



Universidad de San Carlos de Guatemala  
Facultad de Ingeniería  
Escuela de Ingeniería Civil

**PANELES AISLANTES DE SONIDO ELABORADOS CON CONCRETO Y  
ADICIÓN DE POLVO DE LLANTA**

**Guillermo Antonio Guzmán Arriola**

Asesorado por el Ing. Luis Mariano Álvarez Muralles

Guatemala, abril de 2017

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**PANELES AISLANTES DE SONIDO ELABORADOS CON CONCRETO Y  
ADICIÓN DE POLVO DE LLANTA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

**GUILLERMO ANTONIO GUZMÁN ARRIOLA**

ASESORADO POR EL ING. LUIS MARIANO ÁLVAREZ MURALLES

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

**INGENIERO CIVIL**

GUATEMALA, ABRIL DE 2017

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA



**NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL I	Ing. Angel Roberto Sic García
VOCAL II	Ing. Pablo Christian de León Rodríguez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Br. Jurgen Andoni Ramírez Ramírez
VOCAL V	Br. Oscar Humberto Galicia Núñez
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
EXAMINADOR	Ing. Mario Estuardo Arriola Ávila
EXAMINADOR	Ing. Carlos Salvador Gordillo García
EXAMINADOR	Ing. Marco Antonio García Díaz
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

## HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

### **PANELES AISLANTES DE SONIDO ELABORADOS CON CONCRETO Y ADICIÓN DE POLVO DE LLANTA**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Civil,  
el 24 de abril de 2015.



Guillermo Antonio Guzmán Arriola

Guatemala, 23 de febrero de 2017

Ingeniero  
José Gabriel Ordoñez Morales  
Coordinador del Área de Materiales y Construcciones Civiles  
Escuela de Ingeniería Civil  
Facultad de Ingeniería  
Universidad de San Carlos  
Guatemala

Ingeniero Ordoñez

Por este medio me dirijo a usted para informarle que he revisado el trabajo de graduación **PANELES AISLANTES DE SONIDO ELABORADOS CON CONCRETO Y ADICIÓN DE POLVO DE LLANTA**, elaborado por el estudiante **Guillermo Antonio Guzmán Arriola**, quien contó con la asesoría del suscrito.

Considerando que el trabajo desarrollado por el estudiante Guzmán Arriola satisface los requisitos exigidos en el reglamento de graduación, por lo que recomiendo su aprobación.

Atentamente,

**"ID Y ENSEÑAD A TODOS"**



Ing. Luis Mariano Alvarez Muralles  
Colegiado 10253  
Asesor





**USAC**  
TRICENTENARIA  
Universidad de San Carlos de Guatemala  
FACULTAD DE INGENIERÍA

<http://civil.ingenieria.usac.edu.gt>

**ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL**



Guatemala,  
15 de marzo de 2017

Ingeniero  
Hugo Leonel Montenegro Franco  
Director Escuela Ingeniería Civil  
Facultad de Ingeniería  
Universidad de San Carlos

Estimado Ingeniero Montenegro.

Le informo que he revisado el trabajo de graduación **PANELES AISLANTES DE SONIDO ELABORADOS CON CONCRETO Y ADICIÓN DE POLVO DE LLANTA** desarrollado por el estudiante de Ingeniería Civil Guillermo Antonio Guzmán Arriola quien contó con la asesoría del Ing. Luis Mariano Álvarez Muralles.

Considero este trabajo bien desarrollado y representa un aporte para la comunidad del área y habiendo cumplido con los objetivos del referido trabajo doy mi aprobación al mismo solicitando darle el trámite respectivo.

Atentamente,

ID Y ENSEÑAD A TODOS

  
Ing. Civil José Gabriel Ordóñez Morales  
Coordinador del Área de Materiales y  
Construcciones Civiles



FACULTAD DE INGENIERIA  
AREA DE MATERIALES Y  
CONSTRUCCIONES CIVILES  
**USAC**

/mrrm.



*Mas de 136 años de Trabajo y Mejora Continua*



**USAC**  
TRICENTENARIA  
Universidad de San Carlos de Guatemala  
FACULTAD DE INGENIERÍA

<http://civil.ingenieria.usac.edu.gt>

**ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL**



El director de la Escuela de Ingeniería Civil, después de conocer el dictamen del Asesor Ing. Luis Mariano Álvarez Muralles y del Coordinador del Departamento de Materiales y Construcciones Civiles Ing. José Gabriel Ordóñez Morales, al trabajo de graduación del estudiante Guillermo Antonio Guzmán Arriola titulado PANELES AISLANTES DE SONIDO ELABORADOS CON CONCRETO Y ADICIÓN DE POLVO DE LLANTA da por este medio su aprobación a dicho trabajo.

  
Ing. Hugo Leonel Montenegro Franco



Guatemala, abril 2017

/mrrm.



*Mas de 136 años de Trabajo y Mejora Continua*

Universidad de San Carlos  
de Guatemala

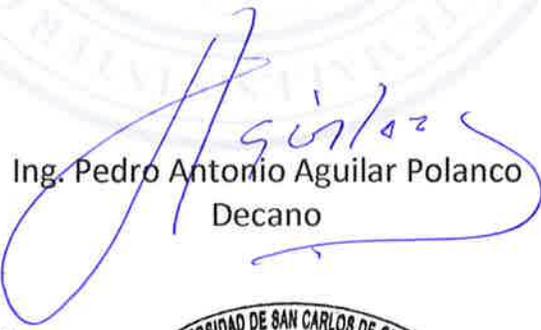


Facultad de Ingeniería  
Decanato

DTG. 188.2017

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Civil, al Trabajo de Graduación titulado: **PANELES AISLANTES DE SONIDO ELABORADOS CON CONCRETO Y ADICIÓN DE POLVO DE LLANTA**, presentado por el estudiante universitario: **Guillermo Antonio Guzmán Arriola**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:

  
Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco  
Decano

Guatemala, abril de 2017



/gdech

## **ACTO QUE DEDICO A:**

- Dios** Por darme la vida y ser la fuente de mi sabiduría, guiándome en este camino para crecer de manera personal con cada meta cumplida.
- Mis padres** Rolando Guzmán y Julia Arriola de Guzmán (q. e. p. d.), por brindarme su apoyo incondicional en todos los aspectos posibles de cada etapa de mi vida. Su amor será siempre mi inspiración.
- Mis hermanos** Luis y Julio Guzmán, por todos los momentos compartidos y la buena influencia en mi carrera.
- Mis abuelos** Rubén Arriola, María Fernández de Arriola (q. e. p. d.), José Guzmán (q. e. p. d.) y Vicenta García de Guzmán (q. e. p. d.), por darme su apoyo y afecto creyendo siempre en mis capacidades.
- Mis familiares** Por brindarme su afecto y cariño, motivándome a cumplir mis sueños. Muy agradecido por los consejos y el apoyo a lo largo de mi carrera.

## **Mis amigos**

Por estar siempre en los buenos y malos momentos, demostrando que existe la amistad sincera.

## **AGRADECIMIENTOS A:**

<b>Universidad de San Carlos de Guatemala</b>	Por ser el medio de transmisión de los conocimientos y valores adquiridos como una importante influencia en mi carrera.
<b>Facultad de Ingeniería</b>	Por ser mi casa de estudios y formarme para ejercer mi profesión bajo principios éticos y morales.
<b>Mis compañeros de estudio</b>	Por todos los momentos compartidos y la ayuda mutua que nos brindamos para culminar nuestros estudios con éxito.
<b>Mi asesor</b>	El Ing. Mariano Álvarez por brindarme todo su apoyo y transmitirme sus conocimientos sin recelo, por la confianza depositada en mi persona y por su buena amistad.
<b>Centro de Investigaciones de Ingeniería</b>	Por abrirme sus puertas para desarrollar mi investigación, en especial al personal de las secciones de Concretos y Metales, por su ayuda y amistad a lo largo de este proceso. También a los practicantes universitarios y a los del nivel diversificado del Liceo Técnico de Villa Nueva por su colaboración en la construcción de los paneles.

**Ing. Oswin Melgar**

Jefe de la Sección de Gestión de la Calidad del CII por su colaboración fundamental al dirigir las mediciones durante las pruebas de sonido, brindando el decibelímetro para cumplir con esta fase.

**Industria Recicladora de Guatemala, S.A**

Por proveer el producto para los análisis de laboratorio y permitir el ingreso a sus instalaciones para conocer el proceso de trituración de las llantas.

## ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	IX
LISTA DE SÍMBOLOS .....	XV
GLOSARIO .....	XVII
RESUMEN.....	XXI
OBJETIVOS.....	XXIII
INTRODUCCIÓN .....	XXV
1. MARCO TEÓRICO.....	1
1.1. Llantas o neumáticos.....	1
1.1.1. Definición.....	1
1.1.2. Tipos.....	1
1.1.3. Estructura de una llanta o neumático .....	3
1.1.4. Características.....	5
1.2. Problemática ambiental provocada por las llantas como residuo.....	6
1.2.1. Almacenamiento de llantas al aire libre .....	7
1.2.2. Combustión de llantas .....	7
1.3. Principales aplicaciones para llantas en desuso o consideradas como desecho .....	10
1.3.1. Reúso de llantas enteras .....	10
1.3.2. Reúso de llantas cortadas o trituradas .....	11
1.4. El sonido.....	12
1.4.1. El ruido y sus tipos.....	13
1.4.1.1. Ruido aéreo .....	13
1.4.1.2. Ruido de impacto.....	14

1.4.2.	Aislamiento y absorción acústica .....	15
1.4.3.	Propiedades acústicas del concreto .....	16
1.4.4.	Instrumentos de medición de ruido .....	17
1.4.5.	Niveles de ruido.....	18
1.4.6.	Medición de niveles de ruido .....	20
1.4.6.1.	Escalas de medición (L y A).....	20
1.4.7.	Comportamiento del sonido con la distancia .....	22
1.4.7.1.	Ley del inverso del cuadrado de la distancia .....	22
1.4.8.	Normativas y regularización del ruido en Guatemala.....	24
1.4.8.1.	Disminución de ruido en el medio .....	26
2.	<b>PANELES DE CONCRETO Y NORMAS QUE DEBEN CUMPLIR SUS COMPONENTES.....</b>	<b>27</b>
2.1.	Paneles de concreto.....	27
2.2.	Normas que deben cumplir .....	27
2.2.1.	Control de las materias primas del concreto .....	28
2.2.1.1.	Ensayos aplicados al agregado fino .....	28
2.2.1.2.	Definición de agregados según norma NTG 41006 (ASTM C 125 – 88) .....	28
2.2.1.2.1.	Agregado fino.....	28
2.2.1.2.2.	Agregado grueso.....	28
2.2.1.3.	Análisis de las características físicas de los agregados finos .....	29
2.2.1.4.	Descripción de la norma NTG 41007 h1 [ASTM C – 33] (Especificación	

	estándar para agregados del concreto).....	30
2.2.1.4.1.	Graduación.....	30
2.2.1.4.2.	Sustancias nocivas.....	31
2.2.1.4.3.	Impurezas orgánicas norma NTG 41007 h1 (ASTM C – 33, C 87 – 83 y C 40 – 48).....	32
2.2.1.5.	Peso específico norma NTG 41010 h9 (ASTM C 128 – 88): Método de ensayo estándar para gravedad específica y absorción de agregado fino.....	34
2.2.1.6.	Granulometría norma NTG 41007 h1 (ASTM C 33 – 90): Especificación estándar para agregados de concreto.....	35
2.2.1.7.	Peso unitario norma NTG 41010 h2 (ASTM C 29/C 29M – 90): Método de ensayo estándar para peso unitario y cantidad de vacíos en agregado .....	37
2.2.1.8.	Porcentaje de vacíos norma NTG 41010 h2 (ASTM C 138 – 81 y C 231 – 89): Método de ensayo estándar para unidad de peso, producción y contenido de aire del concreto.....	39
2.2.1.9.	Porcentaje de absorción norma NTG 41010 h19 (ASTM C 127 – 88):	

	Método de ensayo para gravedad específica y absorción de agregado grueso .....	40
2.2.2.	Ensayos aplicados al concreto fresco y endurecido.....	41
2.2.2.1.	Prueba Slump del concreto fresco norma NTG 41052 (ASTM C – 143): Método de ensayo estándar para asentamiento de concreto hidráulico....	41
2.2.2.2.	Método de ensayo estándar para contenido de aire en mezclas de concreto fresco norma NTG 41017 h7 (ASTM C 231 – 78): Utiliza el método a presión.....	43
2.2.2.3.	Peso unitario norma NTG 41017 h5 (ASTM C – 138): Método de ensayo estándar unidad de peso, producción y contenido de aire en el concreto.....	45
2.2.2.4.	Método de ensayo estándar para el tiempo de fraguado de mezclas de concreto por la resistencia a la penetración norma NTG 41017 h12 (ASTM C – 403) .....	46
2.2.2.5.	Práctica estándar para elaborar y curar especímenes para ensayo de concreto en laboratorio norma NTG 41060 (ASTM C – 192/C – 192M).....	47
2.2.2.6.	Método estándar de ensayo de resistencia a compresión de	

	especímenes cilíndricos de concreto norma NTG 41017 h1 (ASTM C – 39/C – 39M).....	49
2.2.2.7.	Método de ensayo estándar de resistencia a flexión del concreto, norma NTG 41017 h8 (ASTM C 293): Método de ensayo estándar para resistencia a flexión del concreto.....	52
2.3.	Características del agregado fino .....	53
2.3.1.	Efecto del agregado fino en el concreto .....	53
2.3.1.1.	Manejabilidad.....	53
2.3.1.2.	Segregación.....	54
2.3.1.3.	Exudación .....	55
2.3.1.4.	Temperatura .....	55
2.3.1.5.	Resistencia mecánica.....	56
2.3.1.6.	Permeabilidad.....	56
2.3.1.7.	Durabilidad.....	57
2.3.1.8.	Apariencia.....	57
2.4.	Concreto.....	57
2.4.1.	Definición .....	57
2.4.2.	Composición .....	58
2.4.2.1.	Cemento .....	58
2.4.2.2.	Agua .....	59
2.4.2.3.	Agregados .....	60
2.4.2.4.	Aire .....	60
2.4.3.	Diseño de mezcla .....	60

3.	TRABAJO DE CAMPO .....	65
3.1.	Obtención y transformación de materia prima.....	65
3.1.1.	Métodos de trituración de llantas.....	65
3.1.1.1.	Trituración mecánica .....	65
3.1.1.2.	Trituración criogénica .....	65
3.1.2.	Método utilizado para el estudio .....	66
3.2.	Transporte y preparación de materia prima .....	72
4.	DESARROLLO EXPERIMENTAL.....	75
4.1.	Ensayos de laboratorio realizados al polvo de llanta como agregado fino .....	75
4.1.1.	Resultados y análisis de resultados .....	76
4.1.1.1.	Agregado fino .....	76
4.1.1.1.1.	Impurezas orgánicas norma NTG 41007 h1 (ASTM C – 33, C 87 – 83 y C 40 – 48).....	76
4.1.1.1.2.	Peso específico norma NTG 41010 h9 (ASTM C 128 – 88) .....	76
4.1.1.1.3.	Granulometría norma NTG 41007 h1 (ASTM C 33-90) .....	76
4.1.1.1.4.	Peso unitario norma NTG 41010 h2 (ASTM C29/C 29M90).....	78
4.1.1.1.5.	Porcentaje de vacíos norma NTG 41010 h2	

		(ASTM C 138 – 81 y C 231 – 89).....	78
	4.1.1.1.6.	Porcentaje de absorción norma NTG 41010 h19 (ASTM C 127 – 88) .....	78
	4.1.1.2.	Concreto fresco .....	79
	4.1.1.2.1.	Diseño de mezclas .....	79
	4.1.1.2.2.	Asentamiento.....	80
	4.1.1.2.3.	Contenido de aire .....	80
	4.1.1.2.4.	Peso unitario.....	81
	4.1.1.2.5.	Velocidad de endurecimiento .....	82
	4.1.1.3.	Concreto endurecido .....	86
	4.1.1.3.1.	Resistencia a compresión.....	86
	4.1.1.3.2.	Resistencia a flexión.....	89
4.2.	Elaboración de paneles de concreto con polvo de llanta.....		91
	4.2.1.	Definición de dimensiones.....	91
	4.2.2.	Construcción de los paneles.....	93
4.3.	Pruebas de sonido al sistema tipo cajón a escala .....		97
	4.3.1.	Especificaciones técnicas del instrumento de medición .....	97
	4.3.2.	Especificaciones técnicas del aparato de sonido....	99
	4.3.3.	Procedimiento.....	99
5.	RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS .....		101
6.	DISCUSIÓN DE RESULTADOS .....		125

CONCLUSIONES..... 127  
RECOMENDACIONES ..... 129  
BIBLIOGRAFÍA..... 131  
APÉNDICES..... 133  
ANEXOS..... 139

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

### FIGURAS

1.	Estructura de una llanta o neumático .....	3
2.	Comportamiento del ruido aéreo .....	14
3.	Representación del ruido de impacto .....	15
4.	Propiedades acústicas del concreto (hormigón) .....	17
5.	Clasificación de los niveles de ruido según la OMS .....	19
6.	Niveles admisibles de ruido en el entorno ambiental .....	21
7.	Reducción del sonido en la distancia .....	22
8.	Decaimiento del nivel de ruido respecto a la distancia.....	23
9.	Matraces utilizados para peso específico del caucho .....	35
10.	Tamizadora de agregado fino para determinación de granulometría ...	37
11.	Recipiente para la determinación del peso unitario del caucho .....	39
12.	Prueba de asentamiento para el concreto.....	42
13.	Determinación del contenido de aire por método a presión B.....	44
14.	Equipo utilizado para el ensayo de velocidad de endurecimiento del concreto .....	46
15.	Llenado de cilindros para ensayo a compresión del concreto.....	49
16.	Ensayo a compresión en máquina universal.....	51
17.	Ensayo a flexión con carga a L/2 .....	52
18.	Efecto de la relación A/C en la resistencia a la compresión y a la flexión a los 28 días.....	62
19.	Depósito de llantas para el granulado de caucho molido .....	66
20.	Desgarradora de llantas .....	67
21.	Cortadora de llanta en palletes .....	68

22.	Primer proceso de trituración del neumático.....	69
23.	Máquina para granulometría fina del polvo de llanta .....	70
24.	Extracto de fibras textiles y acero de la llanta .....	71
25.	Separador de partículas, disposición del granulado de caucho para su venta .....	72
26.	<i>Chip</i> de 3 mm., adquirido para las pruebas de laboratorio .....	73
27.	Granulometría del polvo de llanta ( <i>Chip</i> de 3 mm).....	77
28.	Velocidad de endurecimiento concreto patrón .....	83
29.	Velocidad de endurecimiento concreto con 10% de caucho.....	84
30.	Velocidad de endurecimiento concreto con 10% de caucho.....	85
31.	Cuadro comparativo de las resistencias a diferentes edades para los porcentajes de caucho empleados.....	89
32.	Formaletas y materiales para los paneles .....	92
33.	Fundición de paneles de concreto .....	94
34.	Curado de paneles y formaletas con su armado para la segunda fundición .....	95
35.	Manipulación de paneles con puente grúa y polipasto .....	96
36.	Aplicación de pasta de papel para el sello de juntas .....	97
37.	Sonómetro utilizado durante las pruebas de sonido .....	98
38.	Colocación de cubierta para prueba de sonido.....	100
39.	Niveles de ruido para tránsito (ciudad) sin aislante .....	102
40.	Nivel de ruido promedio para tránsito (ciudad) sin aislante .....	103
41.	Niveles de ruido para discoteca sin aislante .....	104
42.	Nivel de ruido promedio para discoteca sin aislante.....	104
43.	Niveles de ruido para martillo neumático sin aislante .....	105
44.	Nivel de ruido promedio para martillo neumático sin aislante .....	106
45.	Niveles de ruido para tránsito (ciudad) en cajón patrón sin cubierta ..	107
46.	Nivel de ruido promedio para tránsito (ciudad) en cajón patrón sin cubierta .....	107

47.	Niveles de ruido para discoteca en cajón patrón sin cubierta .....	108
48.	Nivel de ruido promedio para discoteca en cajón patrón sin cubierta	109
49.	Niveles de ruido para martillo en cajón patrón sin cubierta .....	110
50.	Nivel de ruido promedio para martillo neumático en cajón patrón sin cubierta.....	110
51.	Niveles de ruido para tránsito (ciudad) en cajón con caucho sin cubierta .....	111
52.	Nivel de ruido promedio para martillo neumático en cajón patrón sin cubierta.....	112
53.	Niveles de ruido para discoteca en cajón con caucho sin cubierta ....	113
54.	Nivel de ruido promedio para discoteca en cajón con caucho sin cubierta .....	113
55.	Niveles de ruido para martillo neumático en cajón con caucho sin cubierta .....	114
56.	Nivel de ruido promedio para martillo neumático en cajón con caucho sin cubierta .....	115
57.	Niveles de ruido para tránsito (ciudad) en cajón patrón con cubierta.	116
58.	Nivel de ruido promedio para tránsito (ciudad) en cajón patrón con cubierta .....	117
59.	Niveles de ruido para discoteca en cajón patrón con cubierta .....	118
60.	Nivel de ruido promedio para disco en cajón patrón con cubierta.....	118
61.	Niveles de ruido para martillo neumático en cajón patrón con cubierta. ....	119
62.	Nivel de ruido promedio para martillo neumático en cajón patrón con cubierta.....	120
63.	Niveles de ruido para tránsito (ciudad) en cajón con caucho y cubierta .....	121
64.	Nivel de ruido promedio para tránsito (ciudad) en cajón con caucho y cubierta.....	121

65.	Niveles de ruido para discoteca en cajón con caucho y cubierta.....	122
66.	Nivel de ruido promedio para discoteca en cajón con caucho y cubierta .....	123
67.	Niveles de ruido para martillo neumático en cajón con caucho y cubierta .....	124
68.	Nivel de ruido promedio para martillo neumático en cajón con caucho y cubierta.....	124

## TABLAS

I.	Composición de la llanta o neumático .....	5
II.	Composición química de las llantas.....	6
III.	Nivel sonoro respecto a distancia de la fuente .....	24
IV.	Límites de la granulometría para agregado fino según especificaciones de la norma NTG 41007 h1 (ASTM C-33) .....	30
V.	Rangos de clasificación de la arena según su módulo de finura .....	31
VI.	Límites para las sustancias nocivas en el agregado fino para el concreto .....	32
VII.	Límites permisibles según prueba colorimétrica para materia orgánica .....	33
VIII.	Valores para diseño de mezclas (Rendimiento para 1 m <sup>3</sup> ) .....	64
IX.	Asentamientos obtenidos para el diseño de mezclas establecido .....	80
X.	Contenido de aire en las muestras de concreto.....	81
XI.	Pesos unitarios de las mezclas de concreto .....	81
XII.	Tiempos de fraguado de las muestras de concreto .....	82
XIII.	Datos del ensayo para velocidad de endurecimiento del concreto patrón.....	82
XIV.	Datos del ensayo para velocidad de endurecimiento del concreto con 10% de caucho .....	84

XV.	Datos del ensayo para velocidad de endurecimiento del concreto con 5% de caucho.....	85
XVI.	Resultados del ensayo de resistencia a compresión para cilindros de concreto patrón .....	86
XVII.	Resultados del ensayo de resistencia a compresión para cilindros de concreto con 10% de polvo de llanta.....	87
XVIII.	Resultados del ensayo de resistencia a compresión para cilindros de concreto con 5% de polvo de llanta.....	87
XIX.	Valores obtenidos del ensayo de resistencia a flexión del concreto ....	90
XX.	Cantidades teóricas del diseño de mezclas para concreto .....	93
XXI.	Niveles de volumen durante las pruebas en todos los escenarios.....	101
XXII.	Resultados para tránsito (ciudad) sin aislante.....	102
XXIII.	Resultados para discoteca sin aislante .....	103
XXIV.	Resultados para martillo neumático sin aislante .....	105
XXV.	Resultados para tránsito (ciudad) en cajón patrón sin cubierta.....	106
XXVI.	Resultados para discoteca en cajón patrón sin cubierta .....	108
XXVII.	Resultados para martillo neumático en cajón patrón sin cubierta .....	109
XXVIII.	Resultados para tránsito (ciudad) en cajón con caucho sin cubierta .	111
XXIX.	Resultados para discoteca en cajón con caucho sin cubierta .....	112
XXX.	Resultados para martillo neumático en cajón con caucho sin cubierta. ....	114
XXXI.	Resultados para tránsito (ciudad) en cajón patrón con cubierta .....	116
XXXII.	Resultados para discoteca en cajón patrón con cubierta .....	117
XXXIII.	Resultados para martillo neumático en cajón patrón con cubierta .....	119
XXXIV.	Resultados para tránsito (ciudad) en cajón con caucho y cubierta ....	120
XXXV.	Resultados para discoteca en cajón con caucho y cubierta.....	122
XXXVI.	Resultados para martillo neumático en cajón con caucho y cubierta .	123



## LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
cm	Centímetro
dB	Decibeles o decibelios
$\sigma$	Esfuerzo o resistencia
g	Gramo
kg	Kilogramo
L	Litro
MPa	Mega pascales
m	Metro
m <sup>2</sup>	Metro cuadrado
m <sup>3</sup>	Metro cúbico
mL	Mililitro
mm	Milímetro
%	Porcentaje
PSI	<i>Pound-force per Square Inch</i> (Libra-fuerza por pulgada cuadrada)
Q	Quetzal (moneda)
f'c	Resistencia de diseño a compresión del concreto



## GLOSARIO

<b>Absorción acústica</b>	Propagación de ondas sonoras sobre una superficie disipando la energía sonora a través de absorción por parte del material que la compone.
<b>Agregado</b>	Material inerte sujeto a trituración, disgregación y tamizado de origen pétreo utilizado en la construcción como componente de la mezcla para concreto.
<b>Aislamiento acústico</b>	Capacidad de un elemento para reflejar las ondas sonoras que chocan contra el mismo evitando la transferencia de energía entre un ambiente y otro.
<b>Asentamiento</b>	Distancia entre la varilla de acero y la masa de concreto fresco durante la prueba de revenimiento.
<b>Bachada</b>	Cantidad de mezcla de concreto que se prepara durante un ciclo del mezclador en las plantas de tipo discontinuo o por peso.
<b>Carga axial</b>	Fuerza que actúa a lo largo del eje longitudinal de un miembro estructural aplicada al centroide de la sección transversal del mismo produciendo un esfuerzo uniforme.

<b>Chip</b>	Producto obtenido del proceso de trituración de un material, en diferentes tamaños.
<b>Contaminación acústica</b>	Exceso de sonido que altera las condiciones normales del ambiente de una determinada zona.
<b>Curado</b>	Acondicionamiento de elementos de concreto para que mantenga sus condiciones de humedad evitando la aparición de grietas por el calor de hidratación que genera.
<b>Densidad</b>	Magnitud escalar referida a la cantidad de masa en un determinado volumen de una sustancia.
<b>Ensayo</b>	Prueba que se hace para determinar si una cosa funciona o resulta como se desea.
<b>Fraguado</b>	Proceso de endurecimiento y pérdida de plasticidad del concreto, producido por la desecación y recristalización de los elementos químicos del cemento al reaccionar con el agua.
<b>Frecuencia</b>	Magnitud que mide el número de repeticiones por unidad de tiempo de cualquier fenómeno o suceso periódico.
<b>Granulometría</b>	Es la distribución de los tamaños de las partículas de un agregado determinada por análisis de tamices.

<b>Hidrocarburos</b>	Compuestos orgánicos, en la tierra, formados únicamente por átomos de carbono e hidrógeno, como el petróleo y derivados.
<b>Impedancia</b>	Resistencia que opone un medio a las ondas que se propagan sobre este, es decir una forma de disipación de energía de las ondas que se desplazan en un medio.
<b>Llanta</b>	Pieza toroidal de caucho que se coloca en las ruedas de diversos vehículos y máquinas. Su función principal es permitir un contacto adecuado por adherencia y fricción con el pavimento, posibilitando el arranque, el frenado y la guía.
<b>Matraces</b>	Recipientes de vidrio, generalmente de forma esférica y con un cuello recto y estrecho, que se usan en los laboratorios para contener y medir líquidos.
<b>Palletes</b>	Tiras de caucho obtenidos por medio de cortadoras para facilitar la manipulación de las llantas en procesos de trituración.
<b>Paneles</b>	Planchas prefabricadas de diversos materiales que se usan en construcción para dividir o separar espacios verticalmente.

<b>Polvo de llanta</b>	Partículas sólidas muy finas presentes en la granulación del caucho molido como producto del desgaste mecánico de un neumático.
<b>Ponderación</b>	Peso o relevancia que tiene algo, prestando atención y consideración a las cualidades que caracterizan un fenómeno a medir o calcular.
<b>Rigidez</b>	Capacidad de resistencia de un cuerpo a doblarse o torcerse por la acción de fuerzas exteriores que actúan sobre su superficie.
<b>Sistema tipo cajón</b>	Arreglo entre placas verticales (muros) y placas horizontales (losas) que generan gran resistencia y rigidez lateral al disponer los muros en ambas direcciones.
<b>Torón</b>	Elemento de acero formado por un número de alambres según su función, que son enrollados helicoidalmente alrededor de un centro, en una o varias capas.
<b>Trituración</b>	Proceso para reducir el tamaño de las partículas de un material por la molienda, produciendo una composición homogénea libre de impurezas.
<b>Vibración</b>	Propagación de ondas elásticas produciendo deformaciones y tensiones sobre un medio continuo o posición de equilibrio.

## RESUMEN

El polvo de llanta es producto de la trituración mecánica de neumáticos de caucho que ya no cumplen con su función original. Se consideran materia prima para transformarlo en gránulos por medio de máquinas especiales. Esta investigación se basa en la necesidad de implementar nuevas tecnologías en la construcción mediante el reuso de materiales considerados como desecho, promoviendo su reciclaje al disponer de ellos como componentes funcionales en proyectos de ingeniería.

Se llevan a cabo una serie de ensayos de laboratorio, regidos por normas que controlan la calidad de los materiales convencionales en mezclas de concreto, para tratar el polvo de llanta como un agregado fino en la elaboración de elementos de este tipo, sin alterar de manera considerable, las propiedades que los caracterizan, como su seguridad, durabilidad y economía.

Los resultados de los ensayos realizados en el Centro de Investigaciones de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, permiten considerar al material en estudio como una adición para construir paneles sometidos a pruebas de sonido y medir su capacidad de aislamiento acústico, con las cuales se determina una reducción de los niveles de ruido en comparación con elementos de concreto convencional.



# OBJETIVOS

## General

Desarrollar una investigación del polvo de llanta, producto de la trituración de caucho, como un agregado para la elaboración de paneles de concreto aislantes de sonido, considerándolo material de reciclaje.

## Específicos

1. Analizar las características físicas y propiedades mecánicas del polvo de llanta contempladas en las normas ASTM respecto a agregados finos.
2. Determinar la granulometría y densidades del polvo de llanta para su caracterización dentro de una mezcla de concreto.
3. Realizar ensayos al concreto fresco y endurecido de una muestra patrón, como base comparativa en la experimentación.
4. Definir, por medio de mezclas con varias proporciones, el porcentaje adecuado de caucho que no afecte la funcionalidad de los paneles.
5. Construir un sistema tipo cajón a escala de concreto patrón y otro con la adición de caucho para las pruebas de sonido.
6. Medir las reducciones de los niveles de ruido producidos en ambos sistemas para tres escenarios diferentes de las pruebas de sonido.



## INTRODUCCIÓN

Con la reutilización de llantas como materiales agregados en elementos de concreto con fines de reciclaje, se desarrolló una investigación por medio de pruebas de laboratorio para la elaboración de paneles de concreto que funcionen como aislantes de sonido. Para ello, se verificó que el material adicionado a la mezcla tenga características similares a las de un agregado fino, basándose en los parámetros técnicos especificados por las normas Coguanor, análogas a las ASTM, referentes al concreto.

Se tomó como base experimental el polvo de llanta, producto de la trituración del granulado de caucho molido, para añadirse a una mezcla en un porcentaje definido en la elaboración de los paneles, sin alterar drásticamente las propiedades que debe tener un concreto funcional. Los ensayos se llevaron a cabo en el Centro de Investigaciones de Ingeniería. Estos reflejaron la viabilidad de utilizar dicho material como una adición a la mezcla para poner a prueba sistemas tipo cajón, midiendo la capacidad de aislamiento acústico en diferentes escenarios de simulación de ruido. El propósito es propiciar otro campo de aplicación para el reúso de neumáticos y brindar una mejor disposición de este material que posee un período de degradación muy largo, disminuyendo focos de contaminación en el ambiente.



# **1. MARCO TEÓRICO**

## **1.1. Llantas o neumáticos**

### **1.1.1. Definición**

Una llanta es un aro concéntrico, llena de aire a presión en su interior, para brindarle amortiguación, facilidad de movimiento y rapidez a un vehículo. Generalmente, están hechas de caucho (natural o mayormente sintético) y de diferentes componentes o aditivos para darle las propiedades necesarias de adherencia y mejorar la fricción al entrar en contacto con la carpeta de rodadura de una carretera al estar en movimiento.

