have a thickness of 12,7 mm \pm 0,2 mm and a diameter of 51,6 mm \pm 0,2 mm. The width of the abrasive paper shall be as specified in the relevant material (or product) standard.

The quality of the abrasive wheel or abrasive paper to be used shall be as stated in each relevant material (or product) specification. Refer to table 1 for guidance in selecting suitable abrasive wheels. The abrasive-power properties of the wheels may be characterized, if requested, by the procedure given in annex A.

Table 1 — Abrasive wheel selection chart

Series designation	Wheel type	Composition	Recommended load range	Abrasive action	Approximate grit size
			N		(No. of abrasive particles/cm ²)
CS10	Resilient	Rubber and abrasive grain	4,9 to 9,8	Mild	1 420
CS10F	Resilient	Rubber and abrasive grain	2,5 to 4,9	Very mild	1 420
CS17	Resilient	Rubber and abrasive grain	4,9 to 9,8	Harsh	645
H10	Non-resilient	Vitrified	4,9 to 9,8	Coarse	1 160
H18	Non-resilient	Vitrified	4,9 to 9,8	Medium coarse	1 160
H22	Non-resilient	Vitrified	4,9 to 9,8	Very coarse	515
H38	Non-resilient	Vitrified	2,5; 4,9; 9,8	Very coarse Hard	5 785

NOTES

- 1 Under normal conditions, the "CS" series wheels shall be used when testing a flexible specimen, the "H" series wheels shall be used for testing rigid specimens
- 2 CS10F wheels are subject to deterioration due to ageing of the rubber, especially in high-ozone atmospheres. It is therefore important to use these wheels before the expiration date on the wheel.
- 3 When refacing (see 8.10), the recommended number of rotations for CS10, CS10F and CS17 wheels is 25 to 50
- 4 Results from two different wheels, even of the same type, may not always be comparable

Dimensions in millimetres

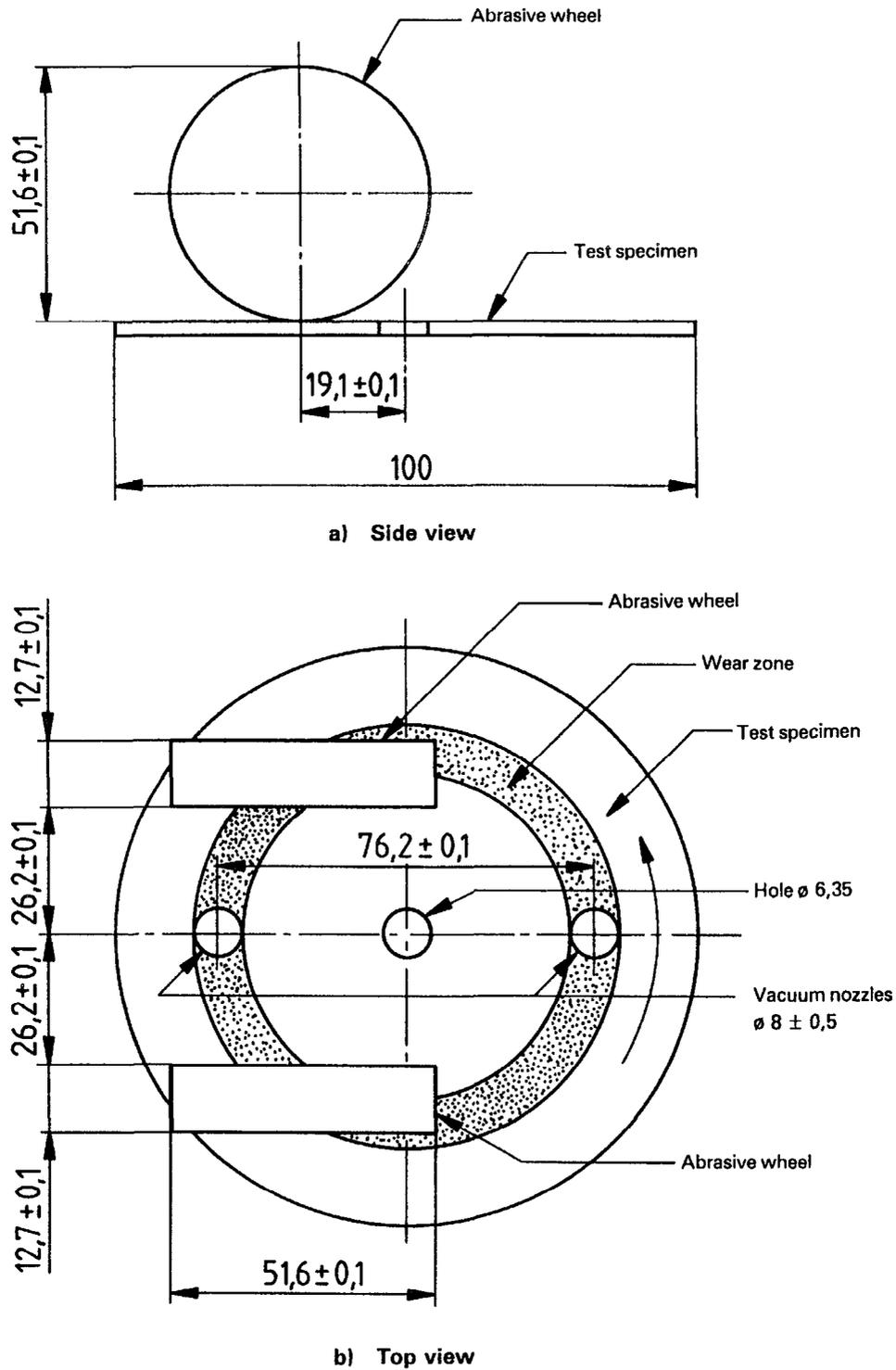


Figure 1 — Diagrammatic arrangement of apparatus

5.1.4 The vacuum device for removal of the wear debris shall include two exhaust nozzles above the test specimen wear zone. One nozzle shall be located between the abrasive wheels and the other shall be located diametrically opposite (see figure 1). The bore of each nozzle shall have an internal diameter of $8 \text{ mm} \pm 0,5 \text{ mm}$ and its distance from the test specimen shall be maintained at $1,5 \text{ mm} \pm 0,5 \text{ mm}$. When the nozzles are blocked closed, the pressure shall be $1,5 \text{ kPa}$ to $1,6 \text{ kPa}$

5.1.5 The apparatus shall be equipped with a device enabling the test to be stopped after a predetermined number of revolutions of the rotating disc.