### **1.1.2. Tipos**

Por su construcción existen tres tipos de neumáticos:

- **Diagonales.** Se compone de distintas capas de material que se colocan de forma diagonal, unas sobre otras.
- **Radiales o con radios.** Las capas de material se colocan unas sobre otras en línea recta, sin sesgo. Este sistema permite dotar de mayor estabilidad y resistencia a la cubierta.
- **Autoportante.** Las capas de material se colocan unas sobre otras en línea recta, sin sesgo, también en los perfiles. Este sistema permite dotar de mayor resistencia a la cubierta, aunque es menos confortable por ser

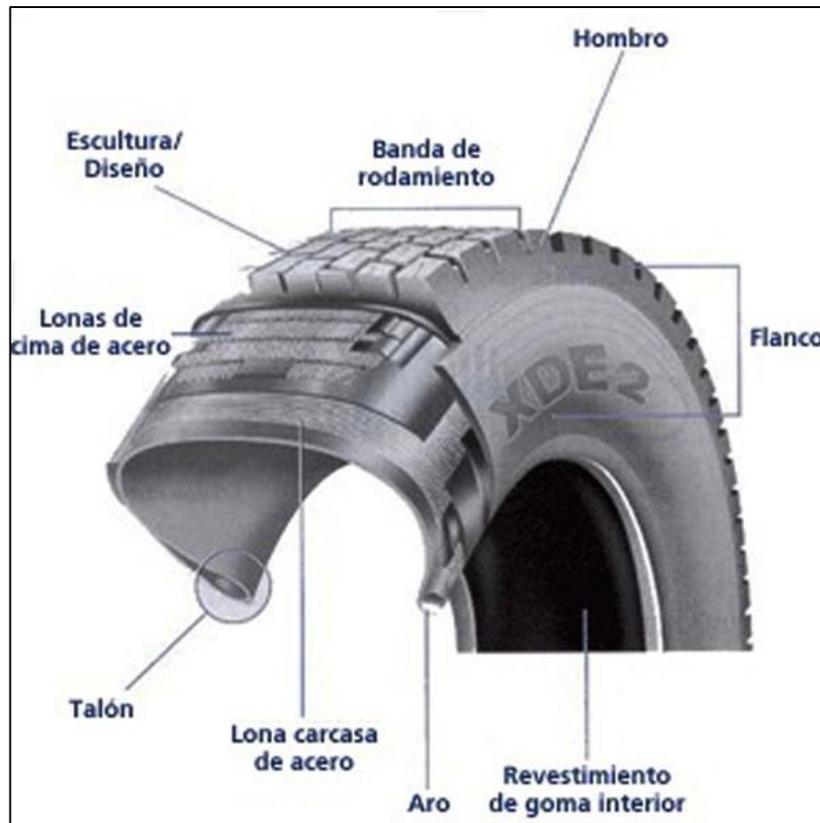
más rígida. Se usa en vehículos deportivos y tiene la ventaja de poder rodar sin presión de aire a una velocidad limitada, sin perder su forma.

Según su uso de cámara pueden ser:

- Neumáticos *tubetype* (TT). Aquellos que usan cámara y una llanta específica para ello. No pueden montarse sin cámara. Se usan en algunos 4x4, y vehículos agrícolas.
- Neumáticos *tubeless* (TL) o sin cámara. Estos neumáticos no emplean cámara. Para evitar la pérdida de aire tienen una parte en el interior del neumático llamada talón que, como tiene unos aros de acero en su interior, evitan que se salga de la llanta. La llanta debe ser específica para estos neumáticos. Se emplea prácticamente en todos los vehículos.
- Ruedas semineumáticas. Son neumáticos solo de goma aplicados para vehículos pequeños como *trollys* o coches de pedales.

### 1.1.3. Estructura de una llanta o neumático

Figura 1. Estructura de una llanta o neumático



Fuente: Valan Llantas. Llantas radiales. [www.valanllantas.com/llantas-radiales](http://www.valanllantas.com/llantas-radiales). Consulta: abril de 2015.

- Revestimiento de goma interior. Es una capa de caucho sintético que se encuentra en el interior del neumático y funciona como cámara de aire.
- La carcasa. Es una estructura flexible formada por hilos (textiles o de acero) embutidos en goma, que forman arcos rectos y se enrollan en el

aro del talón del neumático. Sobre la carcasa se colocan el resto de lonas y capas de goma que conforma el neumático.

- Zona baja. Tiene el papel de transmitir el par motor (potencia del vehículo) en la aceleración y en la frenada de la llanta hacia la zona de contacto con el suelo.
- Aro de talón. Es la parte de la cubierta que se fija y ajusta a la llanta. Está formado por un cable de acero inextensible, de forma y proporción variable según la dimensión y tipo de neumático. En él se enrolla la lona carcasa.
- Flanco o perfil. El flanco es la zona comprendida entre la banda de rodadura y los talones de la cubierta. El flanco representa la altura de la cubierta.
- Lonas de cima. Están constituidas por cables metálicos revestidos de goma. Se posicionan sobre la carcasa formando un cinturón que garantiza la resistencia mecánica del neumático a la velocidad y a la fuerza centrífuga.

Las lonas que forman el cinturón se cruzan oblicuamente y se pegan una encima de la otra. El cruce de sus hilos con los de la carcasa forma triángulos indeformables, que garantizan la rigidez de la cima.

- Banda de rodadura. Es la parte del neumático que está en contacto con el suelo y está formada por una capa de goma en la que se realizan una serie de ranuras que dan origen al dibujo o escultura.

#### 1.1.4. Características

La llanta o neumático se compone, principalmente, por caucho (natural y sintético), un torón de acero y fibras textiles. Según el tipo de transporte se clasifican de la siguiente manera:

Tabla I. **Composición de la llanta o neumático**

<b>Material de la llanta</b>	<b>Llanta de autos</b>	<b>Llantas de camiones y microbuses</b>
Caucho natural	14 %	27 %
Caucho sintético	27 %	14 %
Negro de humo (carbono)	28 %	28 %
Acero	14 - 15 %	14 – 15 %
Otros aditivos	16 - 17 %	16 – 17 %
Peso promedio (óxidos, etc.)	8,6 kg	45,4 kg

Fuente: CARRANZA, Jaime Domingo. SALAZAR, Doreen B. *Guía práctica para municipalidades sobre re-uso de llantas*. p 2.

La composición química de las llantas se presenta en el siguiente cuadro:

Tabla II. **Composición química de las llantas**

<b>Elemento o Compuesto</b>	<b>Porcentaje</b>
Carbono (C)	70
Hidrógeno (H)	7
Azufre (S)	1,3
Cloro (Cl)	0,2 – 0,6
Hierro (Fe)	15
Óxido de Zinc (ZnO)	2
Dióxido de Silicio (SiO <sub>2</sub> )	5
Cromo (Cr)	97 ppm (mg/L)
Níquel (Ni)	77 ppm (mg/L)
Plomo (Pb)	60 – 760 ppm (mg/L)
Cadmio (Cd)	5 – 10 ppm (mg/L)
Talio (Tl)	0,2 – 0,3 ppm (mg/L)

Fuente: CARRANZA, Jaime Domingo. SALAZAR, Doreen B. *Guía práctica para municipalidades sobre re-uso de llantas*. p 2.

## **1.2. Problemática ambiental provocada por las llantas como residuo**

Las llantas usadas presentan problemas asociados con su manejo, como material de desecho o residuo sólido debido a la resistencia que tienen para su trituración, compactación y su durabilidad. Esto dificulta su procesamiento en materias primas para aprovechar todas las partes que la componen. También afectan su almacenamiento y transporte por el volumen que ocupan debido a las diferentes dimensiones en las que se fabrican. Por esta razón, se complica

su disposición adecuada. Generalmente, se encuentran almacenadas en vertederos al aire libre. También se queman para deshacerse de ellas o, erróneamente, para utilizarlas como combustible. Esta acción incrementa la contaminación que se pretendía reducir.

### **1.2.1. Almacenamiento de llantas al aire libre**

Las llantas almacenadas a la intemperie o acumuladas en vertederos no controlados, en terrenos baldíos, patios, orillas de carreteras, etc. ocupan un área significativamente grande. Por este motivo, muchos basureros municipales y rellenos sanitarios de la capital no admiten que se depositen en ellos. Estos productos también presentan un elevado riesgo de incendio porque algunos de sus materiales son inflamables, sumado a su bajo nivel de degradación.

Además, al estar expuestas a la intemperie, constituyen focos de infección por la acumulación de pequeños volúmenes de agua, suficientes para la proliferación de vectores que transmiten enfermedades, como dengue, paludismo e infecciones gastrointestinales que representan serios problemas para la salud de los humanos, dadas las precarias condiciones de los hospitales y centros de salud. Las llantas almacenadas a la intemperie también son criaderos de plagas de roedores, reptiles, arácnidos, etc. como otro factor de riesgo para el bienestar de poblaciones cercanas a los lugares donde se depositen.

### **1.2.2. Combustión de llantas**

La quema de llantas a cielo abierto provoca graves problemas ambientales. Las emisiones de gases contienen agentes cancerígenos y pueden producir mal formaciones en el desarrollo de los niños. Esto sucede

porque los compuestos orgánicos e hidrocarburos volátiles contaminan el aire y se valen de él para contaminar lugares alejados de donde se provocó el incendio; obviamente, el daño en las cercanías es de mayor magnitud.

La combustión controlada en hornos cementeros, aunque cuenten con un programa para la quema, siempre genera dioxinas, contaminantes muy tóxicos y persistentes que se acumulan en el tejido humano, aunque la fuente se localice en un lugar alejado. Los químicos que se generan por estas quemas también afectan el ambiente con lluvias ácidas, calentamiento de la atmósfera, deterioro de la capa de ozono e inversiones térmicas.

De los elementos que componen una llanta, los que mayor daño provocan al ambiente y a los seres vivos son:

- Partículas suspendidas. Comprenden un rango de sólidos y líquidos suspendidos que viajan en el aire. Son suficientemente pequeñas como para entrar en las vías respiratorias y causar enfermedades relacionadas. En el ambiente se origina la erosión del suelo destruyendo la capa de vegetación, microorganismos que se adhieren al polvo y que contaminan el aire.
- Óxidos de azufre ( $\text{SO}_x$ ). Son los componentes de las lluvias ácidas, las cuales se forman cuando arrastran el ácido suspendido en el ambiente. De esta manera se combina el ácido sulfúrico con vapor de agua del aire. Estos compuestos dañan los cultivos por causar daños irreversibles en el tejido de las plantas, sobre todo en exposición al sol.
- Monóxido de carbono ( $\text{CO}$ ). Se produce por cualquier medio de combustión, es un gas incoloro, sin sabor e inodoro, químicamente inerte

en pequeñas concentraciones pero en elevadas cantidades afecta seriamente al sistema respiratorio.

Sumado con el dióxido de carbono calientan la atmósfera causando el efecto invernadero y su presencia en el ambiente reduce las cantidades de oxígeno, dañando órganos vitales de los seres vivos en condiciones extremas.

- Óxidos de nitrógeno ( $\text{NO}_x$ ). En contacto con el agua forman ácidos que afectan a la composición de la lluvia dañando al ambiente y a las personas. También reducen la capacidad de transporte de oxígeno de los seres vivos e irritan zonas pulmonares importantes para llevar a cabo la respiración. Este gas puede ser fatal a concentraciones elevadas.
- Plomo (Pb). Se produce por la combustión de gasolinas, pinturas, barnices, fundiciones, refinerías, entre otras. Es considerada uno de los contaminantes más peligrosos y sus efectos van desde irritaciones, cansancio y agotamiento, hasta problemas neurológicos y de comportamiento. Debido a su gran volatilización llega a regiones alejadas de la fuente de generación por acción del viento y se deposita en el suelo, agua y vegetación.
- Dioxinas. Se les conoce con este nombre a dos compuestos químicos distintos: los policlorinados dibenceno-p-dioxinas (PCDDS) y los policlorinados dibenceno furanos (PCOFS); existen alrededor de 220 compuestos dentro de la familia de las dioxinas. Se generan por la combustión de cualquier tipo de plástico y materiales sintéticos donde las sustancias que los componen entran en contacto con partículas de cloro, causando serios daños a la salud, como malformaciones congénitas,

desarrollo anormal del feto, alteraciones en el sistema inmunológico y en el hormonal, desórdenes de comportamiento y aumento de diabetes, retraso en el desarrollo y cáncer.

### **1.3. Principales aplicaciones para llantas en desuso o consideradas como desecho**

#### **1.3.1. Reúso de llantas enteras**

Profesionales de diversas áreas técnicas y personas particulares que se dedican a reutilizar llantas enteras que cumplieron su período de vital útil, presentan algunas aplicaciones citadas a continuación:

- Como muros de contención en precipicios o barrancos cercanos a viviendas. Es una de las mejores opciones desde el punto de vista económica, ambiental y social. Estos muros evitan la erosión y se integran al suelo y permitiendo la revegetación de los taludes.
- En parques infantiles para columpios, túneles, redes, saltadores, resbaladeros, etc.
- Chimeneas para gas metano en rellenos sanitarios.

Entre otros reúsos se tienen:

- Como refuerzos o contrapeso en techos de viviendas de personas con escasos recursos económicos.
- Fábricas y galeras.
- Bebederos para aves o mamíferos.
- Macetas y ornamento de parques municipales.
- Bardas protectoras de árboles frutales.

- Relleno para grietas en caminos de terracería.
- Bardas amortiguadoras en puertos para todo tipo de embarcaciones.
- Como material de construcción para corrales, galpones o establos.
- Como material de construcción para viviendas de bajos recursos.
- Como material dispersor para fosas sépticas, para drenar terrenos, en hipódromos para amortiguar golpes y vibraciones.
- Para viviendas de perros.
- Como material para campos de entrenamiento para personal militar o policiaco.
- Para suelas de zapato.

### **1.3.2. Reúso de llantas cortadas o trituradas**

Un buen porcentaje de las llantas son cortadas o trituradas en pedazos de diferentes tamaños. Industrializar este proceso no es sencillo, pues el acero de las llantas dificulta realizar los cortes, aunque se reducen costos de transporte y almacenamiento abriendo un mercado más grande para el reúso de llantas con estas características. Entre las aplicaciones se cuenta con:

- Material de cobertura para rellenos sanitarios, con tamaños de 10 cm en adelante.
- Sistemas de lixiviados en rellenos sanitarios.
- Relleno para sistemas de ventilación de gas metano en rellenos sanitarios.
- Sistemas de infiltración para efluente de fosas sépticas.
- Rellenos para muros de contención de carreteras; colocando una geomembrana debajo y encima de los pedazos de llanta y un mínimo de 0,90 m de tierra natural entre el caucho y la carretera.

- Como macetas o huertos: se extrae parte de la llanta y se coloca un costal de polipropileno con la forma del recipiente, esto funciona como material filtrante.
- Mejoramiento de condiciones para impermeabilizar superficies.
- Para la elaboración de grama sintética.
- Como componente en pavimentos asfálticos y de concreto.
- Elementos de concreto, como en adoquines.

De acuerdo con las diversas aplicaciones, el número de disposiciones para el elemento sin transformarse en partículas más pequeñas tiene mayor campo que cuando se trituran o cortan las llantas para obtener materia prima. Como se dijo anteriormente. Uno de los inconvenientes es el proceso que ello implica por la presencia de fibras de acero y torones que brindan estabilidad y rigidez al elemento.

Por esta razón, la propuesta de emplear polvo de llanta para mezclas de concreto en la elaboración de paneles aislantes de sonido toma en cuenta estas restricciones. Por ello, se utiliza el material granulado de caucho molido procedente de una planta recicladora de llantas dedicada a esta tarea, los restos de acero y fibras se dejan para otras aplicaciones.

#### **1.4. El sonido**

El sonido es la impresión o sensación producida en el oído por un conjunto de vibraciones que se propagan por un medio elástico, como el aire. Cualquier fenómeno que involucre ondas mecánicas audibles o no, a través de un fluido elástico que genere un movimiento vibratorio de un cuerpo se considera como tal.

Los sonidos, ligados a las ondas sonoras y acústicas varían según sus frecuencias. Existen los agudos o de frecuencias altas y los graves o de frecuencias bajas. Estos repercuten de diferentes maneras en el sujeto que los percibe.

#### **1.4.1. El ruido y sus tipos**

De acuerdo con los conceptos anteriores, el ruido puede definirse como una sensación, generalmente desagradable, percibida por el oído. El ruido puede dañar el sistema auditivo cuando la intensidad es alta. Por la manera en que se transmite el ruido puede clasificarse en: ruido aéreo y de impacto.

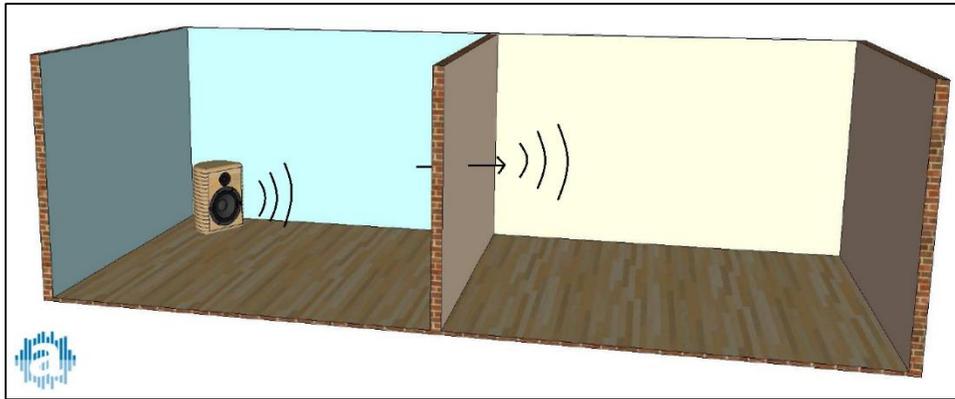
##### **1.4.1.1. Ruido aéreo**

Es el que se genera por la perturbación del aire que rodea a las fuentes sonoras. Las ondas que se producen chocan contra otras superficies que entran en vibración y alteran nuevamente el aire circundante, dando lugar a un nuevo foco de emisión de sonido.

Generalmente, se debe a un aislamiento acústico insuficiente o a que el emisor supere los niveles de sonido para los que está diseñado el lugar.

Para solucionar este tipo de problemas se opta por aumentar el aislamiento de los ambientes. Sin embargo, los costos son altos y se pierde espacio. La mejor opción es controlar los niveles de ruido de las fuentes generadoras.

Figura 2. **Comportamiento del ruido aéreo**



Fuente: OJER, Leire. Ingeniería acústica: *Tipos de ruido en edificación*.  
<http://www.ingenieriaacusticafacil.com/ingenieria-acustica-tipos-de-ruido-en-edificacion>.  
Consulta: 8 de noviembre de 2016.

#### **1.4.1.2. Ruido de impacto**

Se genera por los golpes que se producen en una superficie, generalmente una losa. Al golpear la superficie se genera vibración y se crea un foco sonoro. La vibración puede transmitirse a otras áreas, debido a la rigidez de los elementos constructivos del edificio y origina nuevos focos de emisión sonora.

Dado que se transmite por la estructura, llega a mayores distancias que el ruido aéreo por lo que las complicaciones se incrementan. La única forma de solucionar este tipo de ruidos es utilizando materiales que amortigüen dichos impactos para que la energía se disipe al máximo y se evite que la vibración llegue a la estructura.

Figura 3. **Representación del ruido de impacto**



Fuente: OJER, Leire. Ingeniería acústica: *Tipos de ruido en edificación*.  
<http://www.ingenieriaacusticafacil.com/ingenieria-acustica-tipos-de-ruido-en-edificacion>.  
Consulta: 8 de noviembre de 2016.

### **1.4.2. Aislamiento y absorción acústica**

El comportamiento del sonido ante una estructura depende de si utiliza sistema de aislamiento acústico o de absorción acústica. Aislar supone impedir que un sonido entre o salga del elemento. Este refleja la energía que llegue a él o, en caso contrario, la absorbe. La diferencia radica en si se protege un ambiente contra la penetración del ruido o se mejora su acústica. Esto último se conoce como acondicionamiento acústico, el cual controla el tiempo de reverberación.

La reverberación es el tiempo que transcurre entre la recepción directa de un sonido y las veces que “rebota” dentro de un recinto hasta que la energía de sus ondas se disipa.

En esta investigación se pretende utilizar los paneles con adición de polvo de llanta para mejorar la capacidad de aislamiento acústico del concreto. Para ello, se harán pruebas generando una fuente de sonido desde el interior de un cajón a escala.

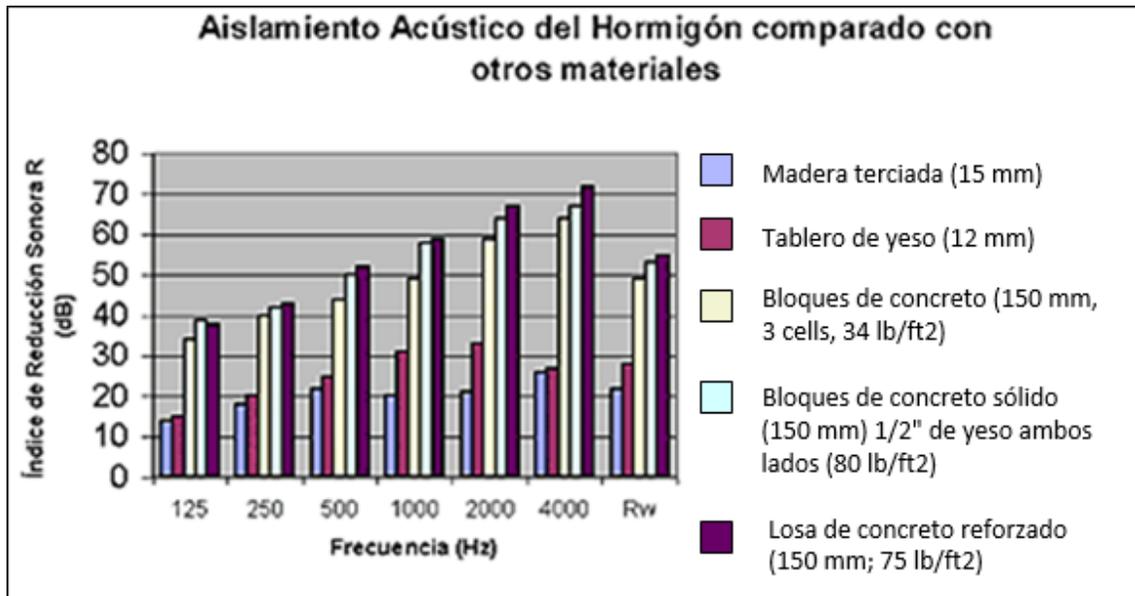
### **1.4.3. Propiedades acústicas del concreto**

Debido al aumento de la contaminación acústica, la demanda de espacios acústicos con niveles menores de ruido se ha incrementado. Para mitigar esa situación se toma en cuenta la reducción del ruido desde el exterior, en este caso, los elementos principales son las fachadas y el techo, mientras que en el interior son los muros de división entre ambientes de domicilios.

El concreto carece de la capacidad de absorber sonido porque no posee un coeficiente de absorción que lo permita, por lo cual una construcción de concreto genera espacios excesivamente reverberantes en su interior.

El concreto, a diferencia de otros materiales, presenta grandes ventajas con relación al aislamiento acústico. Su gran masa, al tener densidades mayores a los  $2000 \text{ kg/m}^3$ , ofrece índices de reducción de más de  $R_w = 50$ . En la figura 4 se muestra el comportamiento de obras realizadas en concreto comparadas con otras soluciones típicas.

Figura 4. **Propiedades acústicas del concreto (hormigón)**



Fuente: EMB, Construcción. *Las propiedades acústicas del hormigón.*

[www.emb.cl/construccion/las-propiedades-acusticas-del-hormigon](http://www.emb.cl/construccion/las-propiedades-acusticas-del-hormigon). Consulta: Octubre de 2016.

La elevada rigidez que se puede alcanzar con el concreto representa un excelente grado de aislamiento acústico frente a sonidos de bajas frecuencias, mientras que su bajo factor de amortiguamiento interno hace que no ofrezca un buen grado de aislamiento ante el ruido de impacto.

#### 1.4.4. Instrumentos de medición de ruido

El ruido se puede medir por medio de la cuantificación del nivel de presión sonora que posea. El nivel de presión sonora determina la intensidad del sonido generado cuando se alcanza a un receptor. Se mide en decibelios o decibeles (dB) y varía entre 0 dB marcado como el umbral de audición y 120 dB umbral de dolor.

Para realizar esta tarea se utiliza un decibelímetro o sonómetro, que es el instrumento que mide los niveles de la presión del ruido en un momento y lugar determinados. Es muy importante saber que, al realizar las medidas, las causas y las fuentes de procedencia del ruido son muy diversas, por lo que es necesario distinguir el tipo de ruido que se quiere analizar.

Existen diferentes tipos de sonómetros que pueden utilizarse en función de la precisión y naturaleza del estudio que se lleve a cabo, para obtener datos congruentes con lo que se realice.

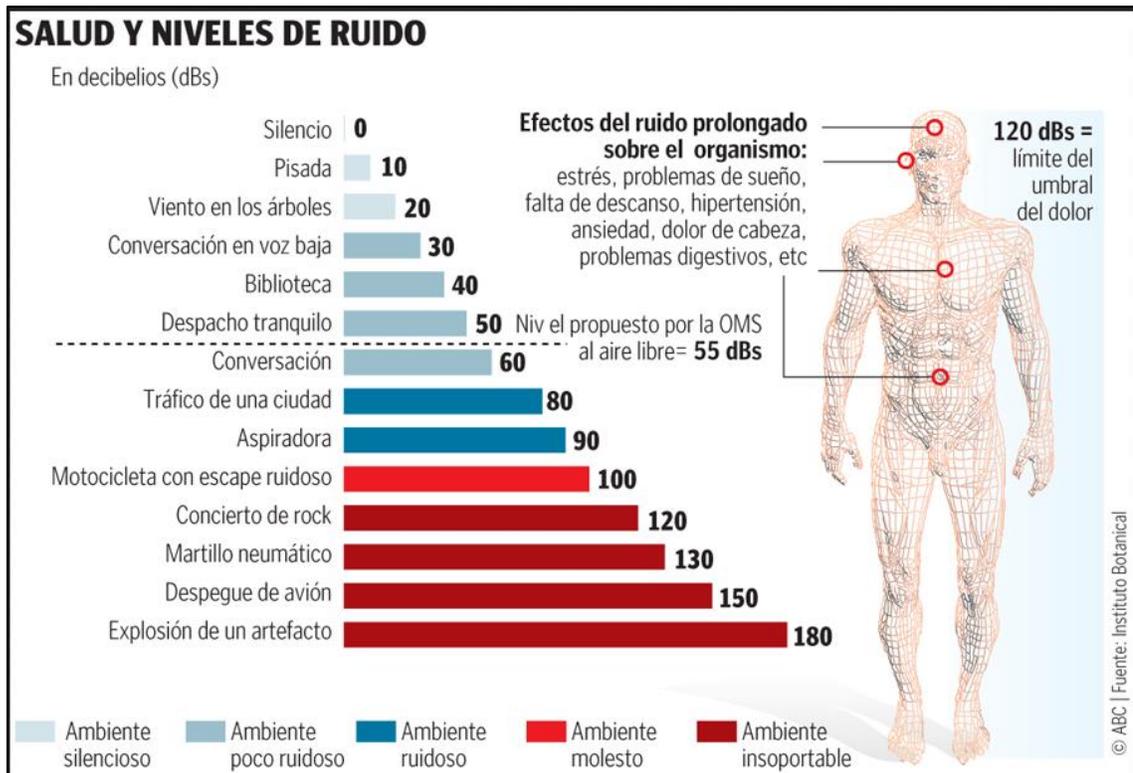
Los sonómetros según las normas internacionales son:

- Clase 0. Se utiliza en laboratorios para obtener niveles de referencia.
- Clase 1. Permite el trabajo de campo con precisión.
- Clase 2. Para realizar mediciones generales en los trabajos de campo.
- Clase 3. Es el menos preciso y solo permite realizar mediciones aproximadas, se utiliza para hacer reconocimientos.

#### **1.4.5. Niveles de ruido**

Cada sonido que se genera posee un nivel, medido en decibeles, definido por las frecuencias que lo caracterizan y pueden clasificarse según sean más molestos o dañinos que otros. La Organización Mundial de la Salud (OMS) plantea recomendaciones y límites para considerar niveles de exposición de ruido que no afecten a la salud. Para ello, toman como base que una persona puede soportar un nivel de exposición entre 50 y 60 dB durante el día sin rebasar la capacidad auditiva del individuo.

Figura 5. Clasificación de los niveles de ruido según la OMS



Fuente: HISCO. *Equipos de protección auditiva en los centros de trabajo con generación de ruido.* <http://hiscomexico.com/wp-content/uploads/2013/02/Niveles-del-ruido.jpg>. Consulta: 14 de noviembre de 2016.

- 0 – 50 dB no causa daños
- 50 – 90 dB puede causar perturbación
- 90 – 130 dB daño permanente e irreparable en la audición
- + 130 dB pérdida súbita de la capacidad auditiva y dolor.

#### **1.4.6. Medición de niveles de ruido**

El oído humano tiene un rango dinámico tan amplio que se diseñó la escala de decibelios (dB) para expresar los niveles de sonido que percibe. Esta escala es logarítmica porque la relación entre el sonido más suave y el más alto que se puede experimentar sin daños es de aproximadamente un millón a uno ( $1:10^6$ ). Al utilizar una escala logarítmica de base 10, es posible describir el rango de audición humana de manera más conveniente que va de 0 dB (umbral de audición normal) a 140 dB (umbral del dolor).

Dicha escala indica que al doblar la presión sonora (o energía del sonido) el índice se multiplica aproximadamente por 3. Así pues, un nivel de sonido de 100 dB(A) contiene el doble de energía que uno de 97 dB(A). Por lo tanto, si se aumenta 10 veces la cantidad de dB(A), entonces se dobla la intensidad de sonido subjetivamente.

##### **1.4.6.1. Escalas de medición (L y A)**

Existen dos clases de escalas para medir los niveles de presión sonora. La escala dB (L) o simplemente L, contempla que todas las frecuencias audibles tienen un mismo valor de volumen, pero el oído humano no puede percibir todas las frecuencias bajo esta condición, presentando dificultad para escuchar sonidos de muy bajas y muy altas frecuencias.

Por esto se utiliza la escala dB (A), que utiliza un filtro de ponderación aproximando el volumen a valores de mayor precisión para el oído humano. Esta escala fue adoptada por la Administración de Seguridad y Salud Ocupacional (OSHA por sus siglas en inglés), en 1972 como método universal para la descripción de niveles de sonido.

La escala dB (A) mide la intensidad de sonido en todo el rango de las diferentes frecuencias audibles (diferentes tonos) y, posteriormente, utiliza un sistema de ponderación teniendo en cuenta que el oído humano tiene una sensibilidad diferente a cada frecuencia de sonido. Generalmente, se oye mejor a frecuencias medias (rango vocal) con valores entre 1 000 y 4 000 Hz que a bajas o altas frecuencias. El sistema de dB(A) dice que la presión sonora a las frecuencias más audibles debe multiplicarse por valores altos, mientras que las frecuencias menos audibles son multiplicadas por valores bajos, y así se obtiene un índice numérico.

Figura 6. **Niveles admisibles de ruido en el entorno ambiental**

<b>Zonas de ruido:</b>	<b>Pico en horario diurno db(A)</b>	<b>Pico en horario nocturno db(A)</b>	<b>Continuo en horario diurno db(A)</b>	<b>Continuo en horario nocturno db(A)</b>
Urbano – Residencial	62	52	57	47
Suburbano – Residencial	57	47	52	42
Suburbano muy silencioso o Residencial rural	52	42	47	37
Urbano – Industria cercana	67	57	62	52
Industria pesada	72	62	67	57

**Reglamentaciones representativas del nivel de ruido en el exterior**

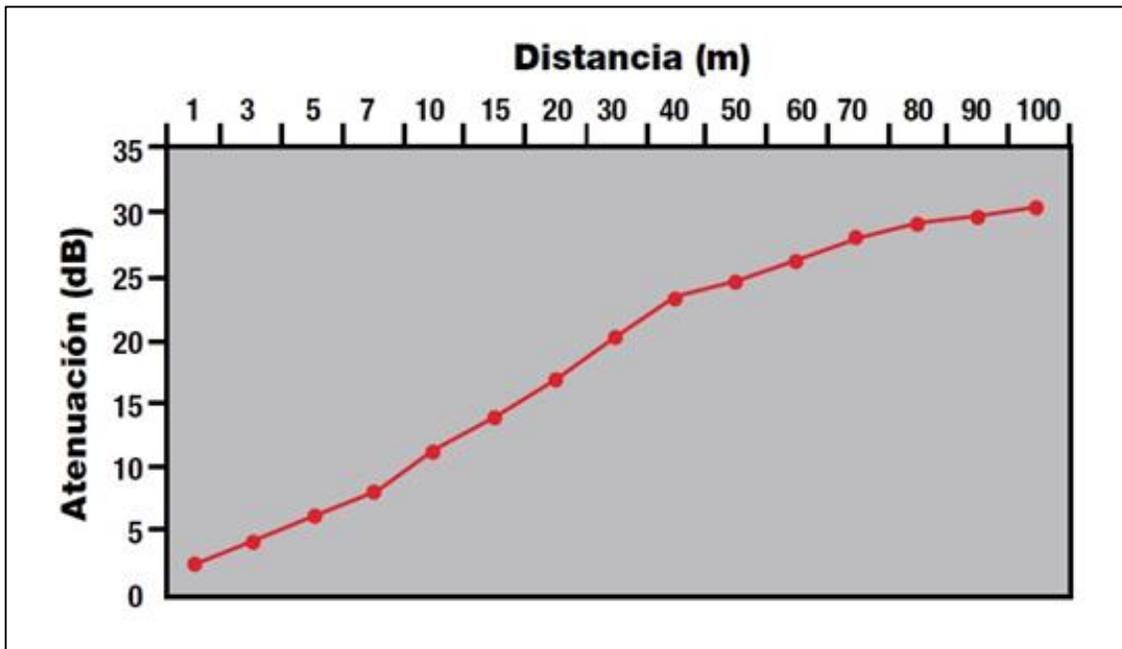
BRAVO

Fuente: Generadores eléctricos, BRAVO, SL. <http://www.gebravo.com/images/zonas-de-ruido.jpg>. Consulta: 15 de noviembre de 2016.

### 1.4.7. Comportamiento del sonido con la distancia

El nivel sonoro disminuye aproximadamente en 6 dB(A) [=  $10 * \log_{10} (2)$ ], cada vez que se duplica la distancia a la fuente del sonido. Esta aproximación asume que la reflexión y absorción del sonido, si existen, se cancelan mutuamente. Dentro de una sala la reducción es menor.

Figura 7. Reducción del sonido en la distancia



Fuente: Generadores eléctricos, BRAVO, SL. <http://www.gebravo.com/images/sonido-reduccion-en-distancia.jpg>. Consulta: 15 de noviembre de 2016.

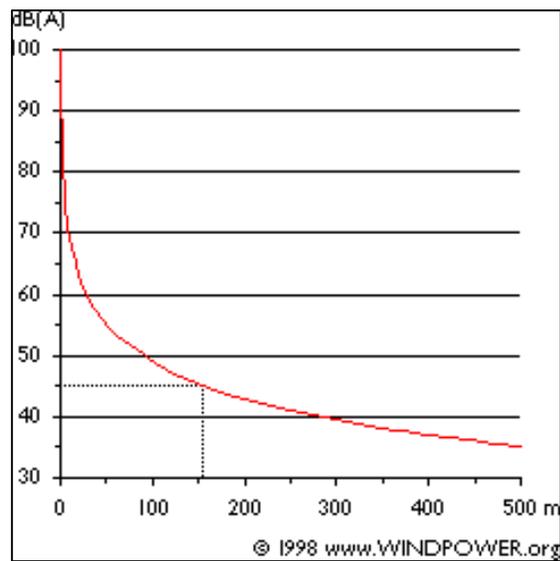
#### 1.4.7.1. Ley del inverso del cuadrado de la distancia

La energía de las ondas sonoras (y por tanto la intensidad del sonido) caerán con el cuadrado de la distancia a la fuente sonora. En otras palabras, si

se aleja 200 metros de una fuente de sonido, el nivel sonoro será un cuarto del que se tenía a 100 metros. Si se multiplica por 2 su distancia hará que el nivel de dB(A) se divida por 6.

En la práctica, la absorción y la reflexión del sonido (por superficies blandas y duras) pueden modificar los resultados.

Figura 8. **Decaimiento del nivel de ruido respecto a la distancia**



Fuente: Asociación danesa de la industria eólica. *Medición y cálculo de los niveles de ruido*.  
www.windpower.org. Consulta: 21 de noviembre de 2016.

Tabla III. Nivel sonoro respecto a distancia de la fuente

Distancia (m)	Cambio del nivel sonoro dB(A)	Distancia (m)	Cambio del nivel sonoro dB(A)	Distancia (m)	Cambio del nivel sonoro dB(A)
9	-30	100	-52	317	-62
16	-35	112	-53	355	-63
28	-40	126	-54	398	-64
40	-43	141	-55	447	-65
50	-45	159	-56	502	-66
56	-46	178	-57	563	-67
63	-47	200	-58	632	-68
71	-49	224	-59	709	-69
80	-50	251	-60	795	-70
89	-51	282	-61	892	-71

Fuente: Asociación danesa de la industria eólica. *Manual de referencia: acústica.*

[www.windpower.org](http://www.windpower.org). Consulta: 22 de noviembre de 2016.

Con base en la tabla III, si se tiene un nivel sonoro en la fuente de 100 dB(A), tendrá un nivel sonoro de 45 dB(A) 141 m. más allá. [100 – 55 dB(A) = 45 dB(A)].

#### 1.4.8. Normativas y regularización del ruido en Guatemala

Desde 2008, el Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales (MARN) menciona un reglamento sobre ruidos pero, ochos años después, aún no existe.

En la Ley de Protección y Mejoramiento del Medio Ambiente no se especifican mediciones ni sanciones por ruidos y bullicio.

Se establecieron reformas, como las hechas al Código Municipal en 2010, donde las comunas se hicieron cargo del control auditivo, para ello se establecieron multas desde Q. 500 hasta Q. 50 mil a cualquiera que opere un aparato de sonido, megáfonos o similares sin la debida licencia o con la caducidad de la misma. También la Ley de Tránsito establece multas de Q. 200 por circular en vehículos que tengan el silenciador o escape inadecuado. Menciona multas de Q. 300 a personas que produzcan sonidos estridentes con vehículos, bocinas y altavoces, sin especificar los decibeles.

El MARN informó en 2015 que ha registrado ruidos de hasta 150 dB por tránsito vehicular en la capital, las discotecas generan entre 130 y 160 dB; las iglesias de 80 a 100 dB y un transporte de carga de 115 a 130 dB.

Para el período del 2010 al 2015 el MARN recibió 755 quejas por bullicio, reportado en diferentes departamentos de la República.

Toda esta problemática causa contaminación acústica que afecta la salud de las personas y animales. Diferentes aspectos se ven involucrados cuando se enfrenta contaminación acústica, por ejemplo se padecen afecciones físicas (dolor de cabeza); psicológicas (estrés, insomnio y depresión); sociales (problemas de comunicación); psicopatológicas (dilatación de pupilas y párpados acelerados), Durante el embarazo produce efectos negativos, después de cinco meses de gestación.

La OMS sugiere que el gobierno promulgue leyes para controlar el ruido, producto de las diferentes actividades de recreación y movilización de un territorio, enfocando sus campañas en exponer los riesgos de perder la audición y creando conciencia de la importancia de ésta última.

#### **1.4.8.1. Disminución de ruido en el medio**

- Zonas industriales. Aislar las máquinas con encerramientos, recubrir paredes con material absorbente (fieltro, hule, corcho, espuma, silicón, engrudos orgánicos, etc.) transformando las ondas sonoras en calor. Distanciar al personal de la fuente sonora y utilizar protección cuando la exposición sea prolongada.
- Zonas residenciales. Bordear vías principales con árboles.

## **2. PANELES DE CONCRETO Y NORMAS QUE DEBEN CUMPLIR SUS COMPONENTES**

### **2.1. Paneles de concreto**

Son elementos de concreto armado para realizar el cerramiento de un edificio en que, debido a sus necesidades arquitectónicas, los módulos de elementos no tienen unas dimensiones dictadas por la tipología de los moldes industriales de fábrica, sino que son fabricados en moldes especiales hechos a medida para el proyecto específico.

Las dimensiones máximas son de 12,00 x 3,20 m., mientras que el espesor de los paneles está en función de su superficie. Normalmente se usan de 8, 10 y 12 cm. Para casos especiales pueden fabricarse con otros espesores. También debe limitarse el peso a 10 toneladas y se recomiendan superficies medias para paneles mayores o iguales a 10 m<sup>2</sup>.

Los paneles de concreto agilizan el tiempo de entrega, confieren estabilidad, resistencia y durabilidad a los edificios. Además, son fáciles de reciclar, por lo que se han convertido en un elemento fundamental en la construcción actual.

### **2.2. Normas que deben cumplir**

Como parte del control de calidad en la fabricación de paneles de concreto se exigen que los materiales componentes cumplan con normas que

especifican los ensayos y sus métodos para realizarlos. De esta manera se garantiza que los resultados sean los deseados.

## **2.2.1. Control de las materias primas del concreto**

### **2.2.1.1. Ensayos aplicados al agregado fino**

Se deben conocer las características físicas y químicas de las materias primas utilizadas en la elaboración del concreto. Se consideran aplicables las pruebas realizadas al agregado fino para el polvo de llanta, evaluadas con base en las normas dictadas por la *American Society for Testing and Materials* (ASTM), por su nombre en inglés. Las siguientes propiedades se mencionan a continuación.

### **2.2.1.2. Definición de agregados según norma NTG 41006 (ASTM C 125 – 88)**

De acuerdo con su tamaño, clasifica los agregados como gruesos y finos.

#### **2.2.1.2.1. Agregado fino**

Es el material que pasa a partir del tamiz # 4 hasta el tamiz # 100, y puede ser clasificado como arena natural, de canto rodado, manufacturada o una combinación.

#### **2.2.1.2.2. Agregado grueso**

También conocido como roca, pedrín, material granular o agregado mineral. Es el material cuyas partículas quedan retenidas en el tamiz # 4. Estos materiales no deben ser demasiado porosos ni de formas muy alargadas. Si el

material incluye formas planas o angulosas, el amasado y colocación del concreto es más complicado porque impide la adherencia adecuada y carece de uniformidad consistente. En cambio, si el agregado es triturado y cumple con los requisitos, se logra una mezcla con partículas bien acomodadas y la adherencia del concreto será óptima.

### **2.2.1.3. Análisis de las características físicas de los agregados finos**

Para analizar el agregado fino, es necesario conocer la densidad o peso específico para determinar, durante el diseño, si se desea concreto de baja o alta densidad. Un material débil, poroso y de alta absorción posee baja densidad, entonces, se debe corregir su dosificación.

Otro aspecto importante, es determinar la porosidad del agregado. Esto se refiere al espacio sin ocupar de la materia sólida en la partícula del elemento. Esta es una de las características de mayor importancia física del agregado porque influye en las otras propiedades. A su vez, determina la estabilidad química, resistencia a la abrasión, resistencias mecánicas, propiedades elásticas, gravedad específica, absorción y permeabilidad.

El peso unitario representa el peso que ocupa el agregado fino por unidad de volumen conocido.

A la medida de volumen expresado en porcentaje de los espacios entre las partículas del agregado, se le conoce como porcentaje de vacíos.

Por último, es necesario conocer la cantidad de agua superficial o humedad retenida por la partícula, ya que su influencia depende de la cantidad, en mayor o menor proporción, de agua necesaria para la mezcla de un concreto.

#### **2.2.1.4. Descripción de la norma NTG 41007 h1 [ASTM C – 33] (Especificación estándar para agregados del concreto)**

Esta especificación define los requisitos para la clasificación y la calidad de agregado fino y grueso (que no sea ligero o un agregado muy pesado) para su uso en el concreto. Por ello, se considera apropiada para determinar si el material satisface las condiciones y es apto para su utilización como agregado de un concreto para una obra civil.

##### **2.2.1.4.1. Graduación**

Según esta norma, el agregado fino se clasifica dentro de los límites que especifican los tamices con base en la norma ASTM E – 11

Tabla IV. **Límites de la granulometría para agregado fino según especificaciones de la norma NTG 41007 h1 (ASTM C-33)**

<b>Tamiz</b>	<b>Porcentaje que pasa</b>
3/8" (9.5 mm)	100
No. 4 (4.75 mm)	95 a 100
No. 8 (2.36 mm)	80 a 100
No. 16 (1.18 mm)	50 a 85
No. 30 (600 µm)	25 a 60
No. 50 (300 µm)	10 a 30
No. 100 (150 µm)	2 a 10

Fuente: elaboración propia, Norma ASTM C – 33.

El agregado fino no podrá tener más del 45 % de material que pasa por cualquier tamiz y retenido en el tamiz consecutivo siguiente de las indicadas en la tabla IV, y su módulo de finura no será inferior a 2,3 ni superior a 3,1. Si existe una variación de más de 0,20 del valor asumido al seleccionar las proporciones del concreto, deberá rechazarse, a menos que se realicen ajustes adecuados para compensar la diferencia de graduación.

A continuación, la tabla V muestra la clasificación de la arena, según su módulo de finura.

Tabla V. **Rangos de clasificación de la arena según su módulo de finura**

<b>Clasificación de la arena</b>	<b>Módulo de finura</b>
Gruesa	2,9 – 3,2
Media	2,2 – 2,9
Fina	1,5 – 2,2
Muy fina	1,5

Fuente: elaboración propia.

#### **2.2.1.4.2. Sustancias nocivas**

La cantidad de sustancias nocivas en el agregado fino no excederá de los límites prescritos en la siguiente tabla.

Tabla VI. **Límites para las sustancias nocivas en el agregado fino para el concreto**

<b>Sustancia</b>	<b>Porcentaje máximo del peso total de la muestra</b>
Trozos de arcilla y partículas friables	3,0
<b>Material más fino que el tamiz No. 200</b>	
Concreto sujeto a la abrasión	3,0 <sup>A</sup>
Cualquier otro tipo de concreto	5,0 <sup>A</sup>
<b>Carbón y lignito</b>	
Cuando la apariencia del concreto es importante	0,5
Cualquier otro tipo de concreto	1,0

Fuente: elaboración propia.

<sup>A</sup> En el caso de la arena manufacturada, si el material más fino que el tamiz No. 200 consiste en el polvo a causa de fractura, esencialmente libre de arcilla o de pizarra, estos límites podrán incrementarse un 5 y 7 %, respectivamente.

#### **2.2.1.4.3. Impurezas orgánicas norma NTG 41007 h1 (ASTM C – 33, C 87 – 83 y C 40 – 48)**

Las impurezas orgánicas se refieren a la cantidad o grado de contaminación que posee un material. Esta se determina por medio de la prueba colorimétrica. Los materiales sujetos a esta prueba serán considerados satisfactorios si su límite no es mayor a 3, según la escala del colorímetro; de lo

contrario, dicho material no es apto para utilizarlo como compuesto para el concreto, a menos que cumpla con alguna de las siguientes condiciones:

- Puede ser utilizado, si se comprueba que la decoloración que se produjo se debió a la presencia de pequeñas cantidades de carbón, lignito o similares.
- Es satisfactoria si su utilización posee propiedades adecuadas para la fabricación de morteros y, al mismo tiempo, al momento de su ensayo presente una resistencia no menor del 95% de su resistencia a la compresión después de 7 días.

Tabla VII. **Límites permisibles según prueba colorimétrica para materia orgánica**

<b>Escala de colorímetro</b>	<b>Características</b>
0 - 1	Arena excelente
1 - 2	Arena que se puede utilizar en concretos de alta resistencia
2 - 3	Arena que se utiliza en concretos de mediana resistencia
3 - 4	Arena que no se puede utilizar en concreto
4 - 5	Arena muy mala

Fuente: elaboración propia.

**2.2.1.5. Peso específico norma NTG 41010 h9 (ASTM C 128 – 88): Método de ensayo estándar para gravedad específica y absorción de agregado fino**

La densidad aparente es la característica que, generalmente, se utiliza para el cálculo del volumen ocupado por el agregado de varias mezclas que lo contengan, incluyendo concreto hecho con cemento Portland, concreto bituminoso y otras mezclas que son proporcionadas o analizadas sobre un volumen absoluto base.

Por ello, el peso específico de un material se define como al cociente entre su peso y el peso de un volumen equivalente de agua destilada a 20 °C (condiciones de máxima densidad del agua), siendo así, un valor adimensional.

Este ensayo se realiza de la siguiente manera:

- Se le toma el peso por individual con una balanza de precisión a tres matraces aforados de 500 mL de capacidad.
- Pesar los tres matraces con 200 g de material, polvo de llanta en este caso. El material debe estar en condición seco – saturado.
- Pesar con material y con 500 mL de agua los tres matraces (el menisco inferior debe llegar a la línea de aforo), sacando las burbujas de aire para acomodar las partículas de agregado fino y evitar los vacíos.
- Finalmente, se arroja el material dentro de los matraces y se lavan hasta retirarles todo el material que se encuentre en ellos y se llenan de nuevo solo con agua hasta la línea de aforo para obtener el peso de la probeta más agua.

Se utilizan tres matraces para obtener un valor más confiable, cuando se obtenga el promedio de las tres mediciones.

Figura 9. **Matraces utilizados para peso específico del caucho**



Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería, USAC.

#### **2.2.1.6. Granulometría norma NTG 41007 h1 (ASTM C 33 – 90): Especificación estándar para agregados de concreto**

Según la norma ASTM C 33, la granulometría es la distribución de los tamaños de las partículas de un agregado, determinada por el análisis de tamices [norma ASTM C 136 (Método estándar por análisis de tamices para agregado grueso y agregado fino)]. El tamaño de dichas partículas de agregado se determina por medio del retenido o lo que pasa del material en los tamices de malla de alambre con aberturas cuadradas. La batería estándar de tamices para agregado fino comprende siete elementos que varían desde la malla No.100 (150 micras) hasta la malla de 3/8" (9,52 mm).

La granulometría y el tamaño máximo de agregado afectan las proporciones relativas de los agregados así como los requisitos de agua y cemento, la trabajabilidad, capacidad de bombeo, economía, porosidad, contracción y durabilidad del concreto.

Además, en este ensayo, se determina el módulo de finura, es decir, el valor correspondiente a la centésima parte de la suma de los porcentajes retenidos acumulados en los tamices. Cuanto mayor es el módulo de finura más grueso es el material (Ver tabla V).

El procedimiento del ensayo se describe a continuación:

- Se homogeniza el material, en condición seca, por medio de cuarteos.
- Se toma una muestra de 500 g. de polvo de llanta.
- Se coloca el material en la batería estándar comprendida de los tamices #4, #8, #16, #30, #50, #100 y fondo.
- Se tamiza el material durante diez minutos.
- Después de los diez minutos, se toman los pesos individuales de cada tamiz y luego los acumulados para determinar el porcentaje de retenido acumulado de cada malla.

Figura 10. **Tamizadora de agregado fino para determinación de granulometría**



Fuente: Elaboración propia.

**2.2.1.7. Peso unitario norma NTG 41010 h2 (ASTM C 29/C 29M – 90): Método de ensayo estándar para peso unitario y cantidad de vacíos en agregado**

Este método de ensayo se utiliza, con frecuencia, para determinar los valores del peso del material por unidad necesarios para calcular las proporciones en las mezclas de concreto.

El peso unitario se utiliza para determinar la relación masa/volumen. Sin embargo, la relación entre el grado de compactación de los agregados en un volumen determinado se desconoce, ya que depende directamente del material analizado.

Los agregados poseen masa y volumen. La misma masa tiende a ocupar distintos volúmenes, tanto en un estado suelto como en uno compactado. Cuanto mayor sea la densidad de un cuerpo, mayor será el peso que posea en un recipiente de volumen determinado. El peso unitario suelto se utiliza para conversiones de peso a volumen, para conocer el consumo de agregados por metro cúbico de concreto. El peso unitario compactado, se utiliza para conocer el volumen de materiales apilados.

El procedimiento de este método de ensayo para la medición de peso unitario no tiene valores determinados, pues estos solo se pueden definir en términos del ensayo realizado.

Pasos para realizar el ensayo:

- Tomar el peso del recipiente o tara.
- Tomar el peso de la tara más el polvo de llanta. Para ello, se deben realizar dos procedimientos: uno es tomar el peso de la tara con el material sin compactar, para obtener el peso unitario suelto, y el otro es tomar el peso de la tara con el material compactado, para obtener el peso unitario compactado. Esto es, colocar el material dentro del recipiente por tercios y en cada tercio colocado. El material debe ser apisonado por medio de 25 golpes distribuidos, acumulando un total de 75 golpes por tara llena.
- Luego el peso unitario se obtiene dividiendo el peso del material dentro del volumen del recipiente.
- Este procedimiento se debe repetir tres veces para obtener un promedio que asegure resultados más exactos.

Figura 11. **Recipiente para la determinación del peso unitario del caucho**



Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería, USAC.

**2.2.1.8. Porcentaje de vacíos norma NTG 41010 h2 (ASTM C 138 – 81 y C 231 – 89): Método de ensayo estándar para unidad de peso, producción y contenido de aire del concreto**

El porcentaje de vacíos es la relación del peso específico entre el peso unitario compactado y se calcula para determinar si las partículas del polvo de llanta se acomodan de forma adecuada o crean espacios en el concreto.

**2.2.1.9. Porcentaje de absorción norma NTG 41010 h19 (ASTM C 127 – 88): Método de ensayo para gravedad específica y absorción de agregado grueso**

Los valores de absorción se utilizan para calcular el cambio en el peso del polvo de llanta provocado por el agua absorbida después de 24 horas de inmersión en los espacios de poros de las partículas constituyentes, comparadas con el estado seco del material.

Procedimiento de ensayo:

- Se toma una muestra representativa de polvo y se sumerge durante 24 horas.
- Al día siguiente se expande la muestra sobre la superficie de un recipiente o bandeja no absorbente.
- Se deja secar el material de una manera uniforme hasta que las partículas del polvo de llanta estén sueltas.
- Luego se introduce la muestra en un molde cónico, se apisona unas 25 veces dejando caer el apisonador desde una altura aproximada de 1 cm. Posteriormente, se nivela y si, al retirar el molde la muestra se reviene es porque no existe humedad libre., Si es lo contrario, se sigue secando y se repite el proceso hasta que cumpla con la condición. Cuando sucede lo esperado al retirar el molde cónico, significa que se ha alcanzado una condición del agregado seco saturado.
- Luego que el material se encuentra en estado seco saturado, se pesan 500 g de polvo de llanta y se coloca en el horno por 24 horas a temperatura constante.

- Transcurridas las 24 horas, se saca el material del horno y se pesa de nuevo después de haberse evaporado toda la humedad. Con esto se calcula el porcentaje de absorción.

## **2.2.2. Ensayos aplicados al concreto fresco y endurecido**

### **2.2.2.1. Prueba Slump del concreto fresco norma NTG 41052 (ASTM C – 143): Método de ensayo estándar para asentamiento de concreto hidráulico**

La prueba *Slump* o de asentamiento, da un parámetro para determinar la resistencia del concreto en un estado plástico.

Procedimiento de ensayo:

- La muestra de concreto debe tomarse de una misma masada de la porción central del volumen de descarga de la mezcladora y con un recipiente que abarque todo el chorro de esta.
- Se humedece el interior del cono de Abrams y la base sobre la cual se hará el ensayo. Esta debe ser firme, plana, nivelada y sin capacidad de absorción.
- Se sujeta firmemente el cono y se coloca concreto hasta 1/3 del volumen.
- Se apisona el tercio 25 veces con la varilla compactadora evitando que la misma toque la base donde se encuentra apoyado el cono.
- Se coloca una segunda capa de un tercio del volumen y se apisona 25 veces, cuidando que la varilla penetre ligeramente la capa anterior.

- Se llena el molde colocando un poca más del concreto necesario y se golpea 25 veces penetrando ligeramente la capa anterior. Se aparta el concreto que haya caído ligeramente alrededor del molde.
- Se levanta el molde verticalmente de 5 a 10 segundos, sin impactarle movimiento lateral o de torsión.
- Se coloca el molde boca abajo al lado del concreto ensayado y se mide la distancia entre la varilla colocada sobre el cono y la cara superior del concreto, esta distancia es el asentamiento.
- Si ocurre un derrumbamiento pronunciado o resquebrajamiento del concreto hacia un lado, el ensayo debe repetirse desechando el concreto utilizado para el ensayo.

Figura 12. **Prueba de asentamiento para el concreto**



Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería, USAC.

**2.2.2.2. Método de ensayo estándar para contenido de aire en mezclas de concreto fresco norma NTG 41017 h7 (ASTM C 231 – 78): Utiliza el método a presión**

Determina el contenido de aire del concreto fresco. Este método se basa en la medición del cambio de volumen del concreto sometido a un cambio de presión.

Para este ensayo se especifica el equipo tipo B de la norma ASTM C 231-78. Se utiliza el aparato conocido como aparato tipo Washington equipado con un dial que registra directamente el contenido de aire, en %, con respecto al volumen de concreto.

El procedimiento es aplicable a concreto fabricado con agregados de densidad normal y tamaño máximo no superior a 50 mm.

Método de ensayo:

- Se coloca el concreto dentro del recipiente por tercios, aplicando en cada tercio 25 apisonadas por capa. No se debe tocar la capa anterior o en caso del primer tercio el fondo, de esta manera se acumulan 75 apisonamientos en total.
- Después de apisonar, se golpean los costados del recipiente de 10 a 15 veces con un mazo de goma.
- Limpiar los bordes y en especial la goma de sello, colocar la tapa y ajustar herméticamente con las llaves.
- Cerrar las válvulas para aire y abrir las llaves para agua. Mediante una jeringa de goma introducir agua por una de las llaves de agua hasta que

fluya por la otra llave. Golpear lateralmente con un mazo para expulsar burbujas de aire atrapadas en el agua introducida.

- Bombear aire a la cámara de presión hasta que la aguja del dial llegue a la marca de presión inicial. Reposar algunos segundos para enfriar el aire comprimido. Estabilizar la aguja, mediante bombeos, en la marca de presión inicial.
- Cerrar las dos llaves de agua y abrir la válvula de entrada de aire comprimido de la cámara de aire al recipiente. Golpear suavemente los costados del recipiente, como también la tapa del dial para estabilizar la lectura.
- Leer con aproximación a 0,1% el contenido de aire registrado en el dial. Antes de abrir la tapa, mantener cerradas las válvulas de aire y abrir las llaves de agua para liberar la presión de aire existente en el recipiente.

Figura 13. **Determinación del contenido de aire por método a presión B**



Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería, USAC.

### **2.2.2.3.      Peso unitario norma NTG 41017 h5 (ASTM C – 138): Método de ensayo estándar unidad de peso, producción y contenido de aire en el concreto**

El peso unitario o la densidad del concreto es la masa por unidad de volumen y varía según la cantidad y densidad de los agregados, la cantidad de aire atrapado o arrastrado, y los contenidos de agua y cemento. Los concretos convencionales utilizados en estructuras, como en edificios y aceras, poseen un peso unitario en el rango de 2 250 a 2 500 kilogramos por metro cúbico ( $\text{kg/m}^3$ ). Para otros tipos de concreto, el peso unitario oscila entre 240  $\text{kg/m}^3$  de concreto ligero aislante a 6 500  $\text{kg/m}^3$  para el concreto de alta resistencia.

El procedimiento de ensayo es el siguiente:

- Determinar la masa de la tara vacía.
- Colocar el concreto en tres capas de un volumen aproximadamente igual (para la consolidación de varilla).
- Apisonar de forma distribuida cada capa 25 veces, y cuando se tenga llena la tara con concreto aplicar de 10 a 15 golpes en los costados del recipiente con un martillo de goma.
- Luego, el peso unitario se obtiene dividiendo el peso del material dentro del volumen del recipiente.
- Este procedimiento se realiza tres veces para obtener un promedio y así, lograr resultados más exactos.

#### **2.2.2.4. Método de ensayo estándar para el tiempo de fraguado de mezclas de concreto por la resistencia a la penetración norma NTG 41017 h12 (ASTM C – 403)**

Este método de ensayo cubre la determinación del tiempo de fraguado del concreto, por medio de mediciones de resistencia a la penetración en el mortero tamizado de la mezcla de concreto. Puede ser utilizado para determinar los efectos de variables, como el contenido de agua, marca, tipo y cantidad de cemento, o mezclas, en el momento de la instalación de concreto. Este método también puede utilizarse para determinar el cumplimiento con el tiempo determinado de fijación.

Figura 14. **Equipo utilizado para el ensayo de velocidad de endurecimiento del concreto**



Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería, USAC.

El ensayo también puede aplicarse a los morteros preparados y lechadas. Sin embargo, cuando se desea el tiempo de fraguado del concreto, el ensayo

se realizará con mortero tamizado de la mezcla de concreto y no con un mortero preparado con las proporciones destinadas a simular la fracción de mortero de cemento; esto se debe a que los tiempos iniciales y finales de fraguado podrían incrementarse cuando se usa el mortero preparado.

Las características que presenta este ensayo son:

- Un fraguado inicial muy rápido que puede entorpecer el manejo del concreto.
- Un fraguado final muy lento que dificultaría el progreso de la obra.

#### **2.2.2.5. Práctica estándar para elaborar y curar especímenes para ensayo de concreto en laboratorio norma NTG 41060 (ASTM C – 192/C – 192M)**

Esta práctica se basa en los procedimientos para preparar y curar especímenes de concreto para ensayo en laboratorio bajo un control preciso de materiales y condiciones de ensayo usando concreto que pueda ser consolidado por varillado o vibración.

Si las muestras son hechas y curadas, según lo establecido por esta norma, los resultados obtenidos de los especímenes son capaces de ser utilizados para los siguientes fines:

- Poseer la aceptación de la resistencia del diseño
- Comprobación de las proporciones de la mezcla para la fuerza
- Control de calidad

Si las muestras son hechas y curadas en campo, siguiendo lo establecido, los resultados obtenidos de los especímenes son capaces de ser utilizados para los siguientes fines:

- Determinar si una estructura es susceptible si se coloca el tipo de mezcla con la cuál fue elaborado el espécimen.
- Comparación de los resultados con elementos elaborados en laboratorio.
- Adecuar el curado y protección del concreto en la estructura.

Los especímenes de compresión son cilindros que deben cumplir con la relación altura – base de 2:1. Generalmente, son de 6” de diámetro por 12” de alto (aprox. 15 por 30 cm.).

Procedimiento para la elaboración de cilindros:

- Colocar tres capas de concreto en los moldes cilíndricos, utilizando mano de cuchara o cucharón. Cada capa debe ocupar, aproximadamente, un tercio del volumen del molde. Para la capa final, colocar suficiente concreto para llenar el molde justo después de la compactación.
- Apisonar cada capa 25 veces, con la barra de apisonamiento de punta redonda. Apisonar la capa inferior en toda su totalidad. Distribuir los trazos de manera uniforme en toda la sección transversal del molde. Apisonar las capas superiores con la varilla permitiendo penetrar en la capa subyacente alrededor de 1 pulgada.
- Después de apisonar cada capa, se golpea ligeramente 15 veces con el mazo en la parte exterior del molde.
- Por último, rasar la parte superior del molde.

Para el curado de los cilindros, se colocan en una pila con agua y se cubren totalmente con el líquido. Puede usarse cualquier otro método que

permita que los especímenes permanezcan húmedos hasta el momento del ensayo.

Figura 15. **Llenado de cilindros para ensayo a compresión del concreto**



Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería, USAC.

#### **2.2.2.6. Método estándar de ensayo de resistencia a compresión de especímenes cilíndricos de concreto norma NTG 41017 h1 (ASTM C – 39/C – 39M)**

Este método de ensayo aborda la determinación de la resistencia a compresión de especímenes cilíndricos de concreto, como cilindros moldeados y núcleos perforados. Se limita al concreto que tiene un peso unitario mayor que 50 lb/plg<sup>3</sup> [800 kg/m<sup>3</sup>].

Consiste en aplicar una carga axial de compresión a los cilindros (moldeados o núcleos perforados) hasta que el fallo se produce. La resistencia a la compresión de la muestra se calcula dividiendo la carga máxima alcanzada durante la prueba por el área transversal del espécimen.

Procedimiento para la nivelación de cilindros:

- Preparar el mortero de azufre para la nivelación del testigo.
- Aplicar aceite al espécimen y al molde de nivelación.
- Añada el mortero de azufre fundido al molde y coloque el cilindro dentro. Para ello, utilice el dispositivo de guía de alineación de las barras, asegurando que el eje de la muestra es perpendicular a la placa. Las tapas de los extremos moldeados en la muestra deberán tener un espesor mínimo de 1/8" (3 mm.), pero menos de 5/16" (8 mm).
- Después de que el mortero de azufre se ha fijado, saque el cilindro de la placa del molde con un ligero movimiento de torsión.
- Repetir este proceso, coronando ambos extremos de la muestra.
- Mantener la muestra en estado húmedo entre la terminación de la nivelación y el tiempo de la prueba.

Procedimiento para la aplicación de carga a compresión de probetas de concreto cilíndricos:

- Mantener la muestra en estado húmedo, hasta el momento de la prueba de compresión. Las pruebas de compresión se hacen tan pronto como sea posible después de la salida de almacén húmedo.
- Limpiar las superficies de apoyo de la parte superior e inferior de la máquina de ensayo de compresión y las tapas de extremo (hechas con azufre) de la muestra de ensayo.
- Centrar la muestra en la parte inferior de la platina de la máquina de ensayo.
- Alinear con cuidado el eje de la muestra con el centro de empuje de la placa superior esférica.

- Aplicar la carga a una velocidad de 20 a 50 psi / s (140 a 350 libras / s) para cilindros de 3" de diámetro, de 250 a 630 libras / s para cilindros de 4" de diámetro, 560 a 1400 kg / s para cilindros de 6" de diámetro. El tiempo de la prueba hasta la ruptura para concretos de 3 000 psi es de 1 a 2,5 minutos.
- Anotar la carga de ruptura.