5.1.6 For testing thin specimens, or flexible plastics, the apparatus shall be equipped with a clamp ring to enable such specimens to be fitted on to the support disc

5.2 Conditioning enclosure, permitting the maintenance of an atmosphere of $23 \text{ }^\circ\text{C} \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$ and $(50 \pm 5) \%$ relative humidity, in accordance with ISO 291.

5.3 Standard zinc plates, for calibrating the abrasive power of the wheels (see annex A)

5.4 Additional masses, for loading each abrasive wheel to the requirements of the relevant material (or product) specification

5.5 Apparatus for refacing the abrasive wheels, permitting the elimination of all refuse and at the same time assuring perpendicular contact between the specimen and the wheel

5.6 Equipment for assessing the wear, in accordance with the relevant material (or product) specification

6 Test specimens

6.1 Shape and dimensions

The test specimens shall be

- either discs of nominal diameter 100 mm ,
- or octagons obtained by cutting off the corners of squares of nominal side length 100 mm , when the use of the clamp ring (see 5.1.6) is not necessary.

Their thickness shall be uniform and between $0,5 \text{ mm}$ and 10 mm

6.2 Preparation of test specimens

Test specimens may be obtained by moulding in accordance with ISO 293, ISO 294 or ISO 295, or by machining in accordance with ISO 2818. Each speci-

men shall contain a $6,35 \text{ mm}$ diameter centre hole to accommodate the stud of the rotating disc

6.3 Cleaning of test specimens

The test specimen surface shall be cleaned with the aid of a suitable neutral volatile solvent or mild soap solution, selected in accordance with the requirements of the relevant material (or product) specification or by agreement between the interested parties

WARNING — Use of a cleaner (however volatile) may affect abrasion characteristics.

6.4 Number of test specimens

The number of test specimens shall be as stated in the relevant material (or product) specification. In the absence of any such indication, the minimum number shall be three.

7 Conditioning of test specimens

The test specimens shall be conditioned in the enclosure (5.2) in accordance with the requirements of the relevant material (or product) specification or, in the absence of such requirements, for a duration of at least 48 h before test.

NOTE 1 Certain specifications also specify the conditioning of the abrasive wheel or abrasive paper

8 Procedure

8.1 The test shall be performed in the enclosure (5.2) of an environmentally controlled room having the same characteristics.

8.2 For each test specimen, perform the preliminary measurements specified by the relevant material (or product) specification (see the warning in 8.3)

8.3 Fit the test specimen to the specimen carrier disc

WARNING — During the course of the operations described in 8.2 and 8.3, take care not to contaminate the surface to be tested, e.g. with oil from finger contact.

8.4 Fit the apparatus with the abrasive wheels (see 5.1.3) specified by the relevant material (or product) specification, carefully avoiding touching the cylindrical abrasive zone. Lower the arms and gently place the abrasive wheels on the test specimen.

The abrasive power of the wheels (abrasive wheels or abrasive paper) may be verified in accordance with the procedure given in annex A. In the case of abrasive wheels, this operation shall be followed by refacing using the refacing apparatus (5.5).

8.5 Adjust the loading of each abrasive wheel to the value specified in the relevant material (or product) specification, using the counterweights and additional masses (5.4).

8.6 Adjust the position of the vacuum device (see 5.1.4).

8.7 Set the number of revolutions to the value specified by the relevant material (or product) specification, or as agreed between the interested parties, using the device provided (see 5.1.5) (see also note 2 below).

8.8 Start the motor driving the rotation of the test specimen and the vacuum system (see 5.1.4).

8.9 When the stipulated number of revolutions has been completed and the motor stopped, remove the test specimen and perform the final measurements specified in the relevant material (or product) specification.

NOTE 2 Certain specifications do not specify a fixed number of revolutions but they require periodic examination of the worn surface, the test being terminated when a defined threshold of degradation is reached.

8.10 In cases where grinding wheels are used, they shall be refaced before each test with the aid of the refacing apparatus (5.5) in such a way that the abrasive surface is exactly cylindrical and that the edges between the abrasive surface and the side faces are sharp, without any blending radius.

In cases where discs with abrasive paper are used, the abrasive paper shall be replaced after 500 revolutions or when clogging or loss of abrasive occurs. Clogging of the abrasive paper is dependent upon the test specimen material. With a soft, wax-like material, inspect the abrasive paper every 25 revolutions. In all other cases, inspect the abrasive paper every 50 revolutions or 100 revolutions.

Abrasive wheels are less susceptible to clogging and shall be inspected every 50 revolutions to 100 revolutions (cleaned with a wire brush when needed).

9 Expression of results

The results shall be expressed in one of the following ways:

a) as the change in a particular property after a defined number of revolutions, for example change in thickness, mass, luminous diffusion; in this case, calculate the mean value for the test specimens tested;

- b) as the number of revolutions required to obtain a defined deterioration in appearance; in this case, round the value obtained to the nearest multiple of 25 revolutions;
- c) as the loss in mass, in kilograms per thousand revolutions, for tests performed under a specific set of conditions on materials of similar density,
- d) as the loss in volume, in cubic millimetres per thousand revolutions, when comparing materials of different densities.