Las pruebas deben realizarse a cilindros a las edades de 3, 7 y 28 días. Los resultados de todos los datos generados se deben representar en una gráfica, mostrando la resistencia a la compresión no confinada (eje Y) en función del tiempo en días (eje X). Para efectos de diseño de estructuras de concreto, la resistencia a 28 días brinda los resultados reales de esfuerzo de la mezcla realizada.

Figura 16. **Ensayo a compresión en máquina universal**



Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería, USAC.

**2.2.2.7. Método de ensayo estándar de resistencia a flexión del concreto, norma NTG 41017 h8 (ASTM C 293): Método de ensayo estándar para resistencia a flexión del concreto**

Este método de prueba ASTM cubre la determinación de la resistencia a la flexión del concreto usando una viga simple con carga de tercer punto. Los resultados se calculan y con ellos se determina el módulo de ruptura. Se utiliza una viga normada de 15 x 15 x 50 cm.

El procedimiento de ensayo es el siguiente:

- Colocar el espécimen en la máquina de ensayo sobre los apoyos.
- Centrar el espécimen de acuerdo con el punto de carga de la máquina que aplica la fuerza axial y de acuerdo con los apoyos.
- Tomar la medida de luz entre los apoyos.
- Aplicar la carga de manera continua a un ritmo que aumenta la tensión en la fibra extrema de 125 a 275 psi / minuto hasta que se produce la rotura.
- Calcular el módulo de ruptura, despreciando el peso de la viga.

**Figura 17. Ensayo a flexión con carga a L/2**



Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería, USAC.

## **2.3. Características del agregado fino**

Las características físicas del agregado fino determinan el tipo de obra que se construirá, en la cual se debe cumplir con tres aspectos fundamentales para garantizar la calidad:

- Resistencia
- Durabilidad
- Economía

Según el tipo de obra, el concreto que se necesita fabricar, con base en el elemento estructural que constituirá el proyecto, se debe tomar en cuenta lo siguiente:

- Dureza
- Resistencia
- Graduación
- Durabilidad
- Limpieza
- Tenacidad

### **2.3.1. Efecto del agregado fino en el concreto**

#### **2.3.1.1. Manejabilidad**

Es la capacidad que presenta el concreto fresco para ser manipulado, precisando una adecuada colocación, compactación y colado, para ser terminado de manera uniforme sin segregación ni exudación. Esta característica se asocia con la plasticidad, lo que permite moldearse y adaptarse a la formaleta.

Los factores que intervienen en la manejabilidad, según el agregado fino son:

- Buena graduación. Si la mezcla presenta una granulometría adecuada no tendrá exceso de vacíos, porque la pasta de cemento los ocupará. De esta manera se alcanza la trabajabilidad deseada, sin que haya mucha porosidad. Debe evitarse el uso de arenas muy finas ya que éstas provocan segregación en el concreto por la alta demanda de agua que generan. También se deben evitar arenas muy gruesas porque se obtienen mezclas muy ásperas y con poca cohesión. Por lo tanto, es recomendable que se utilicen arenas con módulo de finura entre 2,3 – 3,1.
- Forma y textura de agregado grueso. Ambos aspectos influyen de forma considerable en el agregado fino. Las partículas con muchos ángulos como las alargadas, aplanadas o de formas cúbicas y texturas rugosas requieren una mayor cantidad de arena, agua y pasta de cemento en la mezcla, por la fricción que se genera entre ellas, al contrario de los agregados de canto rodado y textura lisa.
- Bajo contenido de arena. La cantidad de piedrín determina una mezcla poco manejable, en contra parte, si el contenido de arena es alto existe una demanda de agua mayor para que la mezcla sea trabajable y presente determinada segregación y exudación.

#### **2.3.1.2. Segregación**

La segregación es la separación de los materiales que forman el concreto, de manera que su distribución no es uniforme en toda la mezcla. Esto puede suceder por la diferencia de tamaños en la granulometría del agregado, lo cual provoca que, por la gravedad, las partículas de agregado grueso se asienten más que las de agregado fino. Este efecto puede ocasionar una disminución en

la resistencia diseñada e incitar a mayores contracciones del concreto. Regularmente ocurre en mezclas secas y poco plásticas.

#### **2.3.1.3. Exudación**

La exudación sucede cuando los sólidos de mayor densidad se asientan en el concreto recién colocado o cuando éste se encuentra en su proceso de fraguado, por lo que se disminuye la concentración de sólidos a medida que se acerca a la superficie del elemento. También se produce por la incapacidad de los materiales que componen el concreto de retener la masa total de agua incorporada. Prueba de este fenómeno se observa cuando el concreto presenta una apariencia de lustrado, con un brillo superficial causado por el agua. Los problemas se presentan cuando la velocidad de evaporación es más lenta que la de exudación, esto permite que el agua se transporte hacia la superficie y provoque porosidad en esa zona debido a la baja de resistencia por el aumento inesperado de la relación agua/cemento. En otro caso, si la velocidad de evaporación es mayor a la de exudación se producen grietas de contracción.

#### **2.3.1.4. Temperatura**

Es un factor muy importante en el concreto, pues determina, en gran parte, el comportamiento de éste durante su fraguado. Está relacionada con el calor de hidratación que genera la reacción química del cemento y los agregados al entrar en contacto con el agua. Tanto mayor sea la temperatura durante este proceso de endurecimiento, más rápida es la formación de cristales. Esto puede ser positivo, en un principio, para el desarrollo de la resistencia a compresión. Pero, debido a la estructura poco uniforme de los elementos que componen el concreto, la pasta de cemento tiende a volverse más porosa y afecta la resistencia a los 28 días. Se debilita cada vez más que con un concreto fresco, que se endurece a 20 °C, aproximadamente. Las altas

temperaturas provocan agrietamiento, y reduce en más de un 10% la resistencia a 28 días por cambios de temperatura de 20 °C a 30 °C.

#### **2.3.1.5. Resistencia mecánica**

Según las propiedades de los agregados se influye en la resistencia de un concreto, siendo las siguientes:

- Granulometría continua. Permite la máxima compacidad del concreto en estado fresco, proporcionando el alcance de la máxima densidad en estado endurecido y por ende la máxima resistencia posible.
- Forma y textura de los agregados. Afectan la adherencia entre ellos y el cemento. Se prefieren los de forma cúbica y rugosa porque aumentan la resistencia en función del uso de agregados de canto rodado y liso.
- Resistencia y rigidez del agregado. Por la diferencia entre la resistencia y el módulo de elasticidad de un agregado con baja densidad y poroso y la de un agregado de baja porosidad y denso.

#### **2.3.1.6. Permeabilidad**

Se refiere a la capacidad de resistencia del concreto a la penetración de agua u otras sustancias. La permeabilidad total del concreto al agua está en función de la porosidad de la pasta, de los agregados y su tamaño, así como de la proporción relativa de pasta respecto al agregado. Un concreto poco permeable mejora su resistencia a la saturación, al ataque de sulfatos y otros productos químicos y a la penetración del ion cloruro. También afecta la capacidad de destrucción por congelamiento en condiciones de saturación. Está ligada a la relación agua/cemento y del agregado, de la hidratación del cemento o duración del curado húmedo. Un concreto poco permeable requiere

de una baja relación agua/cemento y de un período de curado húmedo adecuado.

#### **2.3.1.7. Durabilidad**

Se define como la habilidad del concreto para resistir la acción de la intemperie, ataques químicos, abrasión o cualquier otro proceso de deterioro. Determina que el concreto debe mantener su forma original, calidad y características de servicio cuando este expuesto al ambiente que le corresponda. Este factor no depende únicamente del diseño de mezcla, sino también está en función del ambiente de exposición y las condiciones de trabajo a las que esté sometido.

#### **2.3.1.8. Apariencia**

La apariencia del concreto depende de los agregados, debido a la diversidad de tipos y tamaños, para el caso del agregado grueso que se deja expuesto para lograr una superficie conglomerada. Cuando se le agrega polvo de llanta, éste le brinda un color gris oscuro por el color negro del material, con un aspecto poroso en su superficie.

### **2.4. Concreto**

#### **2.4.1. Definición**

El concreto es un material compuesto por una mezcla de arena, grava, piedra triturada u otro agregado unido en una masa rocosa por medio de una pasta de cemento denominada aglutinante y agua. En ocasiones, se le agregan aditivos para brindarle o modificarle características específicas como su ductilidad, durabilidad y tiempo de fraguado.

Como la mayoría de los agregados pétreos, el concreto tiene una alta resistencia a la compresión y una muy baja resistencia a la tensión.

## **2.4.2. Composición**

### **2.4.2.1. Cemento**

El cemento posee propiedades adhesivas y cohesivas que le permiten aglutinar los agregados que componen el concreto.

Los concretos elaborados con cemento Portland normal alcanzan sus resistencias de diseños después de 28 días. Luego de ese período continúan ganando resistencia a un ritmo menor.

Existen otros tipos especiales de cemento Portland, debido al proceso químico que ocurre con el fraguado, se libera calor ocasionando que el concreto se expanda durante su hidratación y se contraiga desarrollando con frecuencia grietas severas.

La *American Society for Testing and Materials* (ASTM) clasifica a los cementos Portland en cinco tipos:

- Tipo I. Es el cemento de uso general en la construcción, considerado para construcciones normales.
- Tipo II. Es un cemento modificado que tienen menor calor de hidratación que el tipo I y que puede resistir poca exposición al ataque de sulfatos.
- Tipo III. Cemento de fraguado rápido que produce en las primeras horas un concreto con una resistencia aproximada del doble de las que se dan con el cemento tipo I, por dicha característica genera un alto calor de hidratación.

- Tipo IV. Es un cemento que produce una lenta disipación del calor, utilizado en estructuras de gran tamaño. A estas estructuras se les denomina de concreto masivo.
- Tipo V. Usado para concretos que estarán expuestos a la acción de altas concentraciones de sulfatos. Muy utilizados en construcciones marinas.

Cuando el concreto requerido no entra en la clasificación descrita, existe una serie de alternativas en el uso de aditivos que modifican las propiedades del cemento tipo I a las condiciones necesarias según la índole de la obra.

#### **2.4.2.2. Agua**

Los cementos por ser considerados hidráulicos tienen la capacidad de fraguar y endurecer con el agua, ésta última hidrata las partículas de cemento y lo vuelve un elemento aglutinante, gracias a la reacción química que ocurre cuando ambos entran en contacto.

El agua para la mezcla debe estar limpia y libre de cantidades perjudiciales de aceites, ácidos, álcalis, sales, materia orgánica u otras sustancias nocivas para el concreto.

Casi cualquier agua natural potable, sin sabor ni olor marcado, se puede utilizar para elaborar concreto. Cuando las impurezas presentes son excesivas, afectan el tiempo de fraguado, resistencia y estabilidad volumétrica, así como a la corrosión del refuerzo al trabajar con concreto armado. En la medida de lo posible debe evitarse el agua con altas concentraciones de sólidos disueltos.

Las sales y otras sustancias nocivas provenientes de los agregados también deben considerarse al momento del mezclado, para hacer la

evaluación de aceptabilidad del total de impurezas que resulten nocivas para el concreto.

#### **2.4.2.3. Agregados**

Los agregados en el concreto ocupan aproximadamente el 75% de su volumen. Como el costo es menor al del cemento, se desea usar la mayor cantidad que sea posible. Para cumplir con este aspecto, se utilizan agregados finos como arena y agregados gruesos como grava, usualmente triturada.

Los agregados tienen su propia resistencia y no afectan el proceso de endurecimiento del cemento hidráulico. Dichos materiales deben ser fuertes, durables y estar limpios. Al contener polvo u otras partículas pueden inferir en la adherencia entre la pasta y ellos. La resistencia de dichos agregados afecta de manera considerable la resistencia y la durabilidad del concreto.

#### **2.4.2.4. Aire**

Debe tomarse en cuenta porque al mezclarse todos los materiales queda aire atrapado en la masa resultante. Este se libera cuando la mezcla se compacta, luego de su colocación.

#### **2.4.3. Diseño de mezcla**

Una vez los datos reflejen que las propiedades químicas, físicas y mecánicas de los agregados son aceptables, se realiza el diseño de mezcla del concreto con base en dichos resultados. La dosificación de los componentes del concreto pretende que se obtenga una resistencia calculada y manejabilidad adecuada para su vaciado y un bajo costo. El costo obliga a la utilización mínima de cantidades de cemento, siempre cuidando que cumpla con las especificaciones requeridas. Mientras la graduación de los agregados es mejor,

se tendrá menor cantidad de vacíos y, por lo tanto, será necesaria una menor cantidad de cemento para llenar dichos espacios.

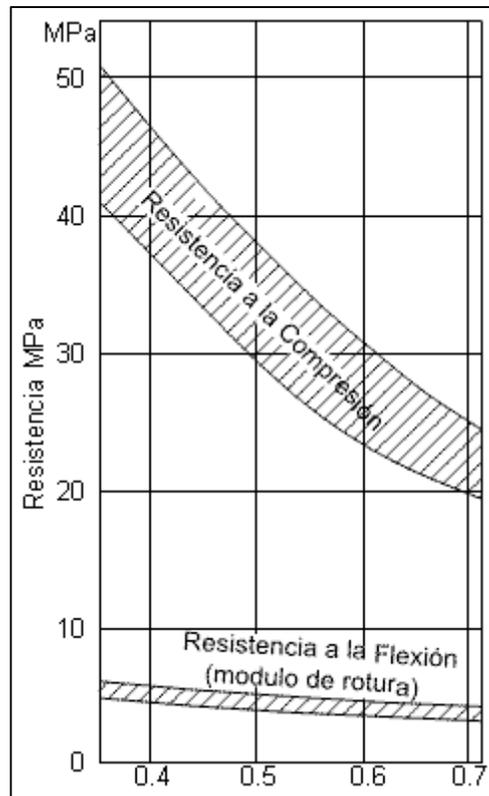
Un concreto posee aproximadamente de un 7 a un 15 % de cemento respecto del volumen de la mezcla, de un 60 a un 70 % de agregados, agua entre 14 y 18 %, aire atrapado entre 1 y 3 %, el cual también puede ser incluido de forma intencional de 1 a 7 % y aditivos.

La relación agua/cemento es muy importante porque regula las cantidades de ambos materiales de la siguiente manera: a medida que se adiciona agua, la plasticidad y la fluidez de la mezcla incrementan, pero su resistencia disminuye debido al mayor volumen de vacíos que genera el agua libre. Para reducir dicha medida de agua libre y mantener la manejabilidad, es necesario agregar cemento. Desde este punto de vista la relación agua/cemento controla la resistencia del concreto. Por ello, para una relación de agua/cemento dada se selecciona la mínima cantidad de cemento que asegure la manejabilidad deseada.

La figura 18 muestra el comportamiento de la resistencia a la compresión por la influencia de la relación agua/cemento. La resistencia a tensión, medida por medio de la resistencia nominal a flexión o módulo de ruptura, es pronunciada pero menor que su efecto sobre la resistencia a compresión. Esto se debe a que la resistencia a tensión depende en gran parte de la resistencia a la adherencia entre el agregado grueso y el mortero de cemento.

También puede notarse una banda de valores y no solo una curva, para incluir variaciones que se dan por los agregados y los procedimientos en las distintas pruebas. Un punto exacto sobre la curva se determina conociendo las propiedades específicas de los materiales y los métodos usados en la mezcla, vaciado y curado.

Figura 18. **Efecto de la relación A/C en la resistencia a la compresión y a la flexión a los 28 días**



Fuente: Relación Agua/Cemento (A/C). <http://www.ingenierocivilinfo.com/2011/04/relacion-aguacemento-ac.html>. Consulta: septiembre de 2016.

Para obtener mezclas con las propiedades requeridas a partir de cementos y agregados disponibles se usan varios métodos de dosificación normados. El método de dosificación del *American Concrete Institute* (ACI) utiliza el asentamiento (*slump*) conjuntamente con tablas para lograr una estimación de las proporciones que resultan de las propiedades de diseño para diferentes condiciones. Dichas proporciones son revisadas y se ajustan mediante mezclas de prueba hasta obtener el concreto con la calidad deseada.

Cabe mencionar que las propiedades de resistencia de un concreto varían entre una mezcla y otra. Por ello, es necesario seleccionar las proporciones que aseguren una resistencia promedio superior a la resistencia de diseño para que, incluso, las mezclas que resulten débiles por alguna circunstancia sean de una calidad adecuada. Esto puede lograrse al aplicar factores de seguridad a los diseños.

El método de proporcionamiento de mezclas de concreto del Centro de Investigaciones de Ingeniería (CII) se basa en el principio que la resistencia y durabilidad del concreto están relacionadas, principalmente, con la relación agua/cemento de la pasta y con las propiedades de los agregados (granulometría y tipo de partículas). Haciendo referencia que la trabajabilidad se ve directamente afectada por la relación agua/cemento y la proporción de los agregados.

Cuando están determinadas la resistencia y la trabajabilidad (mediante pruebas de asentamiento), los datos de la relación agua/cemento y la cantidad de agua aproximada por utilizar para obtener el asentamiento deseado, se toman los datos de la tabla VIII, que también dependen del tipo y tamaño del agregado.

Luego se calcula el cemento y los agregados en función del peso unitario requerido. El porcentaje de agregado fino se obtiene de la tabla VIII y depende del tamaño máximo nominal del agregado grueso. Por lo tanto, se calculan por volumen absoluto o volumen de sólidos las cantidades necesarias de material. Dichos volúmenes se convierten a pesos, por lo que es necesario conocer el peso específico de los materiales constituyentes y con ello se tiene la proporción del diseño de mezcla.

Con el diseño realizado se procede a fabricar la masada, de forma manual o con mezcladora, verificando que la mezcla tenga el asentamiento esperado.

Si no es así, se deben realizar correcciones y modificar las proporciones de diseño.

Tabla VIII. Valores para diseño de mezclas (Rendimiento para 1 m<sup>3</sup>)

<b>Tipo de estructura</b>	<b>Asentamiento (cm)</b>				
Cimientos, muros reforzados, vigas, paredes reforzadas y columnas	10				
Pavimentos y losas	8				
Concreto masivo	5				
<b>Asentamientos (cm)</b>	<b>Tamaño agregado grueso</b>				
	<b>3/8"</b>	<b>1/2"</b>	<b>3/4"</b>	<b>1"</b>	<b>1 1/2"</b>
	<b>Cantidad de agua (L/m<sup>3</sup>)</b>				
3 – 7	205	200	185	180	175
8 – 12	225	215	200	195	180
13 – 18	240	230	210	205	200
<b>Resistencia kg/cm<sup>2</sup> (PSI)</b>	<b>Relación agua / cemento</b>				
352 (5000)	0,47				
316 (4500)	0,50				
281 (4000)	0,54				
246 (3500)	0,57				
210 (3000)	0,60				
176 (2500)	0,64				
<b>Tamaño máximo nominal de agregado grueso</b>	<b>% arena sobre agregado total</b>				
3/8"	48				
1/2"	46				
3/4"	44				
1"	42				
1 1/2"	40				

Fuente: elaboración propia, tabla utilizada por el área de Concretos y Agregados del CII.

### **3. TRABAJO DE CAMPO**

#### **3.1. Obtención y transformación de materia prima**

Las llantas se encuentran dispuestas en rellenos sanitarios. También están en lugares donde las almacenan para venderlas a plantas de reciclaje donde, por medios principalmente, mecánicos las convierten en partículas para dotarlas de nuevos usos en diferentes campos.

##### **3.1.1. Métodos de trituración de llantas**

En la actualidad existen dos métodos de trituración, como la trituración mecánica y la criogénica.

###### **3.1.1.1. Trituración mecánica**

La trituración mecánica utiliza cuchillas para dividir las llantas en tiras denominadas *palletes*. El proceso se lleva a cabo de manera paulatina hasta alcanzar determinados tamaños requeridos para pasar a las máquinas que se encargan de clasificar los neumáticos y separar los aceros y textiles, por medio de imanes. Este proceso presenta la ventaja de reducir el número de etapas obteniendo un producto de buena calidad. Además, no se requiere de etapas de purificación porque no se utilizan sustancias adicionales a las llantas.

###### **3.1.1.2. Trituración criogénica**

Este método utiliza nitrógeno líquido para congelar los elementos enteros, que luego son golpeados para obtener el caucho en forma de polvo. En el

proceso se libera gas de dicho elemento. Cuando solo se requiere de tamaños bastante reducidos de caucho se presenta una gran ventaja, aunque las partículas de acero estarán mezcladas con este. También se considera un alto costo de inversión y mantenimiento, así como de maquinaria especial.

Ambas prácticas son bastante comunes en países desarrollados desde hace más de cincuenta años. El caucho molido de estos procesos no presenta toxicidad y son libres de fibras y acero.

### **3.1.2. Método utilizado para el estudio**

Se contactó con la planta de Industria Recicladora de Guatemala, S. A., (Inregua, S.A.) ubicada en Granjas de San Cristóbal de Mixco. Esta empresa se dedica a la disposición final de llantas por medio de granulado de caucho molido para elaborar nuevos productos. Cuenta con un depósito de llantas que se procesan de acuerdo con pedidos de los usuarios de este servicio.

Figura 19. **Depósito de llantas para el granulado de caucho molido**



Fuente: Inregua, S.A.

El procedimiento que utiliza Inregua, S.A. es el mecánico, que se realiza, de forma general, de la siguiente manera:

- Desgarradora de llantas y acero. Se introduce la llanta entera para extraer el aro de acero que la conforma. Este material puede ser reutilizado.

Figura 20. **Desgarradora de llantas**



Fuente: Inregua, S.A.

Por medios manuales se corta en tiras la llanta para obtener los *palletes* que luego son llevados a la maquinaria donde empieza el primero proceso de trituración.

El tamaño de las tiras varía según la dimensión de las llantas. Las llantas que más utilizan en esta fábrica son las de camión, principalmente (de 28 a 32 llantas de camión para una tonelada de material molido).

Figura 21. **Cortadora de llanta en palletes**



Fuente: Inregua, S.A.

- Primer proceso de trituración. Luego de haber hecho las tiras de cada llanta de un determinado tamaño, se dirigen en una banda hacia la tolva principal que tiene un juego de cuchillas de acero de alta resistencia en su interior. Allí, se obtienen los trozos de caucho de aproximadamente 120 mm.

Figura 22. **Primer proceso de trituración del neumático**



Fuente: Inregua, S.A.

- Pre-granulador o Rasper. Es un equipo de molienda secundaria que alimenta a los granuladores de diferentes dimensiones. A partir de este paso se obtiene un producto libre de metales.
- Planta de granulometría fina. Un molino granulador produce gránulos entre malla 8 y malla 30, para luego separar las partículas en los productos finales.

Figura 23. **Máquina para granulometría fina del polvo de llanta**



Fuente: Inregua, S.A.

- Extractor de fibra. Un conjunto de ciclones extrae la fibra del material que se genera, el cual es utilizado en la elaboración de artículos de cemento, tejas, etc.
- Extractor de acero. El acero pulverizado casi por completo es separado del gránulo de caucho en la última etapa, debido a la presencia de electroimanes en línea.

Figura 24. **Extracto de fibras textiles y acero de la llanta**



Fuente: Inregua, S.A.

- Separador de partículas. Por último, una máquina se encarga de procesar y clasificar los gránulos en tamaños de 5, 4, 3, 2 y 1 mm. También se genera un desperdicio denominado polvillo de 0,25 mm., usado en mezclas de asfalto, impermeabilizantes, etc.

El objetivo de este proceso es separar el caucho de los elementos de acero que forman parte de la llanta para emplearlo molido, según el tamaño que requiera el cliente. Este producto se almacena en sacos para venderlo por quintal.

La planta cuenta con un equipo de recolección que recorre la ciudad para llevar el material hacia el centro de acopio. También tiene el apoyo de varias empresas que colaboran.

Figura 25. **Separador de partículas, disposición del granulado de caucho para su venta**



Fuente: Inregua, S.A.

### **3.2. Transporte y preparación de materia prima**

Las llantas transformadas en gránulos se recogen en la planta. Para ello, es necesario definir el tamaño que se utilizará, según la aplicación y las recomendaciones de los propietarios, quienes saben el uso que se les puede brindar. Para este estudio, se necesitan partículas de 3 mm para tratarlas como un agregado fino en la mezcla de concreto. De esta manera, se realizarán los ensayos para conocer sus características físicas, principalmente, y compararlas con los parámetros establecidos por las normas.

Figura 26. **Chip de 3 mm., adquirido para las pruebas de laboratorio**



Fuente: Inregua, S.A.

Dado que el caucho triturado se considera como una adición en la dosificación de las batchadas, por medio del resultado de las pruebas se define la cantidad que será agregada. Estas no deben alterar, de manera muy drástica, las propiedades mecánicas del concreto, entre las que sobresale su resistencia a compresión y a flexión. También otras como su trabajabilidad y la adherencia entre agregados con el material cementante que conforman la uniformidad del material fabricado.

Se adquirió la cantidad necesaria de chip de 3 mm., para trasladar las muestras empacadas en sacos hacia el Centro de Investigaciones de Ingeniería (CII) de la Universidad de San Carlos de Guatemala, donde fueron depositadas para llevar a cabo los análisis.



## **4. DESARROLLO EXPERIMENTAL**

### **4.1. Ensayos de laboratorio realizados al polvo de llanta como agregado fino**

El caucho que conforma la llanta triturada es un polímero elástico que se obtiene como una emulsión lechosa, conocida como látex. Esta emulsión proviene de la savia de varias plantas, aunque también se puede obtener de manera sintética. La llanta está compuesta por un 80% de caucho, 15% de acero y 5% de nylon después de su vida útil. Debido a su estabilidad química se estima que tiene una degradación de 600 años aproximadamente.

Como puede observarse el mayor componente es el caucho que resulta de un proceso de vulcanización, en el cual se mezcla con azufre y se le aplica calor y presión, mejorando su plasticidad y resistencia. Esto hace que el caucho sea más estable, duro, durable y resistente al ataque químico, sin perder la elasticidad natural que lo caracteriza. También se modifica, al poseer una superficie pegajosa, en una superficie suave que no permite adherencia a metales o sustratos plásticos.

Por ello se puede decir que el caucho no altera las propiedades químicas del concreto al tratarlo como un agregado fino dentro de la mezcla. Por esta razón, se realizaron ensayos que pertenecen a este tipo de agregados para obtener parámetros que puedan ser comparados con los establecidos por las normas ASTM y considerar su aplicación en un concreto normal, aclarando que las partículas del polvo de llanta no son un material pétreo.

#### **4.1.1. Resultados y análisis de resultados**

##### **4.1.1.1. Agregado fino**

###### **4.1.1.1.1. Impurezas orgánicas norma NTG 41007 h1 (ASTM C – 33, C 87 – 83 y C 40 – 48)**

Los límites para el contenido de materia orgánica se muestran en la tabla VII del capítulo 2. Para el caso de la muestra de polvo de llanta no aplica este ensayo dadas las condiciones de limpieza que ofrece el proveedor del material, por lo que, a simple vista, se observa libre de contaminación, cumpliendo con el máximo grado permisible que es el número 3.

###### **4.1.1.1.2. Peso específico norma NTG 41010 h9 (ASTM C 128 – 88)**

El peso específico es una característica única de cada material, se utiliza para la estimación de cantidad de material y en los cálculos de proporciones para diversas mezclas donde entre en juego el material bajo análisis. El polvo de llanta presentó un peso específico (densidad relativa) de 0,96 (Ver anexo, Pág. 165)

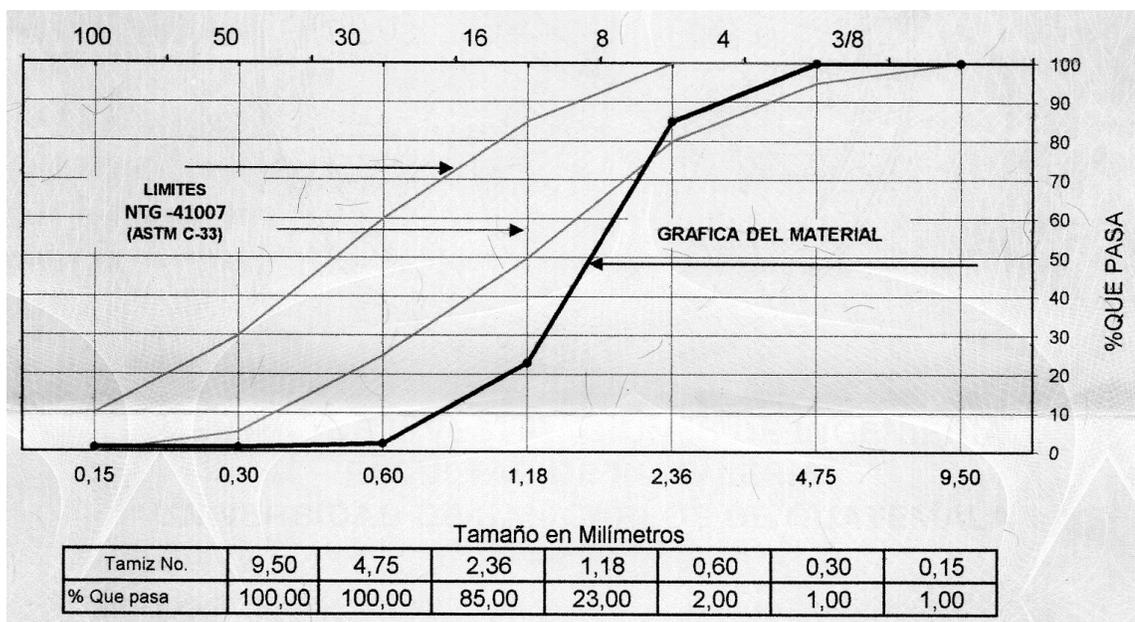
###### **4.1.1.1.3. Granulometría norma NTG 41007 h1 (ASTM C 33-90)**

Siguiendo los lineamientos de la norma ASTM C 33, los resultados para la granulometría del caucho triturado (Ver anexo, Pág. 165) cumple únicamente en el tamiz No. 4, en el resto de tamices No. 8, No. 16, No. 30, No. 50 y No. 100 se tienen altos porcentajes de retenidos. Muestran una graduación no uniforme, lo

que da lugar a la generación de bastantes espacios vacíos dentro de la mezcla y causan una baja en el peso unitario del concreto.

Para efectos de comparación el caucho no cumple con las especificaciones de la norma.

Figura 27. **Granulometría del polvo de llanta (Chip de 3 mm)**



Fuente: Informe de resultados del CII SACM – 256, No. 8108.

También puede observarse en el anexo (Pág. 165) que el módulo de finura del polvo de llanta es de 3,88. Este se encuentra por encima de los límites usados para considerar a la arena apta para concretos de 2,3 y 3,1; el material se clasifica como un agregado muy grueso.

**4.1.1.1.4.      Peso unitario norma NTG  
41010 h2 (ASTM C29/C  
29M90)**

Los resultados para esta prueba (Ver anexo, Pág. 165) muestran que el peso unitario suelto del polvo de llanta es de 410,00 kg/m<sup>3</sup> y el peso unitario compactado es de 470,00 kg/m<sup>3</sup>, clasificándolo muy por debajo de lo normal. Esto se debe al poco peso que presenta el caucho de manera inherente a su naturaleza.

**4.1.1.1.5.      Porcentaje de vacíos norma  
NTG 41010 h2 (ASTM C 138 –  
81 y C 231 – 89)**

Basado en el informe del anexo (Pág. 165) el porcentaje de vacíos del material es de 57,00 % suelto y 51,00 % compactado, respectivamente. Según especificaciones de norma el porcentaje de vacíos para un agregado fino varía entre un 40% a un 50%, por lo que los resultados no se alejan tanto de estos parámetros. Se debe tener en cuenta que, porcentajes mayores a los recomendados, generan una mayor demanda de agua y cemento.

**4.1.1.1.6.      Porcentaje de absorción  
norma NTG 41010 h19 (ASTM  
C 127 – 88)**

Para este caso el polvo de llanta no fue sometido a este ensayo por la naturaleza del mismo, dado que al someterse a calor pudiera modificar su densidad o alguna otra característica. Al entrar en contacto con el agua, el caucho flota o se sumerge por un corto lapso, sin que se observen cambios en su apariencia por posible absorción del líquido.

#### **4.1.1.2. Concreto fresco**

##### **4.1.1.2.1. Diseño de mezclas**

Finalizados los análisis físicos y mecánicos, se logró caracterizar al material teniendo en cuenta que no cumple con la mayoría de parámetros para considerarse un agregado fino. Por esta razón, desde un principio se estableció como una adición al concreto y no como un sustituto de material pétreo que pueda afectar drásticamente las propiedades del producto final. Sobre la base de estudios realizados al polvo de llanta en otros elementos, tanto en el ámbito nacional como en el internacional, se acordó utilizar dos proporciones de caucho para los diseños, además de la muestra patrón que sirve de comparación entre las propiedades que se presenten. Para llevar a cabo el diseño, se utiliza una proporción única en la cual variará el porcentaje de caucho adicionado, respecto a la suma de los agregados grueso y fino de la mezcla en cuestión.