10 Precision

The precision of this test method is not known because interlaboratory data are not available. It should be recognized that the precision of the method will depend upon the procedure used to assess abrasive wear; different results are to be expected when evaluating mass loss, volume loss, changes in optical properties, etc. This method may not be suitable for use in specifications or in case of disputed results as long as interlaboratory data are not available.

11 Test report

The test report shall include the following particulars:

- a) a reference to this International Standard and to the relevant material (or product) specification if it exists;
- b) complete details of the material or product tested;
- c) complete details of the abrasive used (abrasive wheel or paper) and, if determined, its abrasive power as measured under the conditions described in annex A,
- d) the method of cleaning the test specimen surface;
- e) the load applied to each abrasive wheel,
- f) the number of revolutions set (when the test result is not itself expressed as a number of revolutions),
- g) the value of each individual determination, the mean value, and the method by which the wear was assessed;
- h) all other details of the test (changing of the abrasive paper, cleaning, conditioning, etc.).

Annex A (normative)

Determination of the abrasive power of the abrasive wheels

The abrasive power of the abrasive wheels shall be determined under the conditions defined in the relevant material (or product) specification. It is characterized by the loss in mass of a reference standard zinc plate after a specified number of revolutions.

A.1 Reference test specimen

The reference test specimen shall be prepared from a sheet of pure zinc (purity at least 99 %), with a thickness of 0,7 mm to 0,8 mm, pre-treated at 200 °C for 60 min.

The Vickers hardness of the surface of this sheet, measured in accordance with ISO 6507-1, shall be $42 \text{ HV } 100 \pm 2 \text{ HV } 100$, or the equivalent Brinell hardness value measured in accordance with ISO 6506.

A.2 Procedure

Clean the reference test specimen with acetone, weigh it to the nearest 1 mg, then subject it to the test in accordance with the procedure described in clause 8. The applied load and the number of revolutions shall be as specified in the relevant material (or

product) standard. In the absence of any such instructions, use a load of 4,9 N and 1 000 revolutions

After the test, weigh the specimen again to the nearest 1 mg.

A.3 Expression of results

The abrasive power of the wheels used (abrasive wheels or abrasive paper) shall be characterized by the loss, calculated for 1 000 revolutions, in mass or volume, or as specified in the relevant material (or product) specification.

A.4 Frequency of calibration

A.4.1 In the case of abrasive wheels, it is recommended that the wheels be calibrated on receipt and that this procedure be repeated every 3 months. After each calibration, the wheels shall be refaced before the first test.

A.4.2 In the case of abrasive paper, calibration shall be performed on a representative sample and the first test shall be performed on a fresh (unused) portion of the abrasive paper. It is recommended that the paper be calibrated on receipt and that the procedure be repeated every 3 months, or as specified in the relevant material (or product) specification.

ICS 83.080

Descriptors: plastics, tests, wear tests, abrasive tests, determination, wear resistance, abrasion resistance, test equipment, test specimens

Price based on 6 pages

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
Laboratorio – Ingeniería Mecánica

ENSAYO DUREZA IRHD

DATOS INFORMATIVOS

Tipo de estudio:	De laboratorio	ORDEN N°:	54
Identificación del componente de estudio:	MATERIAL COMPUESTO		
Solicitado por:	JENNIFER ASHLEY CRIOLLO ROJAS	Fecha:	20/10/2020
Centro de Estudio y Análisis	Laboratorio de Metalografía - FICM		

PARÁMETROS

Equipo:	Durómetro Shore D		
	Temperatura Ambiente:	Dureza:	Iluminación:
	17.00 ° C	SHORE-D	Luz Natural
PARÁMETROS DEL ENSAYO METALOGRAFICO			
Acondicionamiento de la superficie:		N/A	
Temperatura durante el pulido:	24 ° C	Superficie preparada en:	Moldeo

RESULTADO:

PROBETA / PUNTO	1	2	3	4	5	PROMEDIO	DES. ESTANDAR
LATEX CON CAUCHO CON EXPOSICION							
60/40							
A1-CE-60M-40R	28,00	29,00	27,00	26,00	27,00	27	1,14
A2-CE-60M-40R	24,50	26,50	25,50	26,00	24,50	25	0,89
A3-CE-60M-40R	26,00	25,50	26,00	25,00	27,00	26	0,74
A4-CE-60M-40R	28,00	29,00	27,00	27,00	27,00	28	0,89
A5-CE-60M-40R	27,00	29,50	29,00	29,00	28,50	29	0,96
70/30							
B1-CE-70M-30R	26,50	29,00	27,50	29,50	28,00	28	1,19
B2-CE-70M-30R	28,00	27,50	27,00	30,00	29,50	28	1,29
B3-CE-70M-30R	28,00	29,50	26,50	28,00	29,00	28	1,15
B4-CE-70M-30R	25,50	26,50	26,50	27,00	26,50	26	0,55
B5-CE-70M-30R	27,00	25,50	24,50	24,50	27,00	26	1,25
80/20							
C1-CE-80M-20R	18,00	22,50	24,00	21,50	22,50	22	2,25
C2-CE-80M-20R	32,50	36,50	28,50	32,00	27,00	31	3,72
C3-CE-80M-20R	26,00	25,00	30,00	28,50	28,50	28	2,04
C4-CE-80M-20R	28,00	29,50	29,00	28,50	30,00	29	0,79
C5-CE-80M-20R	25,00	28,00	30,50	30,00	28,50	28	2,16

LATEX CON CAUCHO SIN EXPOSICION							
60/40							
A1-CE-60M-40R	22,00	21,50	24,50	24,00	25,00	23	1,56
A2-CE-60M-40R	24,00	24,50	23,50	26,00	22,50	24	1,29
A3-CE-60M-40R	24,00	23,50	24,00	24,50	25,50	24	0,76
70/30							
B1-CE-70M-30R	24,00	26,00	22,50	23,50	24,00	24	1,27
B2-CE-70M-30R	24,00	24,50	24,00	23,00	26,50	24	1,29
B3-CE-70M-30R	25,50	25,00	23,50	25,50	25,00	25	0,82
80/20							
C1-CE-80M-20R	23,50	24,50	22,00	22,50	23,50	23	0,97
C2-CE-80M-20R	25,00	24,50	22,50	22,50	24,00	24	1,15
C3-CE-80M-20R	22,00	25,00	26,00	23,50	24,00	24	1,52



.....
 Ing. Sebastián Sánchez
TÉCNICO LABORATORISTA



.....
 Ing. Sebastián Villegas
TÉCNICO DE LABORATORIO

OnTheHub® eStore

by Kivuto

Estimado Ashley Criollo:

Gracias por el pedido.