Se diseña para un concreto con una resistencia de 210 kg/cm<sup>2</sup> (3 000 PSI) y un factor de seguridad de 36 kg/cm<sup>2</sup> (500 PSI), sumando un total de 246 kg/cm<sup>2</sup> (3 500 PSI). La proporción obtenida por medio del método del Centro de Investigaciones de Ingeniería (CII) es de 1:2,19:2,79:0,57 (cemento: arena: pedrín: agua).

Las variaciones de caucho empleadas son del 10% y el 5%. Esto se debe a que sus antecedentes denotan que, mientras se aumenta el porcentaje se reduce la resistencia a compresión del concreto, considerando que se requiere que dicha resistencia disminuya en la menor cantidad posible, optimizando la cantidad de polvo de llanta que provea dicha condición, para emplear elementos de concreto con las características que se obtienen al contener dicho material adicionado.

#### 4.1.1.2.2. Asentamiento

Los asentamientos presentados en el diseño se encuentran en la tabla IX.

Tabla IX. **Asentamientos obtenidos para el diseño de mezclas establecido**

<b>Parámetro</b>	<b>Patrón</b>	<b>10% caucho</b>	<b>5% caucho</b>
<b>Asentamiento (cm)</b>	7,00	2,54	3,81

Fuente: elaboración propia.

El asentamiento de diseño para las mezclas es de 8 a 10 cm por lo que se puede utilizar en la mayoría de las aplicaciones. El asentamiento de la mezcla patrón, a pesar de estar por debajo del diseño, presentó una buena trabajabilidad, teniendo presente que el agregado fino utilizado se encontraba con cierta humedad lo que puede explicar esa pequeña variación. Para ambas mezclas con caucho, el asentamiento se reduce considerablemente, a tal punto que podrían catalogarse como mezclas secas o con poco revenimiento pero eran manejables, ya que el caucho les ofreció una característica de plasticidad que pudo darse, posiblemente, por la elasticidad de los gránulos de llanta.

#### 4.1.1.2.3. Contenido de aire

Los contenidos de aire de las mezclas se muestran en la tabla X.

Tabla X. **Contenido de aire en las muestras de concreto**

<b>MUESTRAS DE LABORATORIO</b>			
<b>Parámetro</b>	<b>Patrón</b>	<b>10% caucho</b>	<b>5% caucho</b>
<b>Contenido de aire (%)</b>	1,50	5,00	2,60

Fuente: elaboración propia.

Todas las mezclas están entre el rango inferior de 7% que considera la norma como aceptable. Cabe destacar que el caucho incrementa el contenido de aire conforme aumenta el porcentaje. Para los objetivos de este estudio es un factor favorable ya que indica más espacios vacíos en el concreto, idóneos para la disipación o absorción de las ondas de sonido.

#### **4.1.1.2.4. Peso unitario**

El peso unitario de la mezcla patrón y de las mezclas con adición de polvo de llanta se presentan a continuación:

Tabla XI. **Pesos unitarios de las mezclas de concreto**

<b>MUESTRAS DE LABORATORIO</b>			
<b>Parámetro</b>	<b>Patrón</b>	<b>10% caucho</b>	<b>5% caucho</b>
<b>Peso unitario (kg/m<sup>3</sup>)</b>	2 430	2 125	2 260

Fuente: elaboración propia.

Los resultados reflejan una consistencia aceptable en todos los casos para los concretos obtenidos, donde el caucho reduce los pesos por su densidad, pero no de manera desfavorable. Para la manipulación de los paneles presentan una ventaja dichas reducciones de peso.

#### 4.1.1.2.5. Velocidad de endurecimiento

La velocidad de endurecimiento para cada mezcla se muestra en la tabla XII (Ver anexo, Págs. 170 y 171)

Tabla XII. **Tiempos de fraguado de las muestras de concreto**

<b>MUESTRAS DE LABORATORIO</b>				
<b>Parámetro</b>	<b>Fraguado</b>	<b>Patrón</b>	<b>10% caucho</b>	<b>5% caucho</b>
<b>Velocidad de endurecimiento (min)</b>	<b>Inicial</b>	311	394	394
	<b>Final</b>	445	635	569

Fuente: elaboración propia.

Los resultados anteriores se detallan de las siguientes tablas de datos:

- **Muestra patrón**

Tabla XIII. **Datos del ensayo para velocidad de endurecimiento del concreto patrón**

<b>No.</b>	<b>Tiempo (hrs)</b>	<b>Tiempo (min)</b>	<b>Fuerza (L)</b>	<b>Aguja (plg<sup>2</sup>)</b>	<b>Esfuerzo (PSI)</b>
1	3,0	180	41	1	41
2	3,5	210	86	1	86
3	4,0	240	81	1/2	162
4	4,5	270	68	1/4	272
5	5,0	300	92	1/4	368
6	5,5	330	72	1/10	720
7	6,0	360	126	1/10	1 260
8	6,5	390	105	1/20	2 100

Continuación tabla XIII.

No.	Tiempo (hrs)	Tiempo (min)	Fuerza (L)	Aguja (plg <sup>2</sup> )	Esfuerzo (PSI)
9	7,0	420	83	1/40	3 313
10	7,5	450	103	1/40	4 135

Fuente: elaboración propia.

Figura 28. **Velocidad de endurecimiento concreto patrón**



Fuente: elaboración propia.

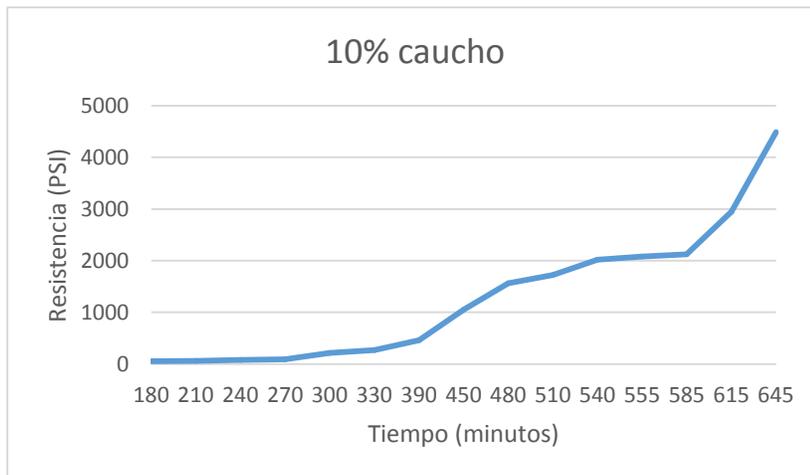
- **Muestra con 10% de caucho**

Tabla XIV. **Datos del ensayo para velocidad de endurecimiento del concreto con 10% de caucho**

No.	Tiempo (horas)	Tiempo (min)	Fuerza (L)	Aguja (plg <sup>2</sup> )	Esfuerzo (PSI)
1	3,00	180	50	1	50
2	3,50	210	58	1	58
3	4,00	240	76	1	76
4	4,50	270	90	1	90
5	5,00	300	106	1/2	212
6	5,50	330	67	1/4	268
7	6,50	390	115	1/4	460
8	7,50	450	105	1/10	1 050
9	8,00	480	78	1/20	1 560
10	8,50	510	86	1/20	1 720
11	9,00	540	101	1/20	2 020
12	9,25	555	104	1/20	2 080
13	9,75	585	106	1/20	2 120
14	10,25	615	74	1/40	2 947
15	10,75	645	112	1/40	4 487

Fuente: elaboración propia.

Figura 29. **Velocidad de endurecimiento concreto con 10% de caucho**



Fuente: elaboración propia.

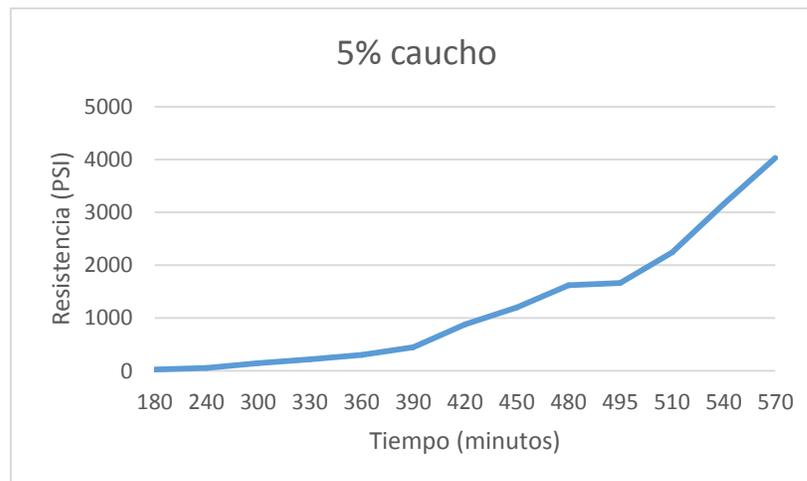
- **Muestra con 5% de caucho**

Tabla XV. **Datos del ensayo para velocidad de endurecimiento del concreto con 5% de caucho**

No.	Tiempo (horas)	Tiempo (min)	Fuerza (L)	Aguja (pulg <sup>2</sup> )	Esfuerzo (PSI)
1	3,00	180	22	1	22
2	4,00	240	55	1	55
3	5,00	300	72	1/2	144
4	5,50	330	110	1/2	220
5	6,00	360	76	1/4	304
6	6,50	390	112	1/4	448
7	7,00	420	88	1/10	880
8	7,50	450	60	1/20	1 200
9	8,00	480	81	1/20	1 620
10	8,25	495	83	1/20	1 660
11	8,50	510	112	1/20	2 240
12	9,00	540	79	1/40	3 157
13	9,50	570	101	1/40	4 028

Fuente: elaboración propia.

Figura 30. **Velocidad de endurecimiento concreto con 10% de caucho**



Fuente: elaboración propia.

La velocidad de endurecimiento se centra en el control de los tiempos de fraguado del concreto en obra para considerar el mejor momento de desencofrar los elementos construidos sin causarles daño.

#### 4.1.1.3. Concreto endurecido

##### 4.1.1.3.1. Resistencia a compresión

El análisis del  $f'c$  se rige por el ensayo a compresión de cilindros a las edades de 3, 7 y 28 días (Ver anexo, Págs. 167, 168 y 169). Se presentan las tablas con los resultados de las resistencias para cada mezcla con sus edades respectivas.

- **Muestra patrón**

Tabla XVI. **Resultados del ensayo de resistencia a compresión para cilindros de concreto patrón**

No. de cilindro en obra	No. de cilindro en laboratorio	Edad (días)	Resistencia (Mpa)	Resistencia (PSI)	$\sigma$ promedio (PSI)	% de $f'c$ de diseño
1	61-08	3	19,30	2 800	2 675	93
2	62-08	3	17,60	2 550		85
3	63-08	7	23,10	3 350	3 255	112
4	64-08	7	21,80	3 160		105
5	65-08	28	30,20	4 380	4 410	146
6	66-08	28	30,60	4 440		148

Fuente: elaboración propia.

- **Muestra con 10% de polvo de llanta**

Tabla XVII. **Resultados del ensayo de resistencia a compresión para cilindros de concreto con 10% de polvo de llanta**

No. de cilindro en obra	No. de cilindro en laboratorio	Edad (días)	Resistencia (Mpa)	Resistencia (PSI)	$\sigma$ promedio (PSI)	% de f'c de diseño
1	67-08	3	4,30	620	630	21
2	68-08	3	4,40	640		21
3	69-08	7	6,40	930	870	31
4	70-08	7	5,60	810		27
5	71-08	28	8,90	1 290	1 275	43
6	72-08	28	8,70	1 260		42

Fuente: elaboración propia.

- **Muestra con 5% de polvo de llanta**

Tabla XVIII. **Resultados del ensayo de resistencia a compresión para cilindros de concreto con 5% de polvo de llanta**

No. de cilindro en obra	No. de cilindro en laboratorio	Edad (días)	Resistencia (Mpa)	Resistencia (PSI)	$\sigma$ promedio (PSI)	% de f'c de diseño
1	73-08	3	8,40	1 220	1 200	41
2	74-08	3	8,10	1 180		39
3	75-08	7	10,80	1 570	1 600	52
4	76-08	7	11,20	1 630		54

Continuación tabla XVIII.

No. de cilindro en obra	No. de cilindro en laboratorio	Edad (días)	Resistencia (Mpa)	Resistencia (PSI)	$\sigma$ promedio (PSI)	% de $f'c$ de diseño
5	77-08	28	14,20	2 060	1995	69
6	78-08	28	13,30	1 930		64

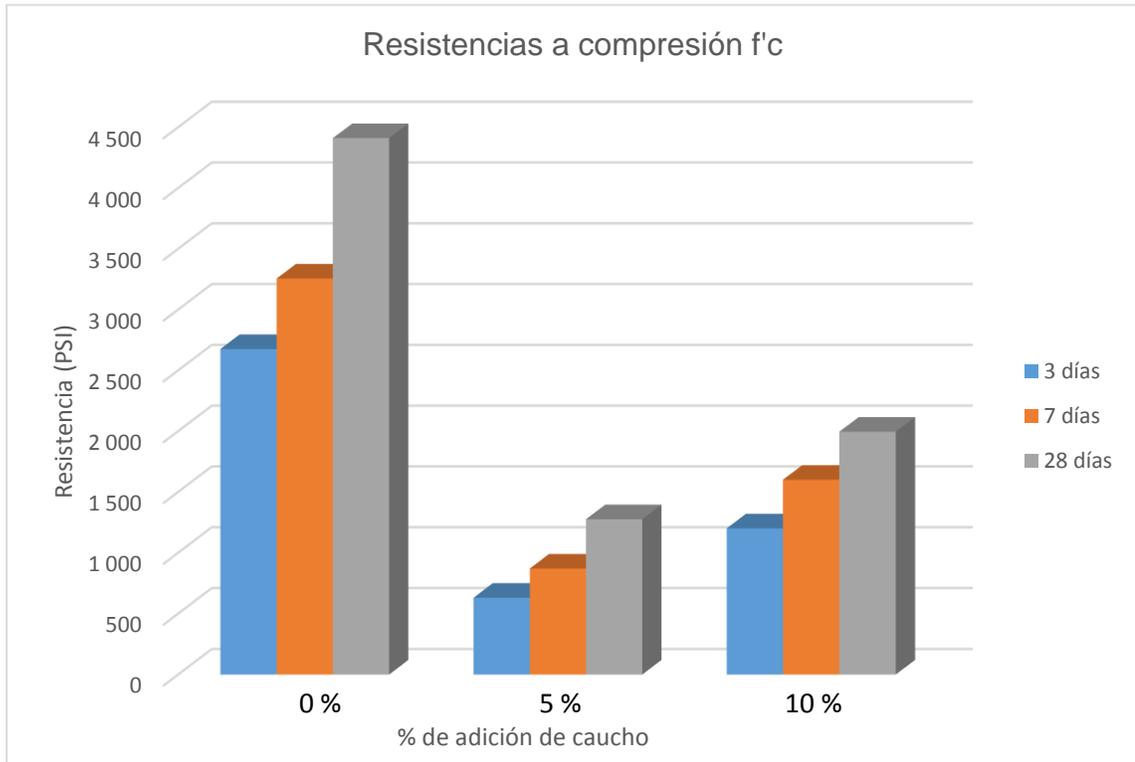
Fuente: elaboración propia.

Los resultados muestran que el concreto patrón superó la resistencia de diseño con un valor de resistencia a compresión promedio de 4 410 PSI (146 - 148% respecto al diseño). Esto se debe a que se utilizó una menor cantidad de agua, dadas las condiciones que presentaban los materiales componentes del concreto. Así mismo, para las proporciones con caucho se observa que a los 28 días para la mezcla con 10% de caucho se obtiene un valor promedio de 1 275 PSI (42 - 43% respecto al diseño) y para la bachada de 5% de caucho 1 995 PSI (64 - 69% respecto al diseño). Con ello se demuestra que, a mayor cantidad de polvo de llanta, mayor es la baja en la resistencia.

Por lo tanto, estos datos se utilizan para definir la proporción que se aplicará en la construcción de los paneles. Se elige la de 5% de caucho que tiene una resistencia aceptable para la elaboración de los elementos que serán destinados como divisiones en ambientes o en fachadas, sin considerarse como muros portantes.

El siguiente cuadro comparativo muestra las variaciones que se presentaron al adicionar el polvo de llanta en las proporciones propuestas, con respecto a la resistencia a compresión del concreto, a diferentes edades.

Figura 31. **Cuadro comparativo de las resistencias a diferentes edades para los porcentajes de caucho empleados**



Fuente: elaboración propia.

#### 4.1.1.3.2. Resistencia a flexión

De las tres mezclas realizadas se hicieron tres vigas que fueron utilizadas para ensayarlas a flexión y poder conocer el módulo de ruptura del concreto, tanto del patrón como de las dos proporciones con caucho. El módulo de ruptura se encuentra cerca del 10 al 20% del esfuerzo a compresión del concreto. Influyen el tipo, las dimensiones y el volumen del agregado grueso contenido en la mezcla.

El código de construcción del ACI, basado en un número amplio de pruebas, brinda un módulo de ruptura calculado como  $2\sqrt{f'c}$ ; donde  $f'c$  está dado en  $\text{kg/cm}^2$ .

La tabla XIX refleja los resultados obtenidos para las tres vigas ensayadas a los 28 días de edad, para asegurar que el concreto ya alcanzó la totalidad de su resistencia.

Tabla XIX. **Valores obtenidos del ensayo de resistencia a flexión del concreto**

<b>RESULTADOS</b>								
<b>Muestra</b>	<b>Largo l (cm)</b>	<b>Espesor d (cm)</b>	<b>Ancho b (cm)</b>	<b>Luz L (cm)</b>	<b>Carga P (kg)</b>	<b>Módulo de ruptura R (Mpa)</b>	<b>Módulo de ruptura R (PSI)</b>	<b>Absorción (%)</b>
<b>Patrón</b>	53,27	15,40	15,10	48,26	2 900	5,75	835	2,13
<b>10% caucho</b>	52,37	15,43	15,33	48,26	1 300	2,50	360	2,81
<b>5% caucho</b>	53,80	15,43	15,30	48,26	1 885	3,70	535	6,46

Fuente: elaboración propia.

La muestra patrón supera en gran número al valor dado por la norma. Lo mismo sucede con las muestras con caucho. A pesar de la reducción del esfuerzo a flexión al agregar caucho en las diferentes proporciones, mantiene el comportamiento que a mayor cantidad de caucho mayor es la reducción de las propiedades mecánicas del elemento.

## **4.2. Elaboración de paneles de concreto con polvo de llanta**

### **4.2.1. Definición de dimensiones**

El aislamiento tiene como objetivo reducir, al máximo, la energía que atraviesa a un elemento constructivo. Para esto, se utilizan de manera regular, materiales o recursos que hacen que este efecto de reflexión suceda. Principalmente, se instalan materiales con impedancias muy diferentes a las del medio que conduce el sonido.

El aislamiento de un material está en función de sus propiedades mecánicas y responde a la Ley de Masas, la cual postula que al aumentar al doble la masa se incrementa en un orden de 6 dB al aislamiento acústico. Esto significa que se tiene una reducción sonora provocada por la barrera que separa dos ambientes.

Para que una estructura sea considerada como un aislante de sonido se requiere que esté compuesta de materiales pesados y de gran densidad, características que cumple el concreto. Por esta razón, los paneles utilizados para divisiones en domicilios o en fachadas y que no cuentan con elementos diseñados para absorber o aislar sonido, deben ser de grandes espesores. Sus rangos se encuentran entre 8 y 12 cm. Sin embargo, existen muros con dimensiones mayores a las mencionadas en casos especiales. Tanto mayor sea el espesor se cumplirá de mejor manera el postulado de la Ley de Masas.

La mayoría de paneles son prefabricados por lo que sus anchos y alturas vienen dadas según las necesidades. Puede haber paneles de hasta 3,00 por 12,00 m.

El Reglamento General de Construcción de la ciudad de Guatemala establece que las dimensiones mínimas para una habitación sean de 9 m<sup>2</sup> con una altura de 2,10 m., como mínimo. Con base en esto se propone la elaboración de paneles usando una escala 3:1, obteniendo las siguientes dimensiones:

- 2 paneles de 1,00 x 0,70 m.
- 2 paneles de 1,16 x 0,70 m.

Todos los paneles tienen un espesor de 0,08 m.

Para ensamblar el cajón a escala se cubre un espacio de 1,00 x 1,00 x 0,70 m.; que equivalen a una habitación de 3,00 x 3,00 x 2,10 m. (largo, ancho y altura, respectivamente). Sumando una cubierta de 1,05 x 1,05 m y espesor de 0,05 m, que representa el techo de la estructura para evitar que el sonido escape en esa dirección al emitir la fuente de sonido.

Figura 32. **Formaletas y materiales para los paneles**



Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería, USAC.

#### 4.2.2. Construcción de los paneles

Para elaborar los paneles se utilizaron los materiales ensayados en el laboratorio:

- Cemento: Portland tipo I (uso general en la Construcción)
- Agregado grueso: Basalto de 1/2" (Tamaño Máximo Nominal: 3/4")
- Agregado fino: Arena triturada y lavada, de origen basáltica
- Caucho: Chip de 3 mm.
- Agua potable.

Las cantidades obtenidas del diseño teórico para la mezcla con el 5% de caucho establecido presentan los siguientes valores:

Tabla XX. **Cantidades teóricas del diseño de mezclas para concreto**

<b>Material</b>	<b>Cantidad (kg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Volumen (m<sup>3</sup>)</b>	<b>Peso (kg)</b>
Cemento	351,00	0,296	104,0
Arena	770,00	0,296	228,0
Piedrín	979,00	0,296	290,0
Agua	200,00	0,296	59,2
Caucho	87,45	0,296	25,9

Fuente: elaboración propia.

Proporción volumétrica: 1:2,19:2,79:0,57

Se conformaron formaletas de madera para los paneles interiores y exteriores, así como para la cubierta, dispuestas en un suelo firme y nivelado.

Se contaba con 4 cimbras para realizar dos fundiciones, una para el concreto patrón y otra con la adición de llanta triturada. La mezcla de los materiales se completó en una concretera eléctrica con rotación manual sobre su eje horizontal.

Dado su proceso de construcción, los paneles se consideran prefabricados. Por ello, contienen un armado con malla electro soldada 6"x6" calibre 4.5/4.5 sujeta con pines y alambre de amarre para proporcionarle tensión al momento de la fundición. Con lo anterior, los elementos obtienen más rigidez y mayor resistencia a esfuerzos tensionales. También se evitan posibles rupturas al ser manipulados con polipasto para levantarlos y colocarlos en las posiciones requeridas en los ensayos de sonido.

**Figura 33. Fundición de paneles de concreto**



Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería, USAC.

Se llevó a cabo el llenado de las formaletas varillando el material para que formara una masa uniforme y distribuida en el espacio que la contendría, dándole un acabado rústico en la superficie.

Las pruebas de asentamiento para la mezcla patrón y la de adición con caucho cumplieron con los resultados de 8,00 y 3,50 cm; respectivamente, obtenidos anteriormente en el laboratorio. Esto garantiza la homogeneidad de la mezcla en obra, al tener la trabajabilidad esperada por los ensayos de laboratorio.

Se estableció el tiempo necesario para el desencofrado y un curado por riego durante 3 días a cada juego de paneles, los cuales estuvieron cubiertos por lona para mantener un grado de humedad estable. De esta manera se evitan agrietamientos por el calor de hidratación despedido por el concreto.

Figura 34. **Curado de paneles y formaletas con su armado para la segunda fundición**



Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería, USAC.

Las pruebas de sonido fueron realizadas después de los 28 días, cuando se fundieron ambos cajones, para asegurar el alcance de la resistencia de diseño a compresión y el término de su fraguado.

Para el sello de las juntas que quedaron al posicionar los paneles, se usaron materiales orgánicos: papel periódico molido, yuquilla y agua. El producto de esta mezcla es una pasta de papel que se endurece en un día y medio, la cual es suficiente y económica para los fines de esta prueba.

Figura 35. **Manipulación de paneles con puente grúa y polipasto**



Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería, USAC.

Por cada 4 cucharadas de papel molido (40 g. aprox.) se agregan 3 cucharadas del engrudo (previamente cocido), se mezclan vigorosamente y se obtiene la pasta.

Al momento de colocar la cubierta para las pruebas respectivas se utilizaron tiras de poliestireno expandido (*duroport*) para hermetizar la junta entre los paneles y ella. Se consideró este material, por sus propiedades aislantes, al estar incluido entre cerramientos o divisiones de ambientes para la minimización de ruido.

Figura 36. **Aplicación de pasta de papel para el sello de juntas**



Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería, USAC.

#### **4.3. Pruebas de sonido al sistema tipo cajón a escala**

##### **4.3.1. Especificaciones técnicas del instrumento de medición**

Para la toma de datos se utilizó un decibelímetro (sonómetro) *Solo SLM Black Edition* marca 01dB que cuenta con las siguientes características:

- Cumple con la norma IEC 61672-1 estándar (2002) y normativas anteriores.
- Precisión de medición clase 1 o clase 2.
- Análisis en tiempo real de frecuencias con 1/1 y 1/3 de octava.
- Rango dinámico: 110 dB.
- En clase 1 y clase 2 muestra un rango dinámico de 30 – 137 dB(A)
- Ponderaciones: A, B, C y Z.
- Modo borrado anterior: borra los últimos 10 s. de señal recibidos.
- Medidas en paralelo de todos los indicadores.
- Multipropósito: sonido ocupacional y ambiental.

- Mide niveles continuos equivalentes  $L_{eq}$ , niveles de presión  $L_p$  y niveles máximos (o picos)  $L_{pk}$ , definidos en las diferentes regulaciones acústicas.
- Cuenta con un software para la carga de datos (*Dbtrait*) y es compatible para impresión directa.
- Tiempos de medición de 1 a 60 segundos y en períodos continuos de 24 horas.

Dicho aparato forma parte del inventario de la sección de Control de Calidad del Centro de Investigaciones de Ingeniería, la cual brindó todo su apoyo para llevar a cabo la recopilación de los datos e interpretar los resultados que se obtuvieron.

Figura 37. **Sonómetro utilizado durante las pruebas de sonido**



Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería, USAC.

### 4.3.2. Especificaciones técnicas del aparato de sonido

Se dispuso de un equipo de sonido estéreo SA - AK331, marca Panasonic que presenta las siguientes características:

- Sección del amplificador: potencias de salida FTC y RMS
  - Distorsión armónica total: 10%, ambos canales excitados.
  - 100 Hz – 3 kHz (Canal bajo) 64 W por canal (5  $\Omega$ ).
  - 3 kHz – 10 kHz (Canal alto) 60 W por canal (5  $\Omega$ ).
  - Potencia total del sistema biamplificador FTC Y RMS: 248 y 360 W, respectivamente.
- Sección de altavoces:
  - Tipo: sistema de 3 altavoces de 3 vías (Reflejo de graves)
  - Altavoz para graves: tipo cónico de 16 cm.
  - Altavoz para agudos: tipo cónico de 6 cm.
  - Altavoz para súper agudos: tipo piezoeléctrico.
  - Impedancia alta y baja: 5  $\Omega$ .
  - Potencia de entrada IEC alta y baja: 90 W (Máx.)
  - Nivel de presión acústica de salida: 83 dB/W (1,0 m.)  
2,6 kHz, 10 kHz
  - Gama de frecuencias: 37 Hz – 23 kHz (-16 dB)  
44 Hz – 22 kHz (-10 dB)

### 4.3.3. Procedimiento

- Se consideraron 3 escenarios diferentes para las mediciones:
  - Fuente de sonido sin ninguna clase de aislante (sonido expuesto)
  - Fuente de sonido dentro de ambos cajones sin cubierta

- Fuente de sonido dentro de ambos cajones con cubierta
- Las medidas se tomaron a distintas distancias para todos los escenarios de la siguiente manera:
  - Para el escenario 1: 1, 2, 3, 4 y 5 metros.
  - Para los escenarios 2 y 3: 2, 3 y 5 metros.

Teniendo de referencia las bocinas que emitían el sonido.

- Se utilizaron 3 tipos de sonidos: Tránsito de ciudad (sonido A), discoteca (sonido B) y martillo neumático (sonido C).
- La altura del decibelímetro para todas las medidas fue de 1,00 m desde el nivel de referencia del suelo.
- Se tomaron los valores máximos a cada distancia para tres niveles de volumen diferentes durante un intervalo de 20 a 30 s. en cada medición.
- Se midió el ruido ambiental al inicio y al final de la prueba, presentándose variaciones durante la misma.

**Figura 38. Colocación de cubierta para prueba de sonido**



Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería, USAC.

## 5. RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

A continuación, se presentan los resultados obtenidos en las pruebas de sonido para cada condición o escenario recreado, la tabulación de los datos con sus respectivas gráficas y valores promedio para cada caso.

La fuente emitió los sonidos a los siguientes niveles de volumen, definidos por el aparato utilizado:

Tabla XXI. **Niveles de volumen durante las pruebas en todos los escenarios**

Nivel bajo (Nb)	-24 dB
Nivel medio (Nm)	-12 dB
Nivel alto (Na)	0 dB

Fuente: elaboración propia.

Se describe cada escenario con su respectiva condición.

**Ruido inicial:** 64,0 dB

**Ruido final:** 62,4 dB

**Tipo de sonido**

- A = Tránsito (ciudad)
- B = Discoteca
- C = Martillo neumático

**Condición:**

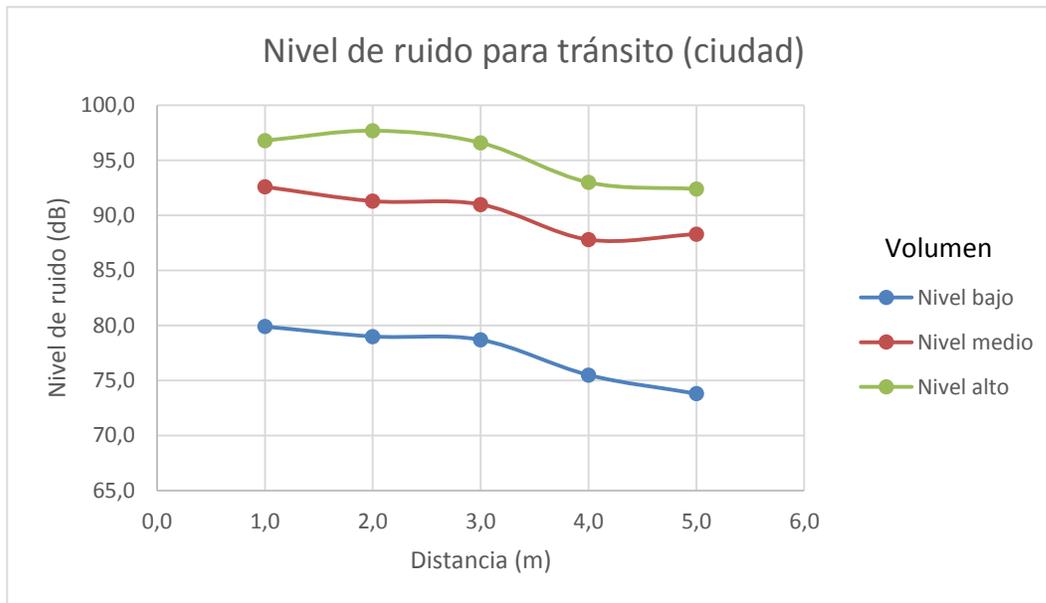
Sin aislante

Tabla XXII. **Resultados para tránsito (ciudad) sin aislante**

Sonido	Distancia (m)	Nivel de ruido (dB)			
		Nb	Nm	Na	N prom
A	1,0	79,9	92,6	96,8	89,8
A	2,0	79,0	91,3	97,7	89,3
A	3,0	78,7	91,0	96,6	88,8
A	4,0	75,5	87,8	93,0	85,4
A	5,0	73,8	88,3	92,4	84,8

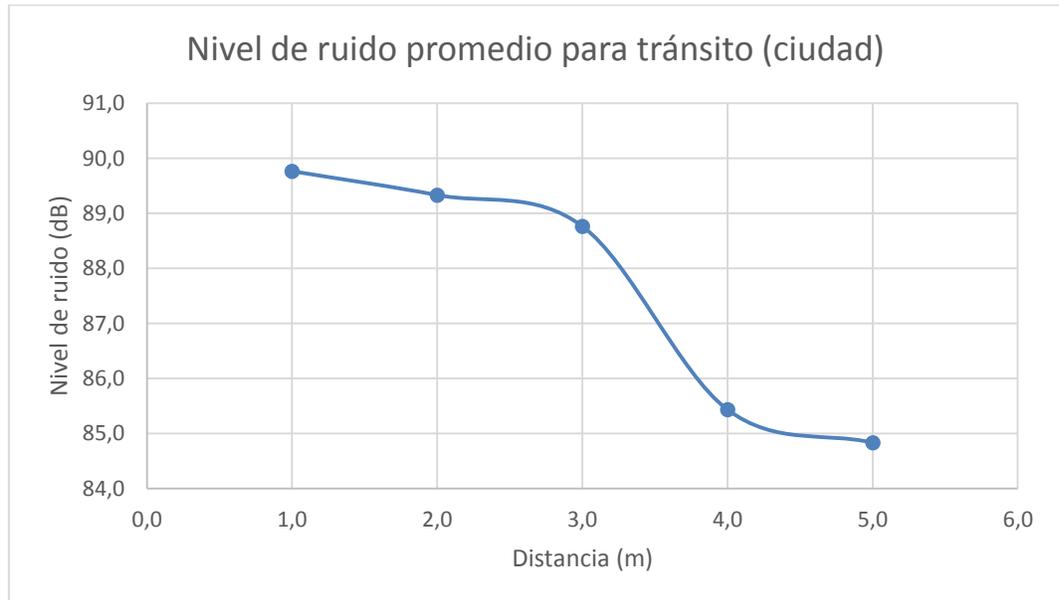
Fuente: elaboración propia.