Todos los detalles sobre su pedido, incluido cualquier clave del producto, código de activación o vínculo de descarga necesarios (si es el caso), están disponibles en su tienda web en [Su cuenta/Pedidos](#).

Si es redirigido a la página de inicio de sesión interna de su organización, tendrá que iniciar sesión con las credenciales proporcionadas por su organización.

Resumen de pedido	Información del pedido
Número de pedido: 100701418108	Nombre: Ashley Criollo
Fecha del pedido: 2020-12-09 17:36	Correo electrónico: jrojas7442@uta.edu.ec
Hora estándar del Este	Tarjeta de crédito: Visa *****2691
	Esta transacción puede reflejarse como "estore.onthehub.com" en su estado de su cuenta.

Dirección de facturación

Jennifer Ashley Criollo Rojas
 Quito
 Machachi
 Mejía 171111
 Ecuador

Ítems (Todos los precios están en Dólares estadounidenses)

[Vea los detalles para recuperar los artículos de su pedido.](#)

	Cantidad	Precio unitario	Importe
1. Minitab 19 for Windows and Mac (Multilanguage) (06-Mo Rental) - Descargar	1	\$29.99	\$29.99
		Subtotal:	\$29.99
		Impuestos:	–
		Total:	\$29.99

Asegúrese de que toda la información listada a continuación sea correcta y guarde esta factura para su registro.

Si tiene alguna pregunta, consulte la [página de Ayuda de la tienda web](#).

Gracias,
 OnTheHub

Código para mecanizado de molde

ANEXO G

```
**ABCDEFGHIJKLMNOPQRSTUVWXYZabcdefghijklmnopqrstuvwxyz*****  
**
```

```
**PARASOLID!"#$%&'()*+,-./:;<=>?@[\\]^_`{|}~0123456789*****
```

```
**PART1;
```

```
MC=AMD64;
```

```
MC_MODEL=Intel64 Family 6 Model 69 Stepping 1, GenuineIntel;
```

```
MC_ID=unknown;
```

```
OS=Windows_NT;
```

```
OS_RELEASE=unknown;
```

```
FRU=Parasolid Version 31.1, build 278, 7-15-2019;
```

```
APPL=SOLIDWORKS 2020-2019269;
```

```
SITE=;
```

```
USER=unknown;
```

```
FORMAT=text;
```

```
GUISE=transmit;
```

```
KEY=molde;
```

```
FILE=molde.x_t;
```

```
DATE=Fri Feb 26 22:47:58 2020;
```

```
**PART2;
```

```
SCH=SCH_3101278_31100;
```

```
USFLD_SIZE=0;
```

```
**PART3;
```

```
**END_OF_HEADER*****
```

```
T51: TRANSMIT FILE created by modeller version 310127823 SCH_3101278_31100_1300
```

```
6222 0 12 34 CCCCCCI4 mesh1006 0 I8 polyline1008 0 CCCCCCDI5 owner1040 0 CCCCCC
```

```
I13 boundary_mesh1006 0 I17 boundary_polyline1008 0 CCA16 index_map_offset0 0 1
```

```
dA9 index_map82 0 A17 node_id_index_map82 0 A20 schema_embedding_map82 0 A5 chi
```

```
ld12 0 A14 lowest_node_id0 0 1 dA16 mesh_offset_data206 0 Z1 1330 2 3 0 0 0 0
```

```
0 1e3 1e-8 0 4 0 1 0 1 1 5 6 7 8 0 0 9 10 11 0 0 0 0 0 0 81 255 2 2 1308 12 1
```

```
13 0 0 0 0 14 70 11 CI9 list_type0 0 1 uI10 notransmit0 0 1 ICCDCCDI12 finger_
```

```
index0 0 1 dI12 finger_block1012 0 CZ3 0 4 T1 0 0 9 20 1 15 15 13 255 5 94 0 1 0
```

```
16 0 0 17 0 50 255 6 89 0 16 18 0 0 +.125 20643209364124e-27 140165656858926e-2
```

```
9 -1 -2220446049250315e-31 -783268004662512e-43 2220446049250315e-31 -1 -3527525
```

```
49392932e-27 30 255 7 90 0 10 19 0 0 +.125 -.1249999999999792 -4268807529683725e
```

-29 0 352752549392932e-27 -1 29 255 8 70 0 20 21 0 .125 -.1249999999999764 -.008
000000000427 19 8 CCCCCCA5 owner12 0 Z9 28 0 1 17 0 22 V0 16 255 10 74 0 ?23 0
24 7 0 0 1 18 255 11 25 0 25 0 20 21 ?1 17 255 25 0 26 27 28 11 29 24 0 30 +18
20 61 0 31 11 32 8 ?1 29 21 27 0 11 33 8 .125 -.1249999999999792 -4268807529683
725e-29 29 33 299 0 34 35 21 .125 .1250000000000234 -.0079999999999545 18 34 253
0 36 32 37 33 ?1 29 35 303 0 32 38 33 .125 .1250000000000206 454983273279197e-2
8 18 32 247 0 27 20 34 35 ?1 29 38 499 0 39 40 35 -.125 -.1249999999999764 -.008
000000000427 18 39 450 0 41 37 42 38 ?1 29 40 503 0 37 43 38 -.125 -.1249999999
999792 -4268807529683725e-29 18 37 453 0 29 34 39 40 ?1 29 43 677 0 44 45 40 -.1
25 .1250000000000234 -.0079999999999545 18 44 625 0 46 42 0 43 ?1 29 45 681 0 42
0 43 -.125 .1250000000000206 454983273279197e-28 18 42 629 0 47 39 44 45 ?1 17
47 0 26 28 27 42 48 49 0 50 +15 255 26 3 0 27 51 0 17 28 0 26 25 47 37 50 52 0
53 +17 27 0 26 47 25 32 54 55 0 48 +17 48 0 56 57 58 32 47 49 0 59 -16 49 237 0
?47 60 61 62 0 0 1 17 50 0 63 64 53 42 28 52 0 58 -15 63 467 0 65 66 0 17 64 0
63 65 50 44 58 67 0 0 +17 53 0 63 50 65 37 68 69 0 0 -16 52 442 0 ?28 69 70 71
0 0 1 17 58 0 56 48 46 42 64 67 0 0 -15 56 261 0 46 72 0 17 46 0 56 58 57 44 73
61 0 74 +16 67 608 0 ?64 75 76 77 0 0 1 16 75 568 0 ?78 79 67 80 0 0 1 16 76 72
0 0 ?81 67 82 83 0 0 1 30 77 664 0 67 84 85 0 +.125 .1250000000000206 454983273
279197e-28 0 352752549392932e-27 -1 31 255 84 742 0 82 83 77 0 +.0625 .06250000
00000207 2345346139520645e-29 0 -352752549392932e-27 1 0 -1 -352752549392932e-27
.0555 31 85 591 0 79 77 80 0 +.0625 -.0624999999999794 -20643209364124e-27 0 -
352752549392932e-27 1 0 -1 -352752549392932e-27 .003175 16 79 571 0 ?86 87 75 85
0 0 1 31 80 590 0 75 85 88 0 +.0625 -.0624999999999771 -.00635000000002065 0 -
352752549392932e-27 1 0 -1 -352752549392932e-27 .003175 31 88 554 0 87 80 89 0 +
-.0625 -.0624999999999794 -20643209364124e-27 0 -352752549392932e-27 1 0 -1 -352
752549392932e-27 .0555 16 87 536 0 ?90 91 79 88 0 0 1 31 89 553 0 91 88 71 0 +.
0625 -.0624999999999771 -.00635000000002065 0 -352752549392932e-27 1 0 -1 -35275
2549392932e-27 .0555 16 91 538 0 ?92 70 87 89 0 0 1 30 71 495 0 52 89 93 0 +.12
5 20643209364124e-27 140165656858926e-29 2220446049250315e-31 -1 -35275254939293
2e-27 30 93 491 0 70 71 94 0 +.125 2346733918301425e-29 -.0079999999999859 222
0446049250315e-31 -1 -352752549392932e-27 16 70 428 0 ?65 52 91 93 0 0 1 30 94 4
88 0 69 93 95 0 +.125 -.1249999999999792 -4268807529683725e-29 0 35275254939293
2e-27 -1 16 69 435 0 ?68 96 52 94 0 0 1 31 95 392 0 97 94 98 0 +.0625 .062500000
0000207 2345346139520645e-29 0 -352752549392932e-27 1 0 -1 -352752549392932e-27

.003175 16 97 372 0 ?99 100 96 95 0 0 1 31 98 391 0 96 95 101 0 +.0625 .0625000
000000229 -.00634999999997656 0 -352752549392932e-27 1 0 -1 -352752549392932e-27
.003175 16 96 369 0 ?102 97 69 98 0 0 1 31 101 359 0 103 98 104 0 +.0625 .06250
0000000229 -.00634999999997656 0 -352752549392932e-27 1 0 -1 -352752549392932e-
27 .0555 16 103 336 0 ?105 61 100 101 0 0 1 31 104 358 0 100 101 62 0 +.0625 .06
2500000000207 2345346139520645e-29 0 -352752549392932e-27 1 0 -1 -3527525493929
32e-27 .0555 16 100 339 0 ?106 103 97 104 0 0 1 30 62 294 0 49 104 107 0 +-27755
5756156289e-31 .125000000000206 454983273279197e-28 -1 0 0 30 107 290 0 61 62 1
08 0 +-277555756156289e-31 .125000000000234 -.007999999999545 -1 0 0 16 61 222
0 ?46 49 103 107 0 0 1 30 108 284 0 60 107 109 0 +.125 .125000000000206 454983
273279197e-28 0 352752549392932e-27 -1 16 60 225 0 ?57 110 49 108 0 0 1 31 109 2
07 0 111 108 112 0 +.0625 -.062499999999794 -20643209364124e-27 0 -352752549392
932e-27 1 0 -1 -352752549392932e-27 .003175 16 111 187 0 ?113 114 110 109 0 0 1
31 112 206 0 110 109 115 0 +.0625 -.062499999999771 -.0063500000002065 0 -352
752549392932e-27 1 0 -1 -352752549392932e-27 .003175 16 110 184 0 ?116 111 60 11
2 0 0 1 31 115 165 0 117 112 118 0 +.0625 -.062499999999771 -.0063500000002065
0 -352752549392932e-27 1 0 -1 -352752549392932e-27 .0555 16 117 142 0 ?119 120
114 115 0 0 1 31 118 164 0 114 115 121 0 +.0625 -.062499999999794 -20643209364
124e-27 0 -352752549392932e-27 1 0 -1 -352752549392932e-27 .0555 16 114 145 0 ?1
22 117 111 118 0 0 1 30 121 5 0 55 118 123 0 +.125 20643209364124e-27 1401656568
58926e-29 -2220446049250315e-31 1 352752549392932e-27 16 55 4 0 ?27 24 124 121 0
0 1 30 123 14 0 24 121 125 0 +277555756156289e-31 -.124999999999792 -426880752
9683725e-29 1 0 0 16 24 13 0 ?25 10 55 123 0 0 1 30 125 69 0 120 123 19 0 +.125
2346733918301425e-29 -.007999999999859 -2220446049250315e-31 1 35275254939293
2e-27 16 120 57 0 ?36 124 117 125 0 0 1 30 19 66 0 124 125 7 0 +277555756156289e
-31 -.124999999999764 -.008000000000427 1 0 0 16 124 45 0 ?31 55 120 19 0 0 1
17 31 0 126 30 68 20 41 124 0 23 +15 126 78 0 31 127 0 17 30 0 126 29 31 11 23
10 0 54 -17 68 0 126 31 29 39 53 69 0 0 +17 41 0 128 74 129 39 31 124 0 65 -17
23 0 130 36 54 20 30 10 0 129 +15 130 84 0 36 16 0 17 36 0 130 59 23 34 129 120
0 73 +17 54 0 130 23 59 11 27 55 0 0 -17 129 0 128 41 73 20 36 120 0 0 -15 128
44 0 129 131 0 17 73 0 128 129 74 34 46 61 0 57 -17 74 0 128 73 41 44 65 70 0 6
4 -17 57 0 56 46 48 34 59 60 0 0 +17 59 0 130 54 36 32 57 60 0 0 -17 65 0 63 53
64 39 74 70 0 68 +14 255 131 43 132 ?133 51 128 5 134 -0 0 133 51 22 81 1 132 1
309 135 131 136 0 0 137 138 14 133 148 137 ?139 131 140 5 141 -0 0 139 131 22 14