Figura 39. **Niveles de ruido para tránsito (ciudad) sin aislante**



Fuente: elaboración propia.

Figura 40. **Nivel de ruido promedio para tránsito (ciudad) sin aislante**



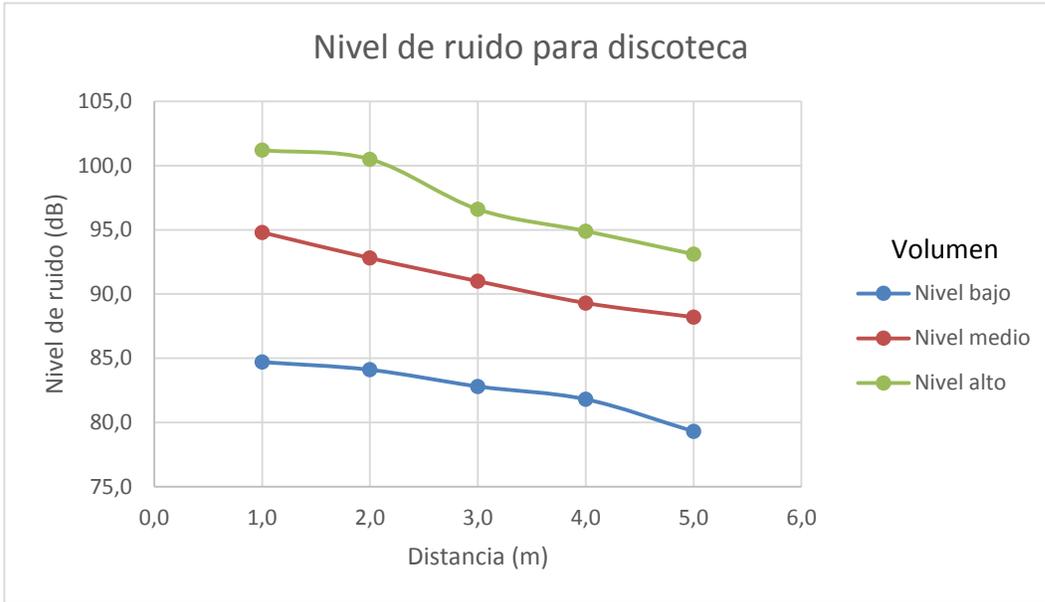
Fuente: elaboración propia.

Tabla XXIII. **Resultados para discoteca sin aislante**

Sonido	Distancia (m)	Nivel de ruido (dB)			
		Nb	Nm	Na	N prom
B	1,0	84,7	94,8	101,2	93,6
B	2,0	84,1	92,8	100,5	92,5
B	3,0	82,8	91,0	96,6	90,1
B	4,0	81,8	89,3	94,9	88,7
B	5,0	79,3	88,2	93,1	86,9

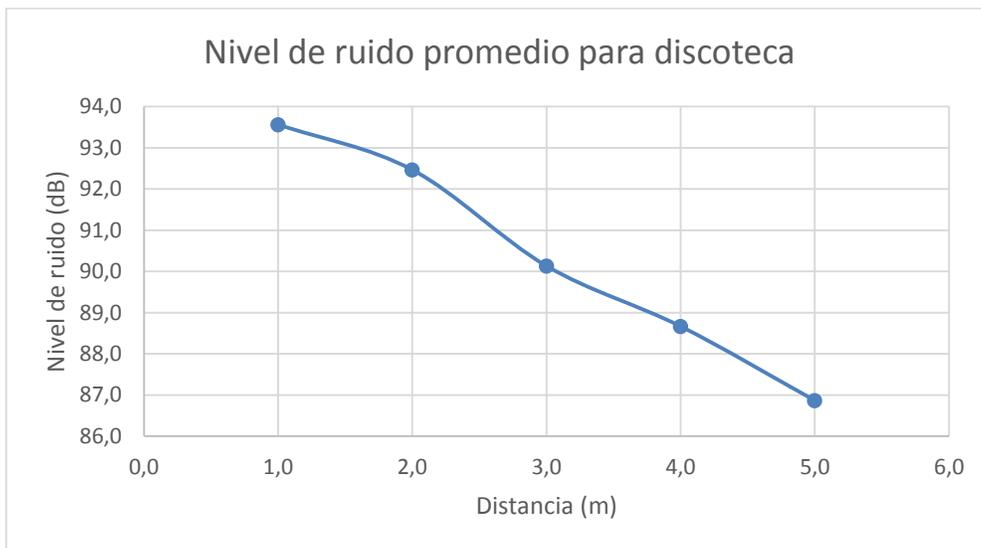
Fuente: elaboración propia.

Figura 41. **Niveles de ruido para discoteca sin aislante**



Fuente: elaboración propia.

Figura 42. **Nivel de ruido promedio para discoteca sin aislante**



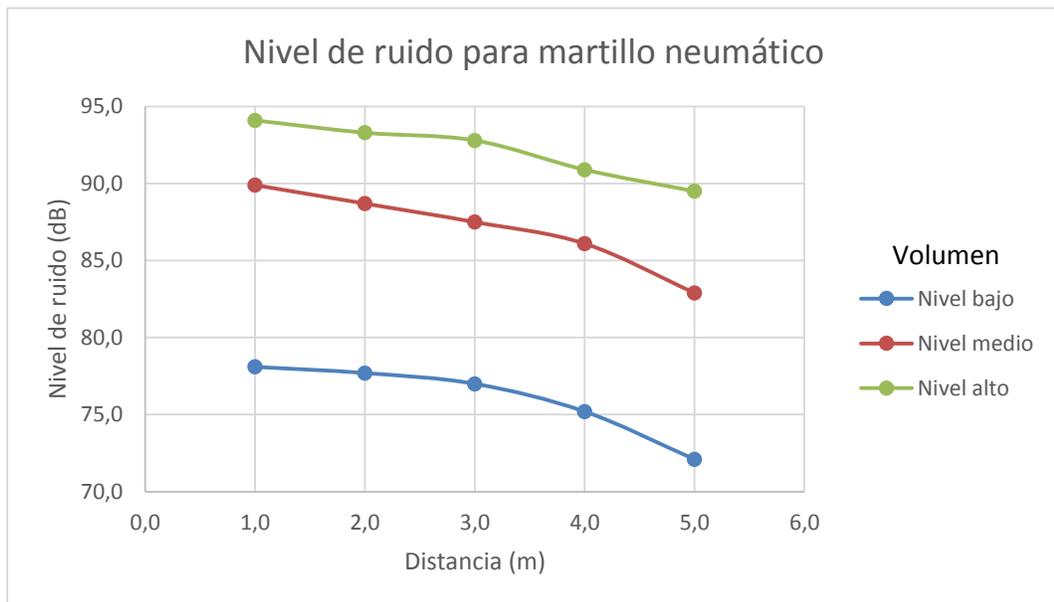
Fuente: elaboración propia.

Tabla XXIV. Resultados para martillo neumático sin aislante

Sonido	Distancia (m)	Nivel de ruido (dB)			
		Nb	Nm	Na	N prom
C	1,0	78,1	89,9	94,1	87,4
C	2,0	77,7	88,7	93,3	86,6
C	3,0	77,0	87,5	92,8	85,8
C	4,0	75,2	86,1	90,9	84,1
C	5,0	72,1	82,9	89,5	81,5

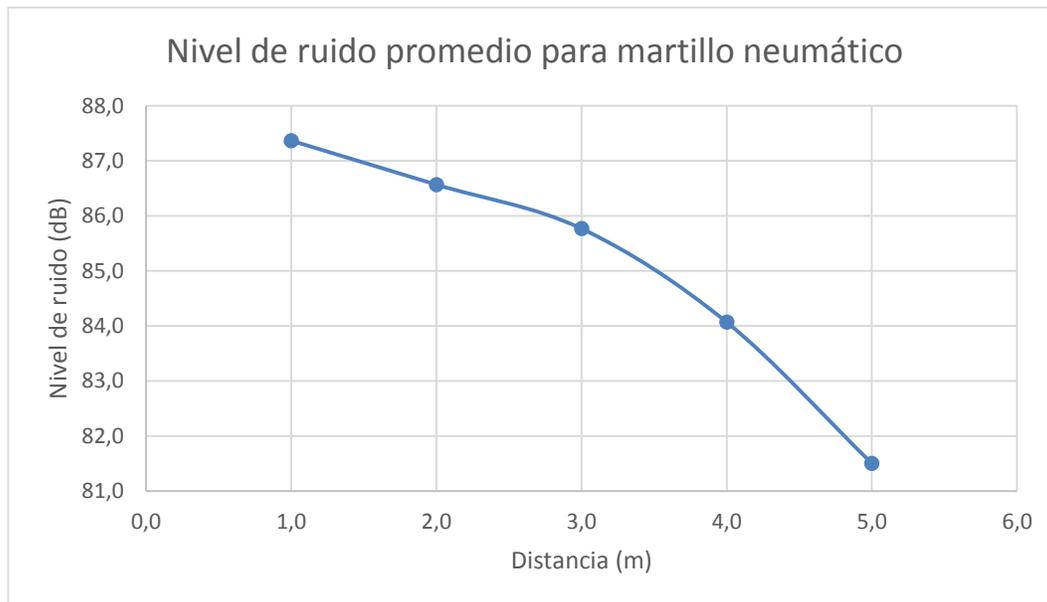
Fuente: elaboración propia.

Figura 43. Niveles de ruido para martillo neumático sin aislante



Fuente: elaboración propia.

Figura 44. **Nivel de ruido promedio para martillo neumático sin aislante**



Fuente: elaboración propia.

**Tipo de sonido**

- A** = Tránsito (ciudad)
- B** = Discoteca
- C** = Martillo neumático

**Condición:**

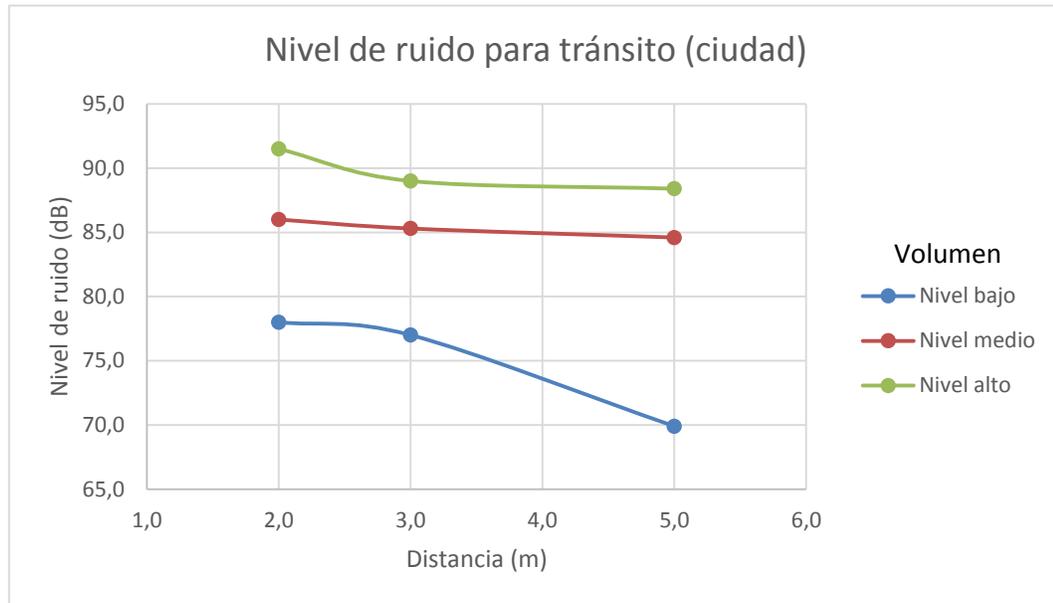
Cajón patrón sin cubierta

Tabla XXV. **Resultados para tránsito (ciudad) en cajón patrón sin cubierta**

Sonido	Distancia (m)	Nivel de ruido (dB)			
		Nb	Nm	Na	N prom
A	2,0	78,0	86,0	91,5	85,2
A	3,0	77,0	85,3	89,0	83,8
A	5,0	69,9	84,6	88,4	81,0

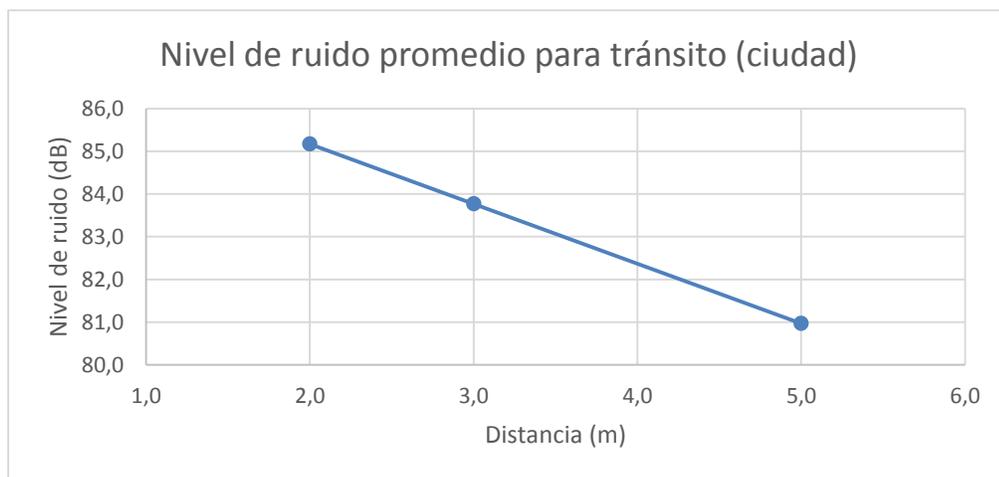
Fuente: elaboración propia.

Figura 45. **Niveles de ruido para tránsito (ciudad) en cajón patrón sin cubierta**



Fuente: elaboración propia.

Figura 46. **Nivel de ruido promedio para tránsito (ciudad) en cajón patrón sin cubierta**



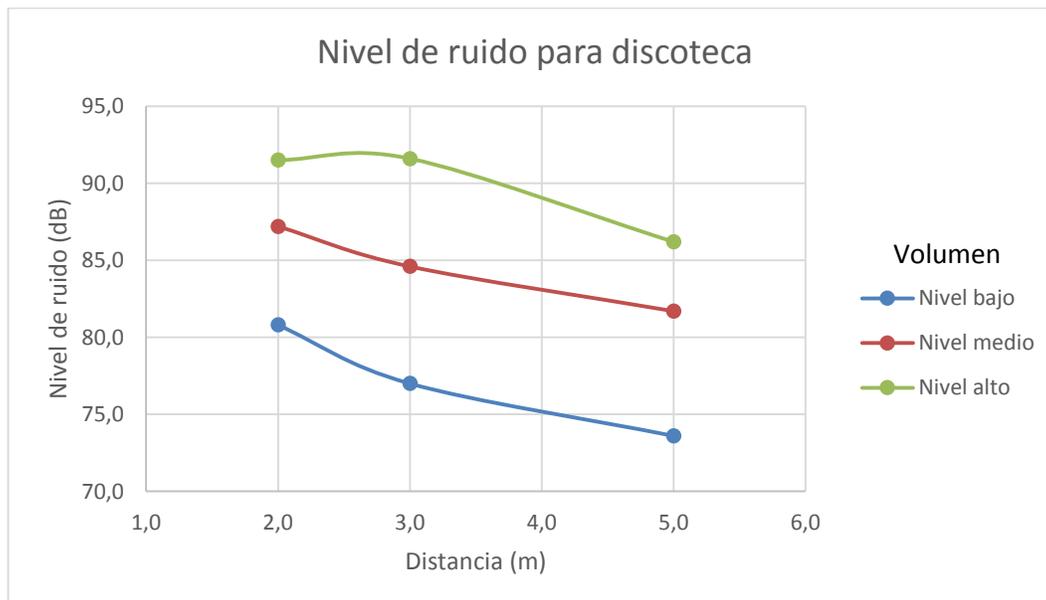
Fuente: elaboración propia

Tabla XXVI. Resultados para discoteca en cajón patrón sin cubierta

Sonido	Distancia (m)	Nivel de ruido (dB)			
		Nb	Nm	Na	N prom
B	2,0	80,8	87,2	91,5	86,5
B	3,0	77,0	84,6	91,6	84,4
B	5,0	73,6	81,7	86,2	80,5

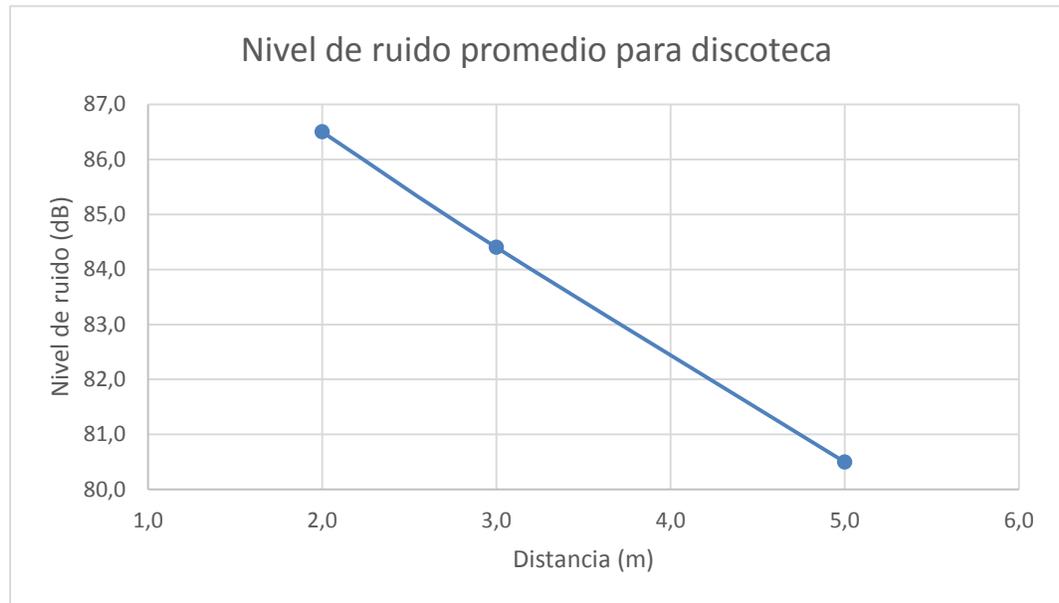
Fuente: elaboración propia.

Figura 47. Niveles de ruido para discoteca en cajón patrón sin cubierta



Fuente: elaboración propia.

Figura 48. **Nivel de ruido promedio para discoteca en cajón patrón sin cubierta**



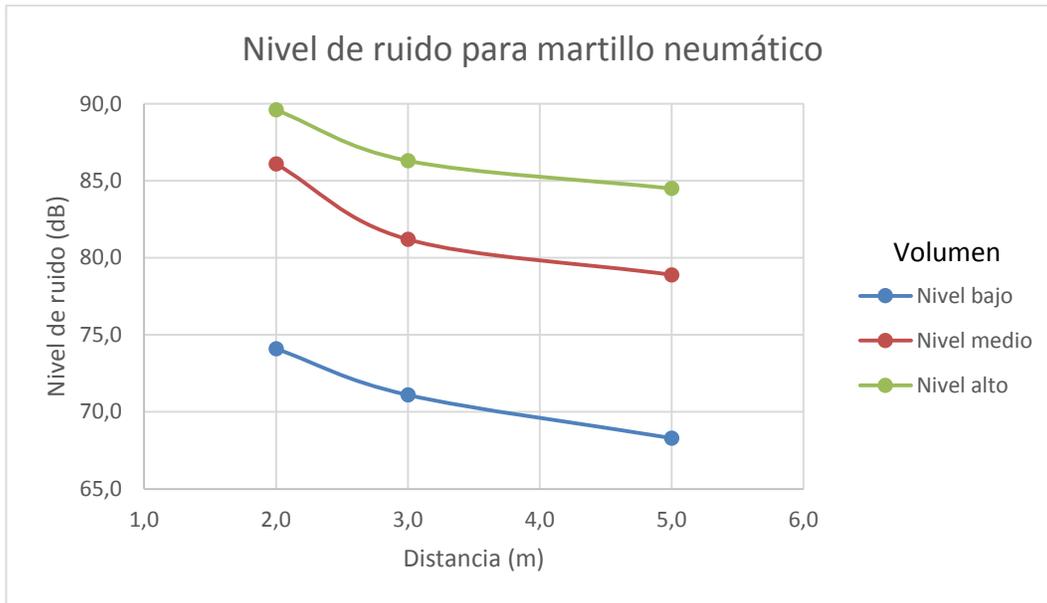
Fuente: elaboración propia.

Tabla XXVII. **Resultados para martillo neumático en cajón patrón sin cubierta**

Sonido	Distancia (m)	Nivel de ruido (dB)			
		Nb	Nm	Na	N prom
C	2,0	74,1	86,1	89,6	83,3
C	3,0	71,1	81,2	86,3	79,5
C	5,0	68,3	78,9	84,5	77,2

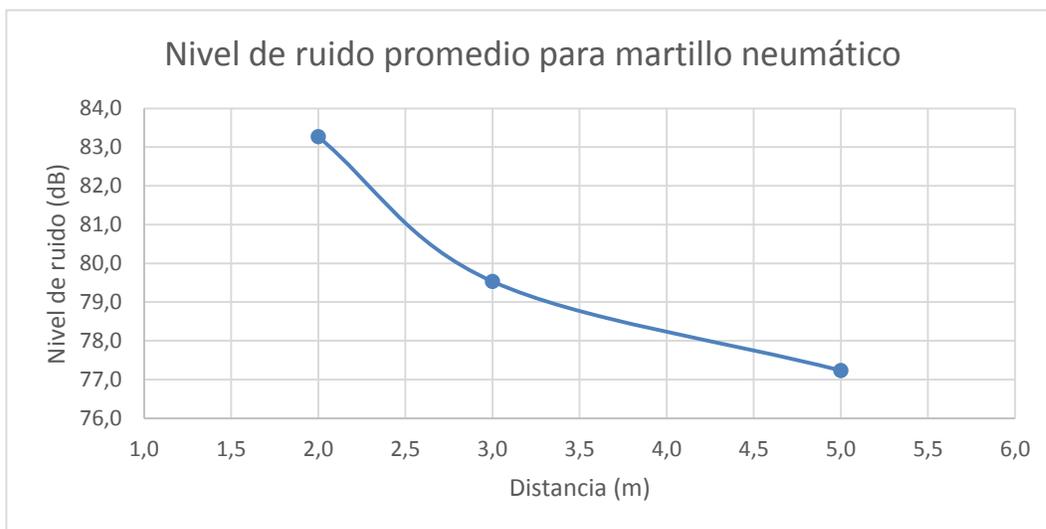
Fuente: elaboración propia.

Figura 49. **Niveles de ruido para martillo en cajón patrón sin cubierta**



Fuente: elaboración propia.

Figura 50. **Nivel de ruido promedio para martillo neumático en cajón patrón sin cubierta**



Fuente: elaboración propia.

**Tipo de sonido**

- A = Tránsito (ciudad)
- B = Discoteca
- C = Martillo neumático

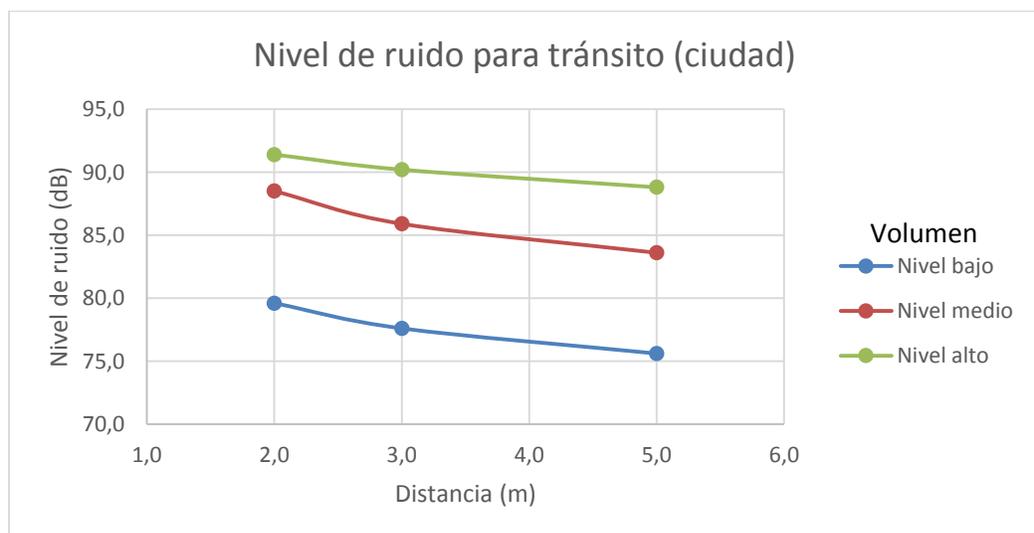
**Condición:**Cajón caucho sin cubierta

Tabla XXVIII. **Resultados para tránsito (ciudad) en cajón con caucho sin cubierta**

Sonido	Distancia (m)	Nivel de ruido (dB)			
		Nb	Nm	Na	N prom
A	2,0	79,6	88,5	91,4	86,5
A	3,0	77,6	85,9	90,2	84,6
A	5,0	75,6	83,6	88,8	82,7

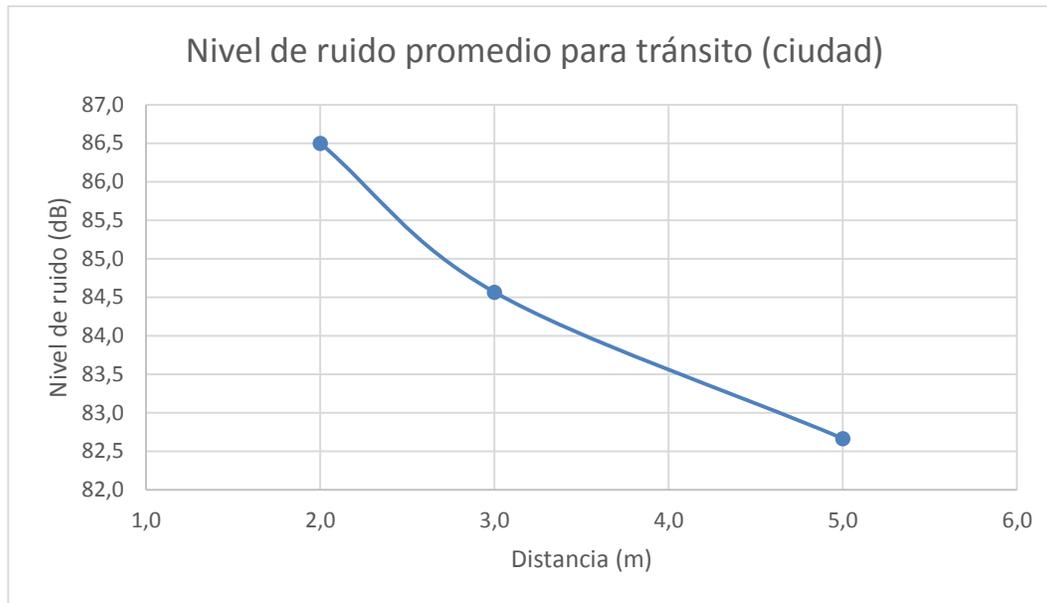
Fuente: elaboración propia.

Figura 51. **Niveles de ruido para tránsito (ciudad) en cajón con caucho sin cubierta**



Fuente: elaboración propia.

Figura 52. **Nivel de ruido promedio para martillo neumático en cajón patrón sin cubierta**



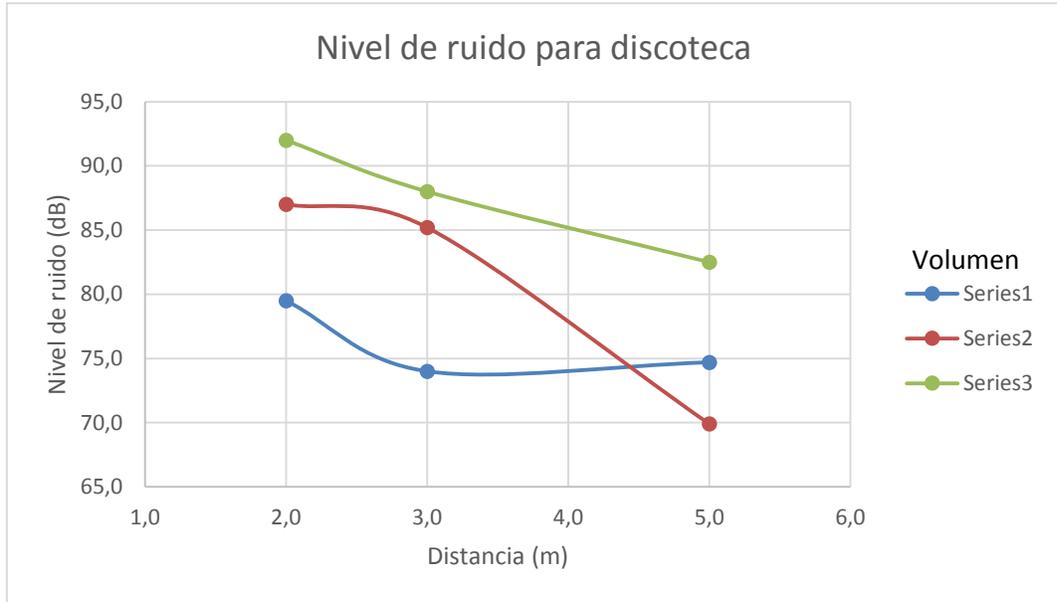
Fuente: elaboración propia.

Tabla XXIX. **Resultados para discoteca en cajón con caucho sin cubierta**

Sonido	Distancia (m)	Nivel de ruido (dB)			
		Nb	Nm	Na	N prom
B	2,0	79,5	87,0	92,0	86,2
B	3,0	74,0	85,2	88,0	82,4
B	5,0	74,7	69,9	82,5	75,7

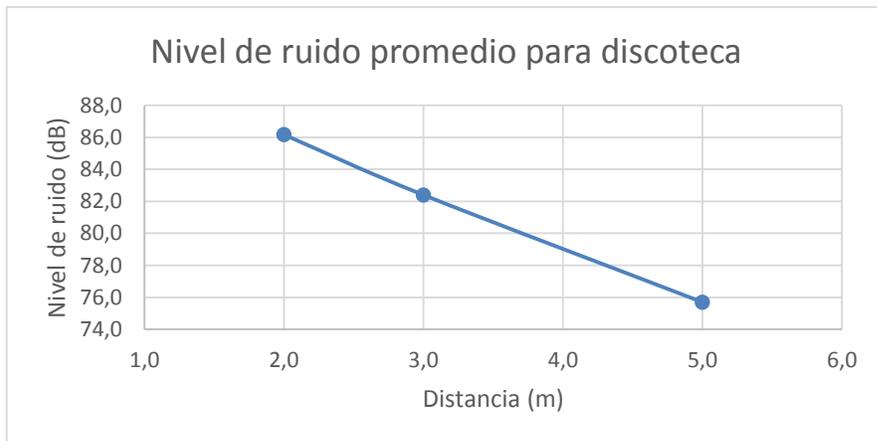
Fuente: elaboración propia.

Figura 53. **Niveles de ruido para discoteca en cajón con caucho sin cubierta**



Fuente: elaboración propia.

Figura 54. **Nivel de ruido promedio para discoteca en cajón con caucho sin cubierta**



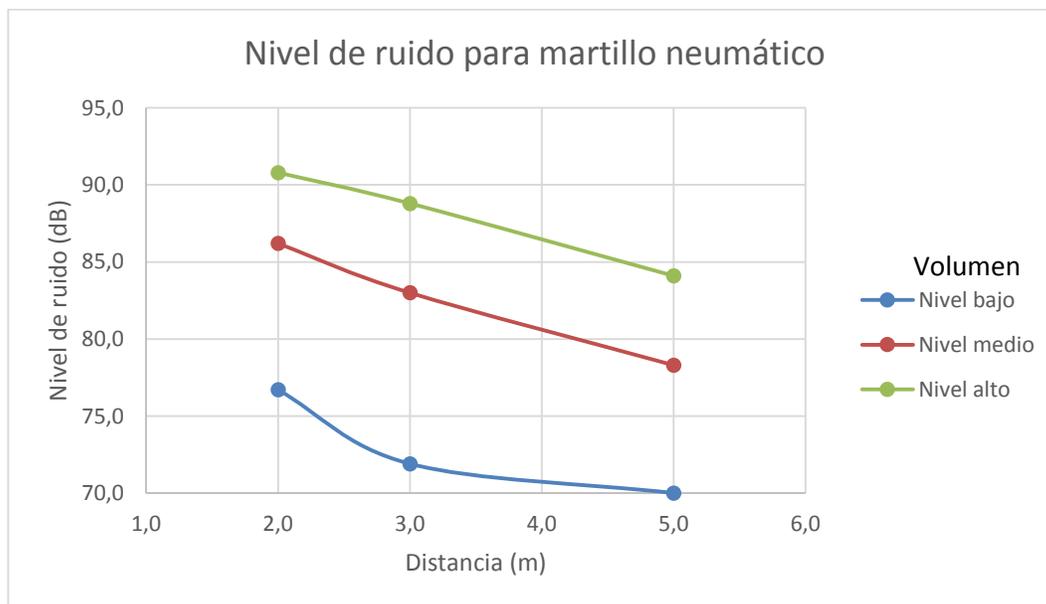
Fuente: elaboración propia.