51 1 142 ?131 127 143 5 144 +0 0 131 127 22 50 134 65 0 131 144 18 0 +.0625 -.0
624999999999765 -.00800000000002064 0 -352752549392932e-27 1 0 -1 -3527525493929
32e-27 13 22 29 0 0 0 0 0 9 16 14 16 85 145 ?127 0 130 5 6 -0 0 127 0 22 81 1
145 1312 135 16 146 0 142 147 148 14 127 79 147 ?51 16 126 5 18 -0 0 51 16 22 8
1 1 147 1313 135 127 149 0 145 150 151 50 18 86 0 127 134 6 0 +277555756156289e-
31 -.124999999999792 -4268807529683725e-29 0 1 352752549392932e-27 -1 0 0 80 25
5 1 135 152 153 9000 1 1 1 1 1 1 1 0 FFFFTFTTTTTTTTT1 81 1 149 1232 154 127 0 1
47 146 155 156 81 1 150 1314 135 139 157 0 147 158 159 82 255 1 151 1358823571 1
4 139 153 150 ?160 133 161 5 162 +0 0 160 133 22 81 1 157 1236 154 139 0 150 163
164 165 81 1 158 1315 135 160 164 0 150 166 167 82 1 159 1363607699 14 160 190
158 ?168 139 169 5 170 -0 0 168 139 22 81 1 164 1237 154 160 0 158 157 171 172
81 1 166 1316 135 168 171 0 158 173 174 82 1 167 1363476627 14 168 195 166 ?72
160 175 5 176 +0 0 72 160 22 81 1 171 1238 154 168 0 166 164 177 178 81 1 173 1
317 135 72 177 0 166 179 180 82 1 174 1363345555 14 72 258 173 ?181 168 56 5 182
-0 0 181 168 22 81 1 177 1239 154 72 0 173 171 183 184 81 1 179 1318 135 181 18
3 0 173 185 186 82 1 180 1359478931 14 181 342 179 ?187 72 188 5 189 -0 0 187 72
22 81 1 183 1240 154 181 0 179 177 190 191 81 1 185 1319 135 187 190 0 179 192
193 82 1 186 1363148947 14 187 347 185 ?194 181 195 5 196 +0 0 194 181 22 81 1
190 1241 154 187 0 185 183 197 198 81 1 192 1320 135 194 197 0 185 199 200 82 1
193 1363017875 14 194 375 192 ?201 187 202 5 203 -0 0 201 187 22 81 1 197 1242
154 194 0 192 190 204 205 81 1 199 1321 135 201 204 0 192 206 207 82 1 200 1362
886803 14 201 380 199 ?66 194 208 5 209 +0 0 66 194 22 81 1 204 1243 154 201 0 1
99 197 210 211 81 1 206 1322 135 66 210 0 199 212 213 82 1 207 1362755731 14 66
464 206 ?214 201 63 5 215 -0 0 214 201 22 81 1 210 1244 154 66 0 206 204 216 21
7 81 1 212 1323 135 214 216 0 206 218 219 82 1 213 1359741075 14 214 541 212 ?22
0 66 221 5 222 -0 0 220 66 22 81 1 216 1245 154 214 0 212 210 223 224 81 1 218 1
324 135 220 223 0 212 225 226 82 1 219 1360003219 14 220 545 218 ?227 214 228 5
229 +0 0 227 214 22 81 1 223 1246 154 220 0 218 216 230 231 81 1 225 1325 135 2
27 230 0 218 232 233 82 1 226 1360265363 14 227 574 225 ?234 220 235 5 236 -0 0
234 220 22 81 1 230 1247 154 227 0 225 223 237 238 81 1 232 1326 135 234 237 0
225 239 240 82 1 233 1360527507 14 234 579 232 ?241 227 242 5 243 +0 0 241 227
22 81 1 237 1248 154 234 0 232 230 244 245 81 1 239 1327 135 241 244 0 232 246
247 82 1 240 1360789651 14 241 726 239 ?248 234 249 5 250 -0 0 248 234 22 81 1
244 1249 154 241 0 239 237 251 252 81 1 246 1328 135 248 251 0 239 253 254 82 1

247 1361051795 14 248 731 246 ?255 241 256 5 257 +0 0 255 241 22 81 1 251 1250
154 248 0 246 244 258 259 81 1 253 1329 135 255 258 0 246 260 261 82 1 254 1361
313939 14 255 759 253 ?262 248 263 5 264 -0 0 262 248 22 81 1 258 1251 154 255 0
253 251 265 266 81 1 260 1330 135 262 265 0 253 0 267 82 1 261 1361576083 14 26
2 764 260 ?0 255 268 5 269 +0 0 0 255 22 81 1 265 1252 154 262 0 260 258 0 270 8
2 1 267 1361838227 80 1 154 0 271 8001 0 0 0 0 3 5 0 0 0 FFFFTFTFFFFFFFFF2 83 255
3 270 .898039215686275 .917647058823529 .929411764705882 79 255 15 271 SDL/TYSA
_COLOUR15 268 766 0 272 262 0 50 269 774 0 262 0 264 0 +-.0625 .0625000000000207
2345346139520645e-29 0 -352752549392932e-27 1 0 -1 -352752549392932e-27 51 255
264 772 0 255 269 257 0 --.0625 .0625000000000207 2345346139520645e-29 0 352752
549392932e-27 -1 .003175 0 1 352752549392932e-27 50 257 741 0 248 264 250 0 +-.0
625 .0625000000000229 -.0063499999997656 0 -352752549392932e-27 1 0 -1 -3527525
49392932e-27 51 250 739 0 241 257 243 0 +-.0625 .0625000000000229 -.006349999999
97656 0 -352752549392932e-27 1 .0555 0 -1 -352752549392932e-27 50 243 589 0 234
250 236 0 +-.0625 -.062499999999794 -20643209364124e-27 0 -352752549392932e-27
1 0 -1 -352752549392932e-27 51 236 587 0 227 243 229 0 --.0625 -.0624999999997
94 -20643209364124e-27 0 352752549392932e-27 -1 .003175 0 1 352752549392932e-27
50 229 552 0 220 236 222 0 +-.0625 -.062499999999771 -.00635000000002065 0 -35
2752549392932e-27 1 0 -1 -352752549392932e-27 51 222 551 0 214 229 215 0 +-.0625
-.062499999999771 -.00635000000002065 0 -352752549392932e-27 1 .0555 0 -1 -352
752549392932e-27 50 215 482 0 66 222 209 0 +-.125 20643209364124e-27 14016565685
8926e-29 1 2220446049250315e-31 783268004662512e-43 -2220446049250315e-31 1 3527
52549392932e-27 50 209 390 0 201 215 203 0 +.0625 .0625000000000207 234534613952
0645e-29 0 -352752549392932e-27 1 0 -1 -352752549392932e-27 51 203 388 0 194 209
196 0 -.0625 .0625000000000207 2345346139520645e-29 0 352752549392932e-27 -1 0
03175 0 1 352752549392932e-27 50 196 357 0 187 203 189 0 +.0625 .062500000000022
9 -.0063499999997656 0 -352752549392932e-27 1 0 -1 -352752549392932e-27 51 189
355 0 181 196 182 0 +.0625 .0625000000000229 -.0063499999997656 0 -35275254939
2932e-27 1 .0555 0 -1 -352752549392932e-27 50 182 279 0 72 189 176 0 +-277555756
156289e-31 .1250000000000206 454983273279197e-28 0 -1 -352752549392932e-27 1 0 0
50 176 205 0 168 182 170 0 +.0625 -.062499999999794 -20643209364124e-27 0 -352
752549392932e-27 1 0 -1 -352752549392932e-27 51 170 203 0 160 176 162 0 -.0625 -
.062499999999794 -20643209364124e-27 0 352752549392932e-27 -1 .003175 0 1 35275
2549392932e-27 50 162 163 0 139 170 141 0 +.0625 -.062499999999771 -.0063500000

0002065 0 -352752549392932e-27 1 0 -1 -352752549392932e-27 51 141 161 0 133 162
144 0 +.0625 -.0624999999999771 -.00635000000002065 0 -352752549392932e-27 1 .0
555 0 -1 -352752549392932e-27 50 144 2 0 51 141 134 0 +.0625 -.0624999999999794
-20643209364124e-27 0 -352752549392932e-27 1 0 -1 -352752549392932e-27 17 272 0
268 272 272 0 273 274 0 0 +17 273 0 263 273 273 0 272 274 0 0 -16 274 756 0 ?27
2 82 275 276 0 0 1 16 82 723 0 ?277 76 274 84 0 0 1 16 275 753 0 ?278 274 0 279
0 0 1 31 276 776 0 274 0 279 0 +-.0625 .0625000000000207 2345346139520645e-29 0
-352752549392932e-27 1 0 -1 -352752549392932e-27 .003175 31 279 775 0 275 276 8
3 0 +-.0625 .0625000000000229 -.00634999999997656 0 -352752549392932e-27 1 0 -1
-352752549392932e-27 .003175 31 83 743 0 76 279 84 0 +-.0625 .0625000000000229
-.00634999999997656 0 -352752549392932e-27 1 0 -1 -352752549392932e-27 .0555 17
278 0 280 278 278 0 281 275 0 0 +15 280 763 0 278 255 0 17 281 0 256 281 281 0
278 275 0 0 -15 256 747 0 281 248 282 15 282 733 0 81 248 0 17 81 0 282 81 81 0
283 76 0 0 +17 283 0 249 283 283 0 81 76 0 0 -15 249 729 0 283 241 284 15 284 7
30 0 277 241 0 17 277 0 284 277 277 0 285 82 0 0 +17 285 0 143 285 285 0 277 82
0 0 -15 143 712 0 285 51 286 15 286 529 0 287 51 288 17 287 0 286 287 287 0 90
87 0 0 -15 288 330 0 289 51 290 17 289 0 288 289 289 0 106 100 0 0 -15 290 137
0 291 51 26 17 291 0 290 291 291 0 122 114 0 0 -17 122 0 292 122 122 0 291 114
0 0 +15 292 152 0 122 133 0 17 106 0 293 106 106 0 289 100 0 0 +15 293 346 0 10
6 181 0 17 90 0 294 90 90 0 287 87 0 0 +15 294 544 0 90 214 0 15 263 762 0 273 2
55 280 83 3 266 .898039215686275 .917647058823529 .929411764705882 83 3 259 .898
039215686275 .917647058823529 .929411764705882 83 3 252 .898039215686275 .917647
058823529 .929411764705882 83 3 245 .898039215686275 .917647058823529 .929411764
705882 15 242 581 0 86 234 0 17 86 0 242 86 86 0 295 79 0 0 +17 295 0 235 295 29
5 0 86 79 0 0 -15 235 577 0 295 227 296 15 296 578 0 78 227 0 17 78 0 296 78 78
0 297 75 0 0 +17 297 0 228 297 297 0 78 75 0 0 -15 228 562 0 297 220 298 15 298
547 0 92 220 0 17 92 0 298 92 92 0 299 91 0 0 +17 299 0 221 299 299 0 92 91 0 0
-15 221 543 0 299 214 294 83 3 238 .898039215686275 .917647058823529 .929411764
705882 83 3 231 .898039215686275 .917647058823529 .929411764705882 83 3 224 .898
039215686275 .917647058823529 .929411764705882 83 3 217 .898039215686275 .917647
058823529 .929411764705882 83 3 211 .898039215686275 .917647058823529 .929411764
705882 15 208 382 0 99 201 0 17 99 0 208 99 99 0 300 97 0 0 +17 300 0 202 300 30
0 0 99 97 0 0 -15 202 378 0 300 194 301 15 301 379 0 102 194 0 17 102 0 301 102
102 0 302 96 0 0 +17 302 0 195 302 302 0 102 96 0 0 -15 195 363 0 302 187 303 1