Tabla XXX. **Resultados para martillo neumático en cajón con caucho sin cubierta**

Sonido	Distancia (m)	Nivel de ruido (dB)			
		Nb	Nm	Na	N prom
C	2,0	76,7	86,2	90,8	84,6
C	3,0	71,9	83,0	88,8	81,2
C	5,0	70,0	78,3	84,1	77,5

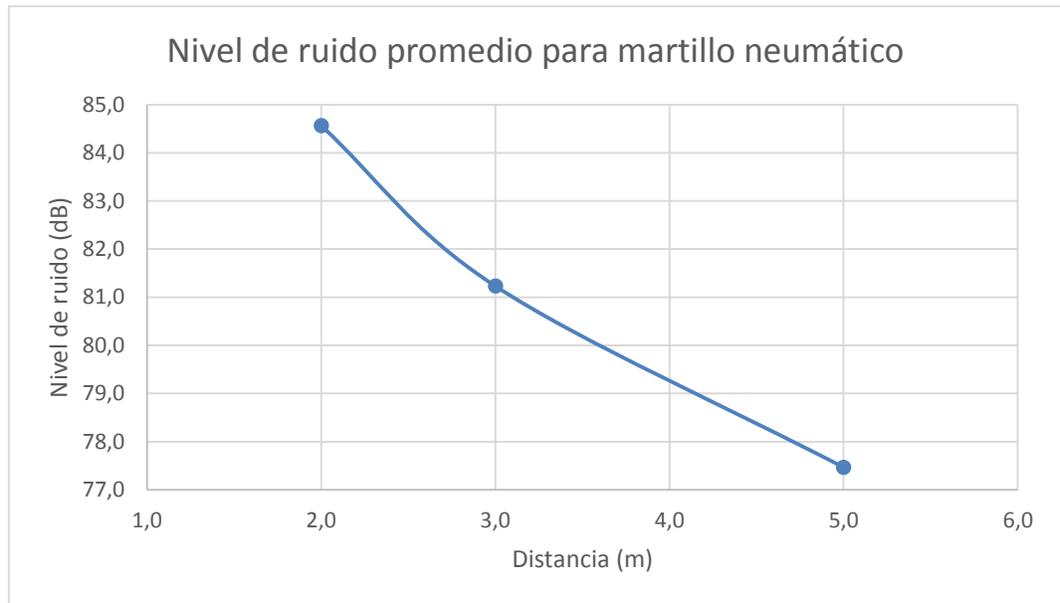
Fuente: elaboración propia.

Figura 55. **Niveles de ruido para martillo neumático en cajón con caucho sin cubierta**



Fuente: elaboración propia.

Figura 56. **Nivel de ruido promedio para martillo neumático en cajón con caucho sin cubierta**



Fuente: elaboración propia.

**Tipo de sonido**

- A = Tránsito (ciudad)
- B = Discoteca
- C = Martillo neumático

**Condición:**

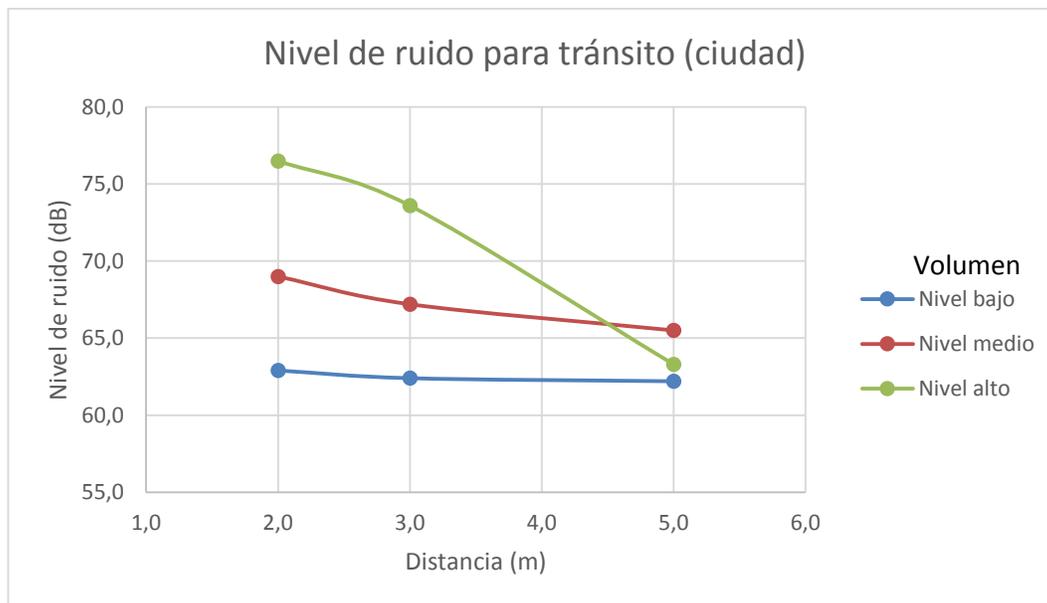
Cajón patrón con cubierta

Tabla XXXI. **Resultados para tránsito (ciudad) en cajón patrón con cubierta**

Sonido	Distancia (m)	Nivel de ruido (dB)			
		Nb	Nm	Na	N prom
A	2,0	62,9	69,0	76,5	69,5
A	3,0	62,4	67,2	73,6	67,7
A	5,0	62,2	65,5	63,3	63,7

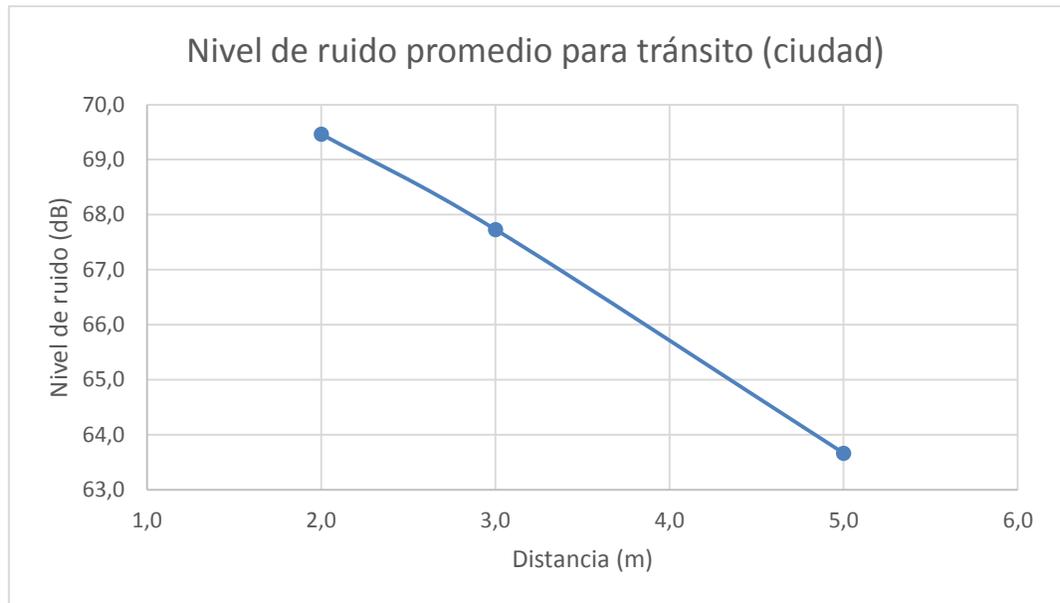
Fuente: elaboración propia.

Figura 57. **Niveles de ruido para tránsito (ciudad) en cajón patrón con cubierta**



Fuente: elaboración propia.

Figura 58. **Nivel de ruido promedio para tránsito (ciudad) en cajón patrón con cubierta**



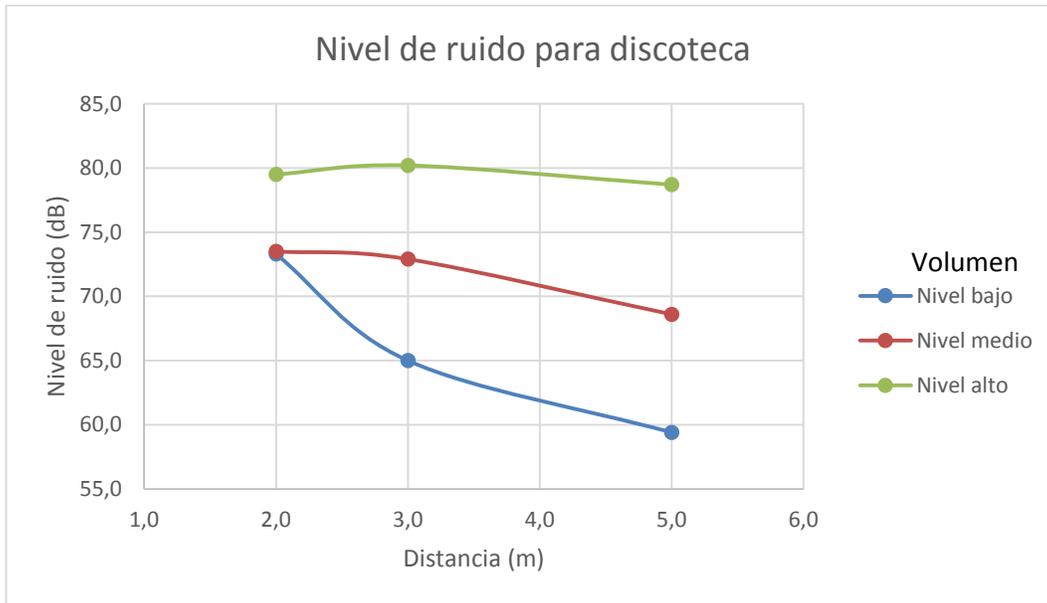
Fuente: elaboración propia.

Tabla XXXII. **Resultados para discoteca en cajón patrón con cubierta**

Sonido	Distancia (m)	Nivel de ruido (dB)			
		Nb	Nm	Na	N prom
B	2,0	73,3	73,5	79,5	75,4
B	3,0	65,0	72,9	80,2	72,7
B	5,0	59,4	68,6	78,7	68,9

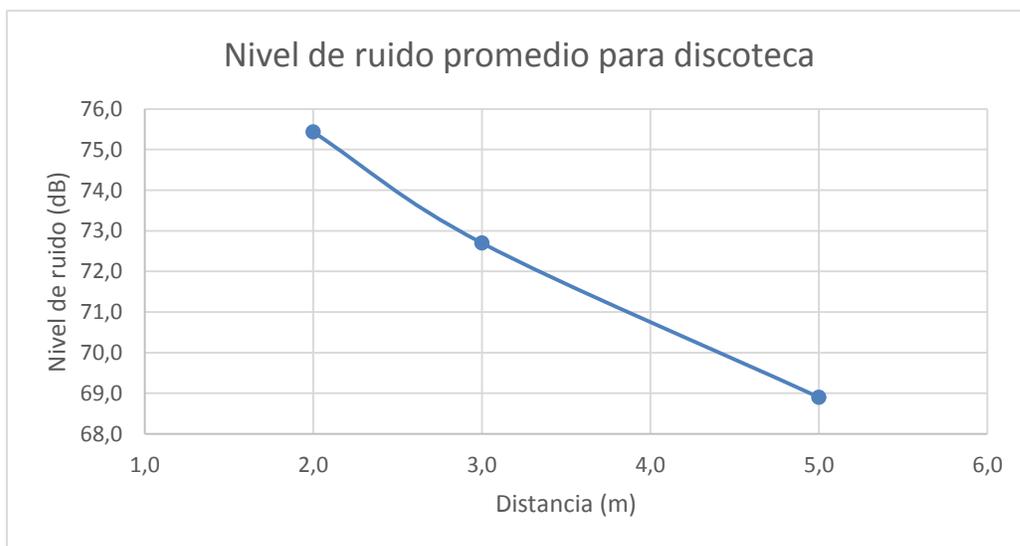
Fuente: elaboración propia.

Figura 59. **Niveles de ruido para discoteca en cajón patrón con cubierta**



Fuente: elaboración propia.

Figura 60. **Nivel de ruido promedio para disco en cajón patrón con cubierta**



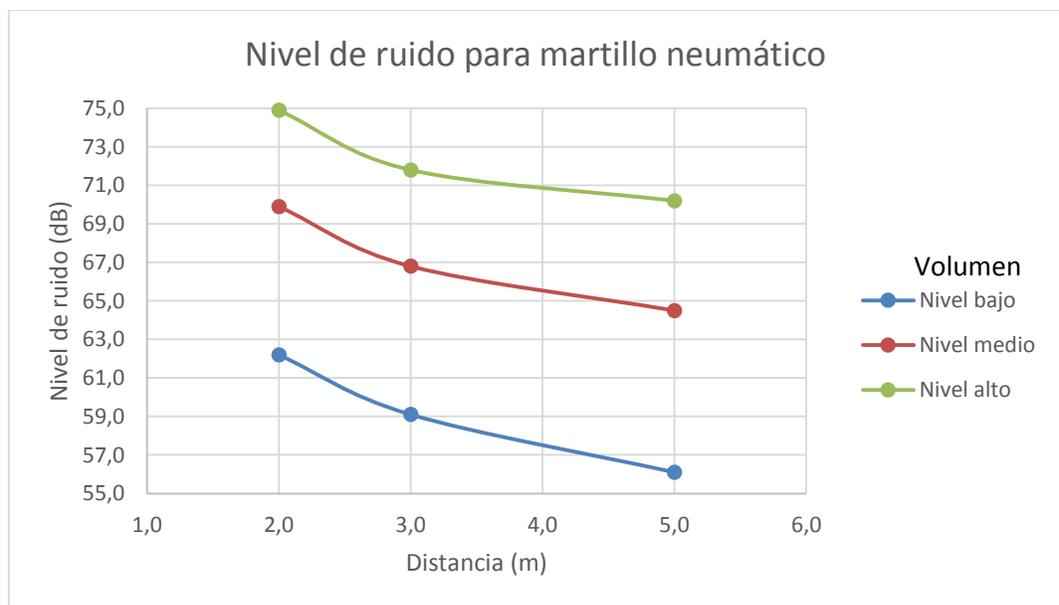
Fuente: elaboración propia.

Tabla XXXIII. Resultados para martillo neumático en cajón patrón con cubierta

Sonido	Distancia (m)	Nivel de ruido (dB)			
		Nb	Nm	Na	N prom
C	2,0	62,2	69,9	74,9	69,0
C	3,0	59,1	66,8	71,8	65,9
C	5,0	56,1	64,5	70,2	63,6

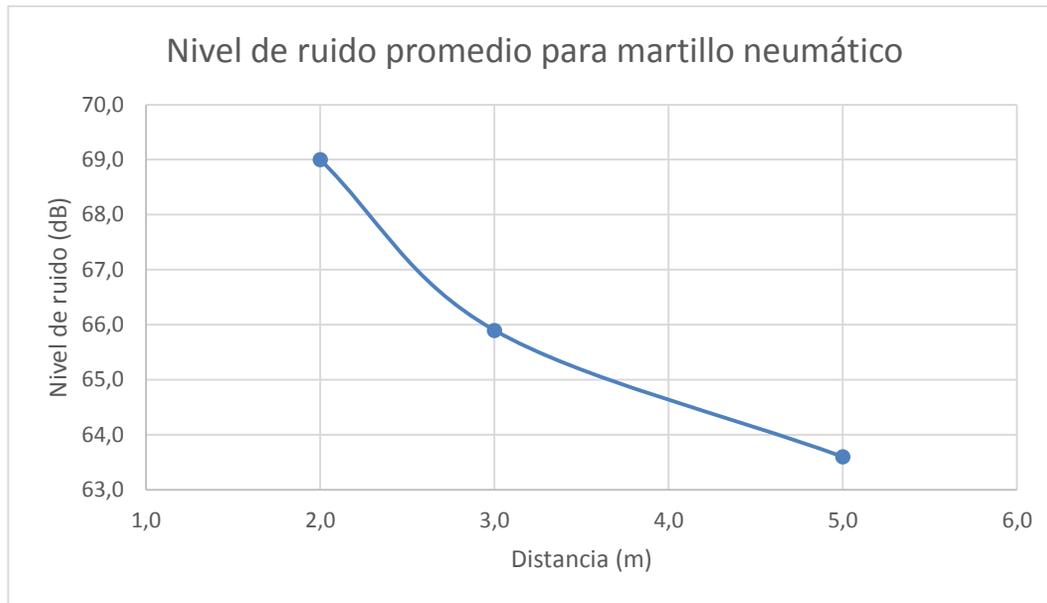
Fuente: elaboración propia.

Figura 61. Niveles de ruido para martillo neumático en cajón patrón con cubierta



Fuente: elaboración propia.

Figura 62. **Nivel de ruido promedio para martillo neumático en cajón patrón con cubierta**



Fuente: elaboración propia.

**Tipo de sonido**

- A** = Tránsito (ciudad)
- B** = Discoteca
- C** = Martillo neumático

**Condición:**

Cajón con caucho y cubierta

Tabla XXXIV. **Resultados para tránsito (ciudad) en cajón con caucho y cubierta**

Sonido	Distancia (m)	Nivel de ruido (dB)			
		Nb	Nm	Na	N prom
A	2,0	58,5	65,0	73,1	65,5
A	3,0	55,6	64,3	70,4	63,4
A	5,0	54,7	60,8	66,8	60,8

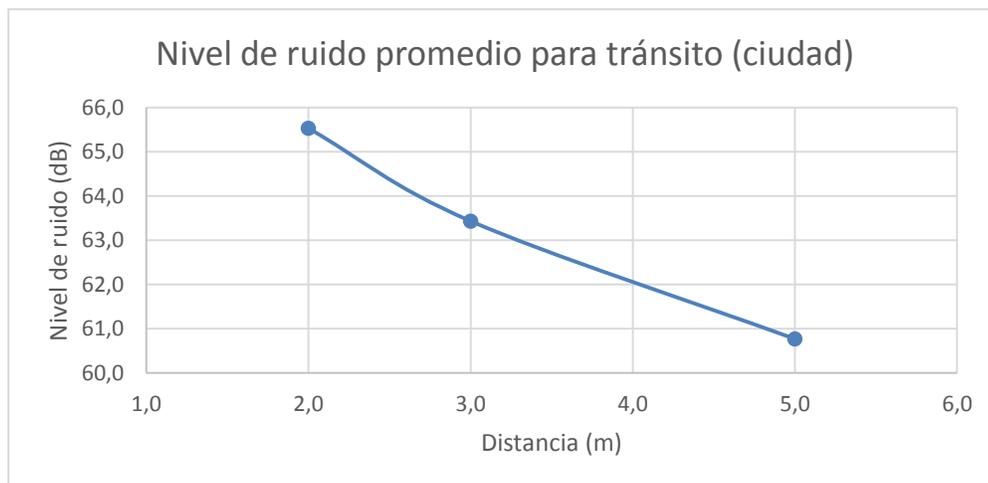
Fuente: elaboración propia.

Figura 63. **Niveles de ruido para tránsito (ciudad) en cajón con caucho y cubierta**



Fuente: elaboración propia.

Figura 64. **Nivel de ruido promedio para tránsito (ciudad) en cajón con caucho y cubierta**



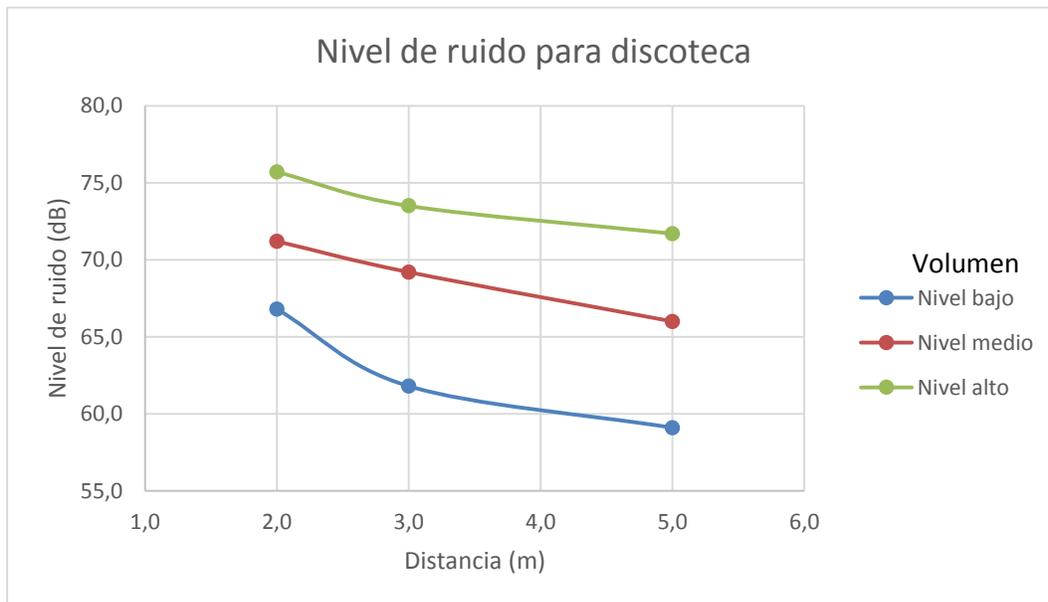
Fuente: elaboración propia.

Tabla XXXV. **Resultados para discoteca en cajón con caucho y cubierta**

Sonido	Distancia (m)	Nivel de ruido (dB)			
		Nb	Nm	Na	N prom
B	2,0	66,8	71,2	75,7	71,2
B	3,0	61,8	69,2	73,5	68,2
B	5,0	59,1	66,0	71,7	65,6

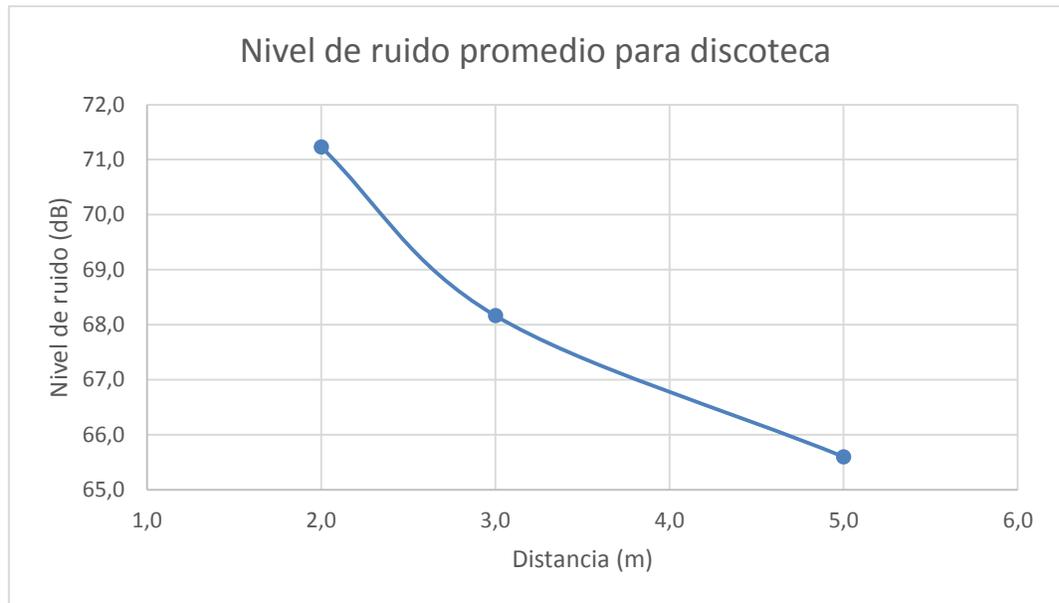
Fuente: elaboración propia.

Figura 65. **Niveles de ruido para discoteca en cajón con caucho y cubierta**



Fuente: elaboración propia.

Figura 66. **Nivel de ruido promedio para discoteca en cajón con caucho y cubierta**



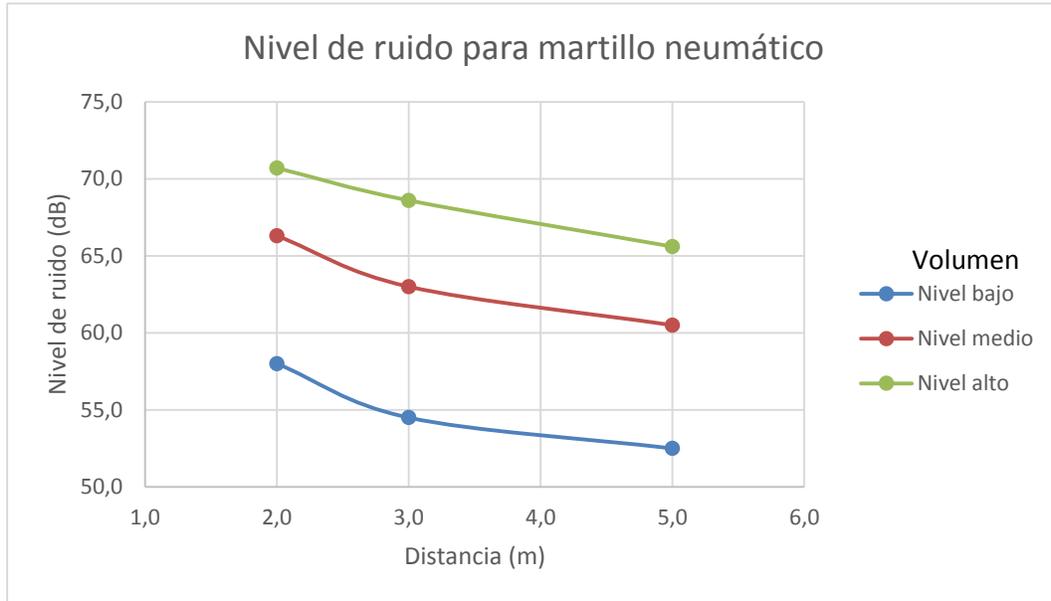
Fuente: elaboración propia.

Tabla XXXVI. **Resultados para martillo neumático en cajón con caucho y cubierta**

Sonido	Distancia (m)	Nivel de ruido (dB)			
		Nb	Nm	Na	N prom
C	2,0	58,0	66,3	70,7	65,0
C	3,0	54,5	63,0	68,6	62,0
C	5,0	52,5	60,5	65,6	59,5

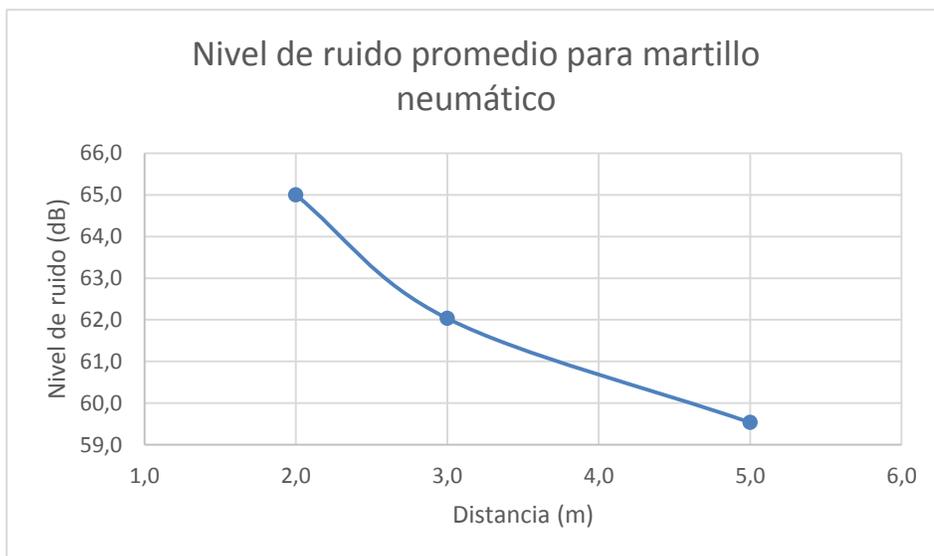
Fuente: elaboración propia.

Figura 67. **Niveles de ruido para martillo neumático en cajón con caucho y cubierta**



Fuente: elaboración propia.

Figura 68. **Nivel de ruido promedio para martillo neumático en cajón con caucho y cubierta**



Fuente: elaboración propia.

## 6. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

El ruido disminuyó en todos los escenarios conforme se aumentaba la distancia a la fuente emisora, presentándose bajas de aproximadamente 6 dB como indica la ley de cuadrados de la distancia, análoga a la Ley de Masas para elementos aislantes.

Se obtuvieron valores promedio de los distintos niveles de volumen marcados por el aparato, los cuales gráficamente presentan un comportamiento logarítmico y en algunos casos lineales.

Se presentaron variaciones en el caso de las mediciones sin cubierta, donde el cajón patrón presenta reducciones respecto al cajón con caucho, tomando en cuenta que el ruido ambiental fue mayor en ese momento.

El cajón con caucho produjo mayores reducciones que el cajón patrón en valores de hasta 5 dB, con una disminución de la energía sonora del doble, siguiendo el principio que por cada 3 dB se reduce dicha cantidad. Se esperaba que esto sucediera por la suposición de que el caucho, al ser un material con propiedades elásticas por el hule que principalmente lo compone, actuara como un amortiguador de las ondas sonoras, disipándolas en el medio de mejor manera que el concreto sin ninguna adición.

Para los diferentes ruidos emitidos se lograron reducciones significativas, logrando niveles de ruido que se dan en oficinas y durante una conversación (entre 50 y 75 dB), considerados como admisibles al no causar daños a la salud.



## CONCLUSIONES

1. El polvo de llanta puede adicionarse a una mezcla de concreto para la elaboración de paneles aislantes de sonido con funciones de muro divisorio, dadas las reducciones en las resistencias a compresión y flexión referidas al diseño patrón, sin alterar su composición química.
2. Las características físicas y propiedades mecánicas del polvo de llanta obtenidas del análisis de laboratorio no lo catalogan como un material pétreo normado, por lo que únicamente puede usarse como una adición al volumen de una mezcla y no como un sustituto de agregado fino.
3. El polvo de llanta no cumple con los límites de granulometría de la norma, se le clasifica como un material muy grueso y con densidades muy bajas por su naturaleza, reduciendo el peso unitario del concreto.
4. Para la muestra patrón diseñada con una resistencia de 3 000 PSI se obtuvieron valores dentro de las normas para todas las propiedades analizadas, brindando confiabilidad para las comparaciones hechas contra las mezclas experimentales.
5. Se definió un 5% de adición de caucho respecto a la suma de los agregados gruesos y finos para la mezcla utilizada en la elaboración de los paneles, al presentar una resistencia apta para funcionar como muros divisorios y una reducción en peso considerable para la manipulación de los mismos.

6. Los sistemas tipo cajón para ambos concretos presentaron la rigidez necesaria para su manipulación, colocación y acondicionamiento durante las pruebas de sonido.
7. El cajón con la adición de caucho presentó una reducción de ruido en un orden de hasta 5 dB respecto al patrón, para las condiciones de ensayo a las que fueron sometidos. Este resultado es satisfactorio para el estudio.
8. La reducción de 5 dB obtenida representa una disminución de energía sonora de más del doble porque la presión de sonido se representa mediante la escala logarítmica de base 10.

## RECOMENDACIONES

1. Utilizar espesores diferentes al propuesto en este trabajo, para conocer las propiedades del concreto variando las dimensiones del elemento, de esta manera se puede optimizar la cantidad de material empleada para resultados similares a los obtenidos.
2. Implementar una membrana de caucho molido como una capa que abarque toda la superficie del panel para medir las propiedades acústicas de este tipo de metodología, teniendo como base aumentar la cantidad de material de reciclaje en la mezcla.
3. Realizar análisis con diferentes tamaños de granulado de caucho, anotando las diferencias con estudios futuros en esta materia.
4. Desarrollar un lugar que proporcione las condiciones adecuadas para realizar pruebas de sonido dentro del Centro de Investigaciones de Ingeniería y ensayar materiales a los que se requieran conocer sus propiedades acústicas.
5. Considerar que, para medir el sonido, se utiliza la escala logarítmica, por lo que un cambio que aparente ser corto entre decibelios indica una cantidad significativa en términos de energía sonora y por ende en la percepción del oído que recibe la vibración.