5 303 349 0 105 187 0 17 105 0 303 105 105 0 304 103 0 0 +17 304 0 188 304 304 0
105 103 0 0 -15 188 345 0 304 181 293 83 3 205 .898039215686275 .91764705882352
9 .929411764705882 83 3 198 .898039215686275 .917647058823529 .929411764705882 8
3 3 191 .898039215686275 .917647058823529 .929411764705882 83 3 184 .89803921568
6275 .917647058823529 .929411764705882 83 3 178 .898039215686275 .91764705882352
9 .929411764705882 15 175 197 0 113 168 0 17 113 0 175 113 113 0 305 111 0 0 +17
305 0 169 305 305 0 113 111 0 0 -15 169 193 0 305 160 306 15 306 194 0 116 160
0 17 116 0 306 116 116 0 307 110 0 0 +17 307 0 161 307 307 0 116 110 0 0 -15 16
1 178 0 307 139 308 15 308 155 0 119 139 0 17 119 0 308 119 119 0 309 117 0 0 +1
7 309 0 140 309 309 0 119 117 0 0 -15 140 151 0 309 133 292 83 3 172 .8980392156
86275 .917647058823529 .929411764705882 81 1 163 1235 154 133 0 137 136 157 310
83 3 165 .898039215686275 .917647058823529 .929411764705882 81 1 137 1310 135 1
33 163 0 132 142 311 81 1 136 1234 154 131 0 132 155 163 312 83 3 310 .898039215
686275 .917647058823529 .929411764705882 81 1 155 1233 154 51 0 142 149 136 313
83 3 312 .898039215686275 .917647058823529 .929411764705882 81 1 142 1311 135 5
1 155 0 137 145 314 83 3 313 .898039215686275 .917647058823529 .929411764705882
82 1 314 1358495891 82 1 311 1358430355 81 1 146 1231 154 16 0 145 0 149 315 83
3 156 .898039215686275 .917647058823529 .929411764705882 83 3 315 .898039215686
275 .917647058823529 .929411764705882 79 14 153 SWEntUnchanged82 1 148 135869249
9 82 1 138 1358299283 17 29 0 126 68 30 37 25 24 0 28 -19 17 95 0 1 0 9 5 S0 74
4 CI16 index_map_offset0 0 1 dCCZ20 15 9 0 0 316 317 318 319 320 260 13 265 2 0
0 0 0 0 0 0 0 0 81 2 316 777 321 1 0 317 0 0 0 322 81 2 317 779 323 1 316 3
18 0 0 0 324 81 2 318 819 325 1 317 319 0 0 0 326 81 2 319 1056 327 1 318 320 0
0 328 0 81 2 320 1207 329 1 319 13 0 0 0 81 1 13 1230 330 1 320 2 0 0 331 80
1 330 332 333 9000 1 1 1 1 1 1 1 0 FFTFFFFFFFFFFFF1 82 1 331 20623 79 10 333 B
ODY_MATCH80 2 329 334 335 9000 0 0 0 0 3 5 0 0 0 FFTFFFFFFFFFFFF9 1 79 16 335 BOD
Y_RECIPe_200180 2 327 336 337 8004 0 0 0 0 3 5 0 0 0 FFTFFFFFFFFFFFF2 3 83 1 328
27e2 79 16 337 SDL/TYSA_DENSITY80 2 325 338 339 9000 0 0 0 0 3 5 0 0 0 FFTFFFFFFF
FFFFFFFF9 1 82 1 326 1 79 24 339 BODY_IN_LIGHTWEIGHT_PERM80 2 323 340 341 9000 0 0
0 0 3 5 0 0 0 FFTFFFFFFFFFFFF9 1 82 1 324 90 79 30 341 LAST_BODY_MODIFYING_FEATU
RE_ID80 2 321 342 343 9000 0 0 0 0 3 5 0 0 0 FFTFFFFFFFFFFFF9 1 82 1 322 178 79 1
9 343 ENT_TIME_STAMP_200180 2 12 344 345 9000 0 0 0 0 3 5 0 0 0 FFTFFFFFFFFFFFF9
1 82 1 14 110 79 12 345 ATOM_ID_20011 0