## BIBLIOGRAFÍA

1. ÁLVAREZ Muralles, Luis Mariano. *Evaluación de la escoria de ferroníquel como agregado fino para concreto*. Trabajo de graduación de Ingeniero civil. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2009. 113 p.
2. CARRANZA, Jaime Domingo y SALAZAR, Doreen B. *Guía práctica para municipalidades sobre re-uso de llantas* [en línea]. <<http://www.sinia.net.ni/index.php/documentos?view=desktop&task=download&format=raw&uuid=5df2277e-3852-4aa0-96ac-6c740f0ddcdf&id=1>> [Consulta: abril de 2015].
3. COSTAS, Gloria. *Cómo medir el ruido con sonómetros y cómo elegirlo* [en línea]. <<http://contaminacionacustica.net/como-medir-el-ruido-con-sonometros/>> [Consulta: noviembre de 2016].
4. EMB Construcción. *Las propiedades acústicas del hormigón* [en línea]. <<http://www.emb.cl/construccion/articulo.mvc?xid=2152&edi=102&xit=las-propiedades-acusticas-del-hormigon>> [Consulta: noviembre de 2016].
5. GUEVARA Abauta, Luz María. *Evaluación de opciones para la reutilización de llantas en Guatemala*. Trabajo de graduación de Ingeniera química. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2008. 98 p.

6. LÓPEZ Díaz, Sergio Aroldo. *Uso de polvo de llanta como agregado fino en una mezcla de concreto para elaboración de adoquines*. Trabajo de graduación de Ingeniero civil. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2010. 82 p.
7. OJER, Leire. Ingeniería acústica: *Tipos de ruido en edificación* [en línea]. <<http://www.ingeneriaacusticafacil.com/ingenieria-acustica-tipos-de-ruido-en-edificacion/>> [Consulta: noviembre de 2016].
8. SÁNCHEZ Hurtado, Juan Francisco. *Paneles prefabricados de hormigón en fachadas*. Trabajo de graduación de Máster de estructuras, cimentaciones y materiales. Universidad Politécnica de Madrid, Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, 2010. 91 p.
9. TORRES Ospina, Hermes Andrés. *Valoración de propiedades mecánicas y de durabilidad de concreto adicionado con residuos de llantas de caucho*. Trabajo de graduación de Magister en ingeniería civil con énfasis en estructuras. Escuela colombiana de ingeniería Julio Garavito, 2014. 236 p.

## APÉNDICES

### Apéndice 1. **Condición seco-saturada de muestra de arena para medir su peso específico**



Fuente: elaboración propia, con la colaboración del Centro de Investigaciones de Ingeniería, USAC.

### Apéndice 2. **Separación del mortero de concreto para ensayo de fraguado**



Fuente: elaboración propia, con la colaboración del Centro de Investigaciones de Ingeniería, USAC.

Apéndice 3. **Viga de concreto con adición de caucho ensayada a flexión para conocer su módulo de ruptura**



Fuente: elaboración propia, con la colaboración del Centro de Investigaciones de Ingeniería, USAC.

Apéndice 4. **Tipos de falla de cilindros ensayados a compresión**



Fuente: elaboración propia, con la colaboración del Centro de Investigaciones de Ingeniería, USAC.

Apéndice 5. **Cilindros sometidos a prueba de fraguado**



Fuente: elaboración propia, con la colaboración del Centro de Investigaciones de Ingeniería, USAC.

Apéndice 6. **Engrudo utilizado para sello de juntas en paneles**



Fuente: elaboración propia, con la colaboración del Centro de Investigaciones de Ingeniería, USAC.

**Apéndice 7. Aplicación de engrudo para sello de juntas**



Fuente: elaboración propia, con la colaboración del Centro de Investigaciones de Ingeniería, USAC.

**Apéndice 8. Concretera usada para la mezcla de materiales**



Fuente: elaboración propia, con la colaboración del Centro de Investigaciones de Ingeniería, USAC.

**Apéndice 9. Equipo de sonido utilizado para pruebas acústicas**



Fuente: elaboración propia, con la colaboración del Centro de Investigaciones de Ingeniería, USAC.

**Apéndice 10. Paneles patronos fundidos**



Fuente: elaboración propia, con la colaboración del Centro de Investigaciones de Ingeniería, USAC.

Apéndice 11. **Paneles contruidos para el estudio de sonido**



Fuente: elaboración propia, con la colaboración del Centro de Investigaciones de Ingeniería, USAC.

# ANEXOS

## Anexo 1. Desgaste por sulfato de sodio del agregado fino



**CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA  
FACULTAD DE INGENIERIA  
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**



---

**DETERMINACIÓN DE LA ESTABILIDAD A LA DISGREGACIÓN  
DEL AGREGADO FINO MEDIANTE EL USO DEL SULFATO DE SODIO  
NORMA NTG 41010 h6 (ASTM C-88)**

**No. 08446**

O.T. No. 35908

**INFORME SACM-516**

HOJA 1/1

**INTERESADO:** Guillermo Antonio Guzman Arriola

**PROYECTO:** Trabajo de graduación "Paneles aislantes de sonido elaborados con concreto y adición de polvo de llanta"

**DIRECCIÓN:** 9a. Avenida 4-85 zona 1 Salama, Baja Verapaz.

**FECHA:** 14 de noviembre de 2016

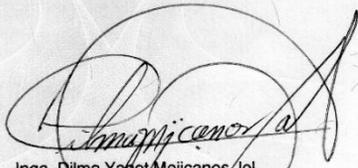
---

TAMAÑOS		Graduación por fracción	Peso antes de ensayo (g)	Peso después de ensayo (g)	% de Desgaste	Desgaste ref. a Graduación
PASA	RETENIDOS					
No. 100 (149 mm)						
No. 50 (297 mm)	No. 100 (149 mm)	16,00	-----	-----	0,70	0,11
No. 30 (595 mm)	No. 50 (297 mm)	18,00	100,00	99,30	0,70	0,13
No. 16 (1.19 mm)	No. 30 (595 mm)	20,00	100,00	99,20	0,80	0,16
No. 8 (2.38 mm)	No. 16 (1.19 mm)	22,00	100,00	99,60	0,40	0,09
No. 4 (4.76 mm)	No. 8 (2.38 mm)	8,00	100,00	95,60	4,40	0,35
3/8" (9.52 mm)	No. 4 (4.76 mm)	0,00	-----	-----	4,40	0,00
<b>TOTALES</b>		<b>84,00</b>	<b>-----</b>	<b>-----</b>	<b>-----</b>	<b>0,84</b>

**OBSERVACIONES:**

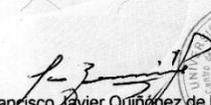
- a) Muestra proporcionada por el interesado
- b) Solución utilizada: Sulfato de sodio.
- c) Muestra de material: Arena lavada
- d) Resistencia a disgregación a los sulfatos, debe tener una pérdida promedio ponderada no mayor de 10%, según norma COGUANOR NTG 41007 ASTM C-33.

**ATENTAMENTE,**

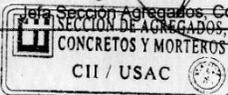


Inga. Dilma Yanet Mejicanos Jol  
Jefa Sección Agregados, Concretos y Morteros

Vo.Bo.



Ing. Francisco Javier Quiñonez de la Cruz  
Director CIUSAC

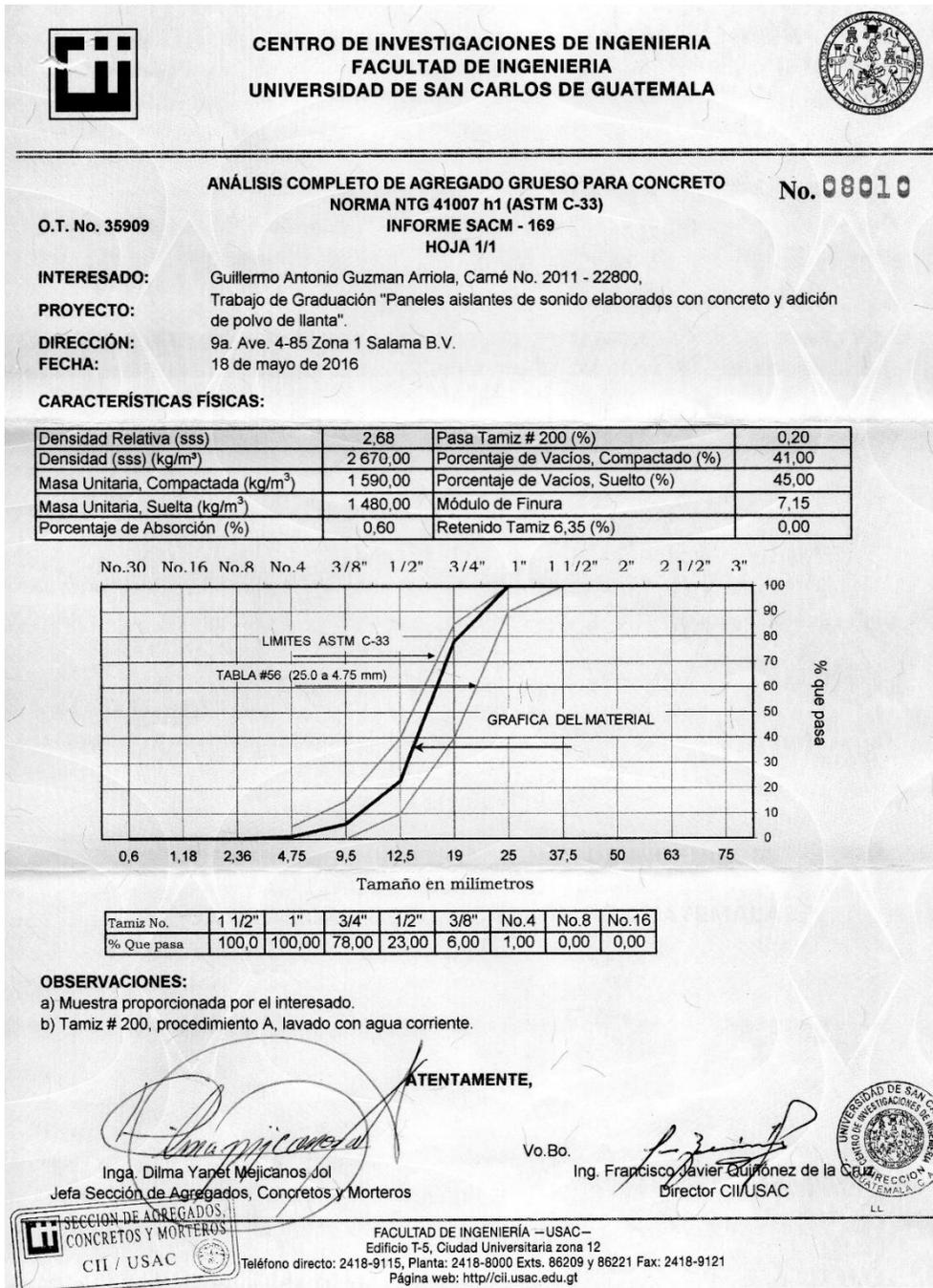


**CII / USAC**

FACULTAD DE INGENIERÍA –USAC–  
Edificio T-5, Ciudad Universitaria zona 12  
Teléfono directo: 2418-9115, Planta: 2418-8000 Exts. 86209 y 86221 Fax: 2418-9121  
Página web: <http://cii.usac.edu.gt>

Fuente: Informe de ensayo proporcionado por el CII.

## Anexo 2. Análisis completo del agregado grueso para concreto



Fuente: Informe de ensayo proporcionado por el CII.

### Anexo 3. Desgaste por sulfato de sodio del agregado grueso



**CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA  
FACULTAD DE INGENIERIA  
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**



---

**DETERMINACIÓN DE LA ESTABILIDAD A LA DISGREGACIÓN DE LOS  
AGREGADOS MEDIANTE EL USO DEL SULFATO DE SODIO** No. **08435**

**NORMA NTG 41010 h6 (ASTM C - 88)**

O. T. 35910 SACM - 505  
HOJA 1/1

**INTERESADO:** Guillermo Antonio Guzman Arriola, carné: 2011-22800

**PROYECTO:** Trabajo de graduación Ingeniería Civil: "Paneles aislantes de sonido elaborados con concreto y adición de polvo de llanta."

**DIRECCIÓN:** 9a. Ave. 4-85 zona 1 Salamá B.V.

**EMISIÓN DE INFORME:** 9 de noviembre de 2016

TAMAÑOS		Graduación por fracción	Antes de ensayo	Después de ensayo	% de Desgaste	Desgaste ref. a Graduación
PASA	RETENIDOS					
2 1/2" (63.5 mm)	1 1/2" (38.1 mm)	-----	-----	-----	-----	-----
1 1/2" (38.1 mm)	3/4" (19.05 mm)	21,69	0,00	0,00	0,80	0,17
3/4" (19.05 mm)	3/8" (9.52 mm)	71,69	1001,10	993,10	0,80	0,57
3/8" (9.52 mm)	No. 4 (4.76 mm)	5,30	300,00	296,40	1,20	0,06
	Fondo	1,31	-----	-----	1,20	0,02
<b>TOTALES</b>		<b>100,00</b>	-----	-----	-----	<b>0,83</b>

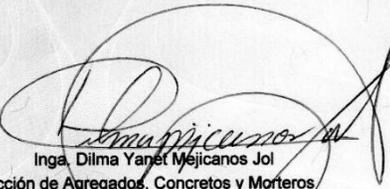
**OBSERVACIONES:**

a) Muestra proporcionada por el interesado.

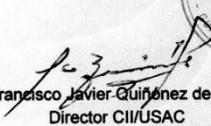
b) Solución utilizada: sulfato de sodio.

El presente informe unicamente para las muestras identificadas.  
Se prohíbe la reproducción parcial o total sin autorización.

**ATENTAMENTE,**



Inga Dilma Yanet Mejicanos Jol  
Jefa Sección de Agregados, Concretos y Morteros



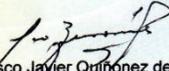
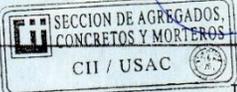
Vo.Bo.  
Ing. Francisco Javier Guiróñez de la Cruz  
Director CII/USAC

SECCION DE AGREGADOS,  
CONCRETOS Y MORTEROS  
CII / USAC

FACULTAD DE INGENIERIA – USAC –  
Edificio T-5, Ciudad Universitaria zona 12  
Teléfono directo: 2418-9115, Planta: 2418-8000 Exts. 86209 y 86221 Fax: 2418-9121  
Página web: <http://cii.usac.edu.gt>

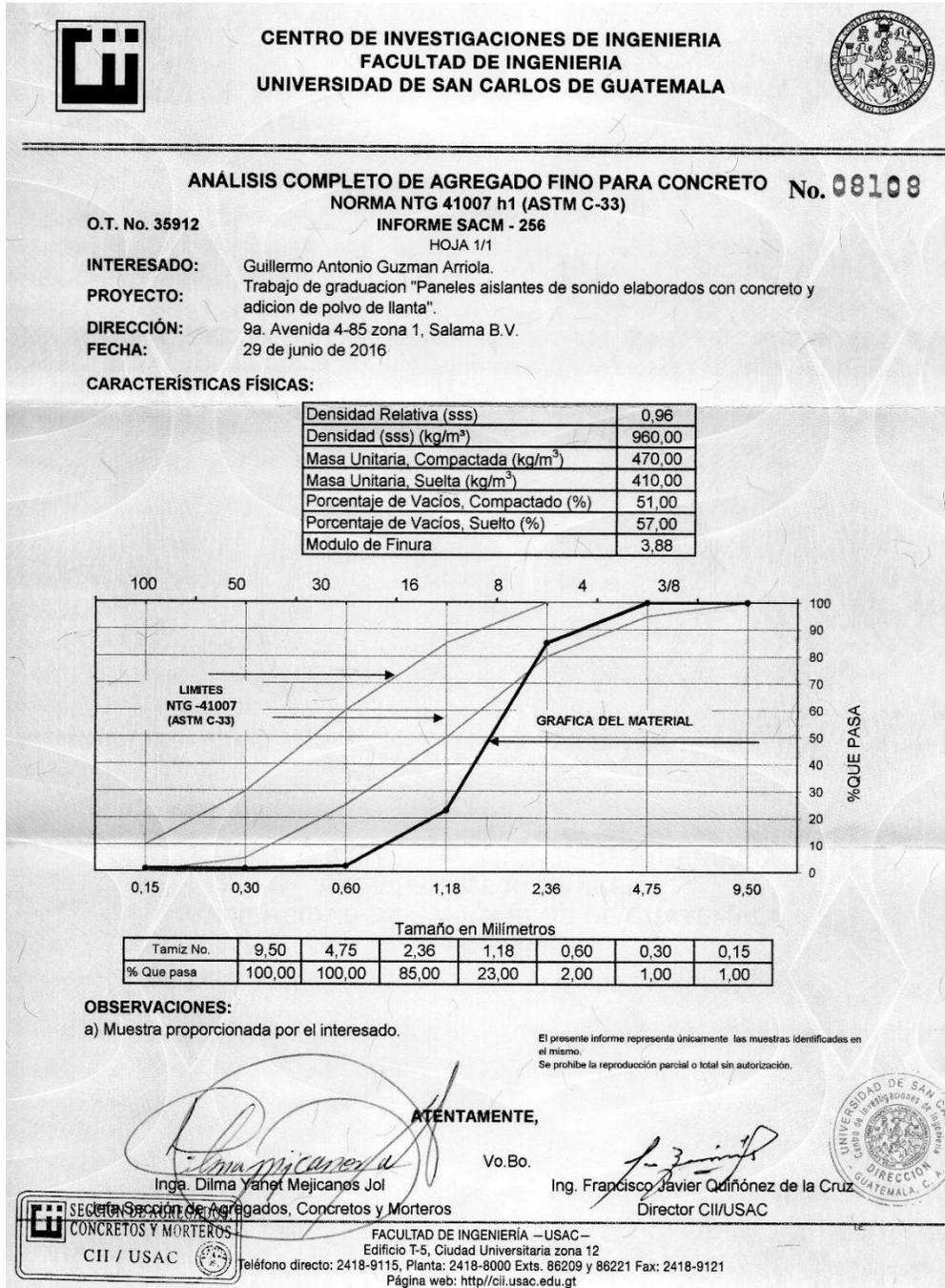
Fuente: Informe de ensayo proporcionado por el CII.

## Anexo 4. Abrasión por máquina de Los Ángeles

	<b>CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA FACULTAD DE INGENIERIA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA</b>							
<b>INFORME DE ENSAYO DE ABRASIÓN POR MÁQUINA DE LOS ÁNGELES</b>		<b>No. 09017</b>						
<b>NORMA NTG 41010 h 20 (ASTM C-131)</b>								
<b>O.T. No. 35911</b>	<b>INFORME SACM - 174</b>							
<b>HOJA 1/1</b>								
<b>INTERESADO:</b>	Guillermo Antonio Guzman Arriola, Carné No. 2011 - 22800.							
<b>PROYECTO:</b>	Trabajo de Graduación "Paneles aislantes de sonido elaborados con concreto y adición de polvo de llanta No. 7940 0985".							
<b>DIRECCIÓN:</b>	9a. Ave. 4-85 Zona 1, Salamá Baja Verapaz.							
<b>FECHA:</b>	26 de Mayo de 2016							
<table border="1"><thead><tr><th>REFERENCIAS</th><th>MUESTRA</th></tr></thead><tbody><tr><td>1. Graduación</td><td>" B "</td></tr><tr><td>2. Porcentaje de desgaste</td><td>28,00 %</td></tr></tbody></table>			REFERENCIAS	MUESTRA	1. Graduación	" B "	2. Porcentaje de desgaste	28,00 %
REFERENCIAS	MUESTRA							
1. Graduación	" B "							
2. Porcentaje de desgaste	28,00 %							
<b>OBSERVACIONES:</b> a) Muestra proporcionada por el interesado. b) Muestra de material : Piedrín. c) La resistencia a la abrasión del agregado grueso para concreto, debe tener un porcentaje de desgaste máximo admisible de 50%, según norma COGUANOR NTG 41007 (ASTM C-33).								
<b>ATENTAMENTE,</b>								
 Inga Dilma Yanet Mejicanos Jol Jefa Sección de Agregados, Concretos y Morteros	<b>Vo.Bo.</b>  Ing. Francisco Javier Quirónez de la Cruz Director CII/USAC							
	FACULTAD DE INGENIERÍA – USAC – Edificio T-5, Ciudad Universitaria zona 12 Teléfono directo: 2418-9115, Planta: 2418-8000 Exts. 86209 y 86221 Fax: 2418-9121 Página web: <a href="http://cii.usac.edu.gt">http://cii.usac.edu.gt</a>							

Fuente: Informe de ensayo proporcionado por el CII.

Anexo 5. **Análisis completo del polvo de llanta para concreto (chip de 3 mm)**



Fuente: Informe de ensayo proporcionado por el CII.

## Anexo 6. Ensayos de flexión en vigas de concreto



CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA  
FACULTAD DE INGENIERIA  
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



Nº 22801

O.T. No. 35916, 35917 Y 35918 INFORME No. 382-M  
INTERESADO: GUILLERMO ANTONIO GUZMAN ARRIOLA CARNET: 2011-22800  
PROYECTO: TRABAJO DE GRADUACION "PANELES AISLANTES DE SONIDO  
ELABORADOS CON CONCRETO Y ADICION DE POLVO DE LLANTA"  
ASUNTO: ENSAYO DE FLEXION A VIGAS DE CONCRETO.  
FECHA: 05/09/2016

### ANTECEDENTES

El estudiante **GUILLERMO ANTONIO GUZMAN ARRIOLA**, CARNE No. 2011-22800, de la carrera de Ingeniería Civil, solicita a este Centro de Investigaciones de Ingeniería que se realizara, ensayo de flexión, a 3 vigas de concreto. Los ensayos en cuestión son parte del trabajo de tesis, "**PANELES AISLANTES DE SONIDO ELABORADOS CON CONCRETO Y ADICION DE POLVO DE LLANTA**".

### RESULTADOS

Muestra	Largo l (cm)	Espesor d (cm)	Ancho b (cm)	Luz L (cm)	Carga P (kg)	Módulo de ruptura R (Kg/cm <sup>2</sup> )	% Absorción
Patrón	53.27	15.40	15.10	48.26	2900	58.62	2.13
10% caucho	52.37	15.43	15.33	48.26	1300	25.78	2.81
5% caucho	53.80	15.43	15.30	48.26	1885	37.46	6.46

El presente informe únicamente es para la muestra identificada en el mismo.  
Se prohíbe la reproducción parcial o total sin autorización.

Atentamente,

M.Sc. Ing. Pablo Christian De León Rodríguez  
Jefe de Metales y Productos  
Manufacturados  
/cbr



Vo.Bo.   
Ing. Francisco Javier Quiñonez de la Cruz  
DIRECTOR C.I.I.



FACULTAD DE INGENIERÍA —USAC—  
Edificio T-5, Ciudad Universitaria zona 12  
Teléfono directo: 2418-9115, Planta: 2418-8000 Exts. 86209 y 86221 Fax: 2418-9121  
Página web: <http://cii.usac.edu.gt>

Fuente: Informe de ensayo proporcionado por el CII.

## Anexo 7. Ensayo a compresión para cilindros de concreto con 5% de caucho



**CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA  
FACULTAD DE INGENIERIA  
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**



---

**INFORME DE ENSAYO A COMPRESIÓN PARA CILINDROS DE CONCRETO No. 08263**  
**NORMA NTG - 41017 h1 (ASTM C-39)**  
**INFORME SACM - 381**  
**HOJA 1/1**

**O.T. No. 35929**

**INTERESADO:** Guillermo Antonio Guzman Arriola.

**PROYECTO:** Trabajo de Graduación "Paneles aislantes de sonido elaborados con concreto y adición de polvo de llanta."

**DIRECCIÓN:** 9 Ave. 4 - 85 Zona 1 Salama, Baja Verapaz.

**FECHA:** 19 de septiembre de 2016

No. CILINDRO OBRA	No. CILINDRO LABORATORIO	FECHA DE COLOCACIÓN	FECHA DE RUPTURA	EDAD en días	CILINDRO REPRESENTATIVO DE LA COLOCACIÓN	PESO en kg	DIÁMETRO en cm	ALTURA en cm	CARGA en libras	RESISTENCIA Mpa	RESISTENCIA lb/in <sup>2</sup>	TIPO DE FRACTURA
1	73-08	29/07/2016	01/08/2016	3	Mezcla 5% Caucho.	12,390	15,115	30,433	34 000	8,40	1 220	B
2	74-08	29/07/2016	01/08/2016	3	Mezcla 5% Caucho.	12,175	15,105	30,227	32 500	8,10	1 180	B
3	75-08	29/07/2016	05/08/2016	7	Mezcla 5% Caucho.	12,305	15,170	30,250	44 000	10,80	1 570	B
4	76-08	29/07/2016	05/08/2016	7	Mezcla 5% Caucho.	12,255	15,100	30,283	45 000	11,20	1 630	B
5	77-08	29/07/2016	26/08/2016	28	Mezcla 5% Caucho.	12,355	15,140	30,490	57 500	14,20	2 060	D
6	78-08	29/07/2016	26/08/2016	28	Mezcla 5% Caucho.	12,405	15,160	30,443	54 000	13,30	1 930	B

**OBSERVACIONES :**

- Muestra proporcionada por el interesado.
- Muestras ensayadas en máquina de compresión RIEHLE Testing Machine División con capacidad de 300 000 libras, dial utilizado para lectura 300 000 libras.
- Cilindros cabeceados según norma ASTM C-1231
- El interesado proporcionó:
  - No. de cilindro en obra.
  - Fecha de colocación.
  - Edad de ensayo.
  - El representativo de estructura.

**BOSQUEJO DE TIPOS DE FRACTURA**



A. CONO



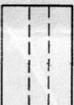
B. CONO Y CLIVAJE



C. CONO Y RUPTURA



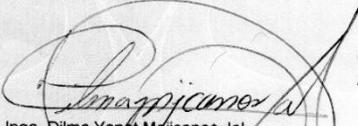
D. CORTE



E. COLUMNAR

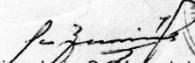
El presente informe únicamente es para las muestras identificadas en el mismo.  
Se prohíbe la reproducción parcial o total sin autorización.

ATENTAMENTE,

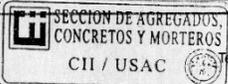


Inga. Dilma Yanet Mejicanos-Jol  
Jefa Sección de Agregados, Concretos y Morteros

Vo.Bo.



Ing. Francisco Javier Quiñópez de la Cruz  
Director CII/USAC



FACULTAD DE INGENIERÍA –USAC–  
Edificio T-5, Ciudad Universitaria zona 12  
Teléfono directo: 2418-9115, Planta: 2418-8000 Exts. 86209 y 86221 Fax: 2418-9121  
Página web: <http://cii.usac.edu.gt>

Fuente: Informe de ensayo proporcionado por el CII.

Anexo 8. **Ensayo a compresión para cilindros de concreto con 10% de caucho**



**CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA  
FACULTAD DE INGENIERIA  
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**



---

**INFORME DE ENSAYO A COMPRESIÓN PARA CILINDROS DE CONCRETO No. 08259**  
**NORMA NTG - 41017 h1 (ASTM C-39)**  
**INFORME SACM - 380**  
**HOJA 1/1**

**O.T. No. 35929**

**INTERESADO:** Guillermo Antonio Guzman Arriola.  
**PROYECTO:** Trabajo de Graduación "Paneles aislantes de sonido elaborados con concreto y adición de polvo de llanta."  
**DIRECCIÓN:** 9 Ave. 4 - 85 Zona 1 Salama, Baja Verapaz.  
**FECHA:** 19 de septiembre de 2016

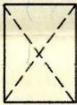
No. CILINDRO OBRA	No. CILINDRO LABORATORIO	FECHA DE COLOCACIÓN	FECHA DE RUPTURA	EDAD en días	CILINDRO REPRESENTATIVO DE LA COLOCACION	PESO en kg	DIAMETRO en cm	ALTURA en cm	CARGA en libras	RESISTENCIA Mpa	RESISTENCIA lb/in <sup>2</sup>	TIPO DE FRACTURA
1	67-08	19/07/2016	22/07/2016	3	Mezcla 10% Caucho.	11,655	15,215	30,510	17 500	4,30	620	D
2	68-08	19/07/2016	22/07/2016	3	Mezcla 10% Caucho.	11,500	15,190	30,460	18 000	4,40	640	B
3	69-08	19/07/2016	26/07/2016	7	Mezcla 10% Caucho.	11,715	15,045	30,323	25 500	6,40	930	B
4	70-08	19/07/2016	26/07/2016	7	Mezcla 10% Caucho.	11,525	15,115	30,367	22 500	5,60	810	B
5	71-08	19/07/2016	16/08/2016	28	Mezcla 10% Caucho.	11,730	15,145	30,393	36 000	8,90	1 290	B
6	72-08	19/07/2016	16/08/2016	28	Mezcla 10% Caucho.	11,485	15,130	30,430	35 000	8,70	1 260	B

**OBSERVACIONES :**

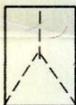
a) Muestra proporcionada por el interesado.  
b) Muestras ensayadas en máquina de compresión RIEHLE Testing Machine División con capacidad de 300 000 libras, dial utilizado para lectura 300 000 libras.  
c) Cilindros cabeceados según norma ASTM C-1231  
d) El interesado proporcionó:

- No. de cilindro en obra.
- Fecha de colocación.
- Edad de ensayo.
- El representativo de estructura.

**BOSQUEJO DE TIPOS DE FRACTURA**



A. CONO



B. CONO Y CLIVAJE



C. CONO Y RUPTURA



D. CORTE



E. COLUMNAR

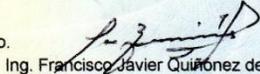
El presente informe únicamente es para las muestras identificadas en el mismo.  
Se prohíbe la reproducción parcial o total sin autorización.

ATENTAMENTE,



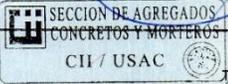
Inga. Dilma Yanet Mejicanos Jol  
Jefa Sección de Agregados, Concretos y Morteros

Vo.Bo.



Ing. Francisco Javier Quiñonez de la Cruz  
Director CII/USAC





FACULTAD DE INGENIERIA –USAC–  
Edificio T-5, Ciudad Universitaria zona 12  
Teléfono directo: 2418-9115, Planta: 2418-8000 Exts. 86209 y 86221 Fax: 2418-9121  
Página web: <http://cii.usac.edu.gt>

Fuente: Informe de ensayo proporcionado por el CII.

## Anexo 9. Ensayo a compresión para cilindros de concreto patrón



**CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA  
FACULTAD DE INGENIERIA  
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**



---

**INFORME DE ENSAYO A COMPRESIÓN PARA CILINDROS DE CONCRETO No. 08258**  
**NORMA NTG - 41017 h1 (ASTM C-39)**  
**INFORME SACM - 379**  
**HOJA 1/1**

**O.T. No. 35929**

**INTERESADO:** Guillermo Antonio Guzman Arriola.  
**PROYECTO:** Trabajo de Graduación "Paneles aislantes de sonido elaborados con concreto y adición de polvo de llanta."  
**DIRECCIÓN:** 9 Ave. 4 - 85 Zona 1 Salama, Baja Verapaz.  
**FECHA:** 19 de septiembre de 2016

No. CILINDRO OBRA	No. CILINDRO LABORATORIO	FECHA DE COLOCACIÓN	FECHA DE RUPTURA	EDAD en días	CILINDRO REPRESENTATIVO DE LA COLOCACIÓN	PESO en kg	DIAMETRO en cm	ALTURA en cm	CARGA en libras	RESISTENCIA Mpa	RESISTENCIA 'lb/pig'	TIPO DE FRACTURA
1	61-08	08/07/2016	11/07/2016	3	Mezcla Patrón	13,090	15,230	30,253	79 000	19,30	2 800	B
2	62-08	08/07/2016	11/07/2016	3	Mezcla Patrón	3,910	10,170	20,250	32 200	17,60	2 550	B
3	63-08	08/07/2016	15/07/2016	7	Mezcla Patrón	13,175	15,175	30,387	94 000	23,10	3 350	E
4	64-08	08/07/2016	15/07/2016	7	Mezcla Patrón	13,220	15,275	30,387	90 000	21,80	3 160	B
5	65-08	08/07/2016	05/08/2016	28	Mezcla Patrón	13,255	15,190	30,473	123 000	30,20	4 380	B
6	66-08	08/07/2016	05/08/2016	28	Mezcla Patrón	13,205	15,190	30,310	124 500	30,60	4 440	B

**OBSERVACIONES :**

a) Muestra proporcionada por el interesado.

b) Muestras ensayadas en máquina de compresión RIEHLE Testing Machine División con capacidad de 300 000 libras, dial utilizado para lectura 300 000 libras.

c) Cilindros cabeceados según norma ASTM C-1231

d) Cilindro No. 2 Cabeceado según norma ASTM C - 617.

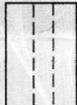
e) El interesado proporcionó:

- No. de cilindro en obra.
- Fecha de colocación.
- Edad de ensayo.
- El representativo de estructura.

**BOSQUEJO DE TIPOS DE FRACTURA**







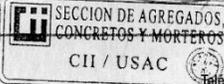
A. CONO      B. CONO Y CLAVAJE      C. CONO Y RUPTURA      D. CORTE      E. COLUMNAR

*[Firma]*

Inga. Dilma Yanet Mejicanos Jol  
Jefa Sección de Agregados, Concretos y Morteros

ATENTAMENTE,

Vo.Bo. *[Firma]*  
Ing. Francisco Javier Quiñonez de la Cruz  
Director CII/USAC



FACULTAD DE INGENIERÍA –USAC–  
Edificio T-5, Ciudad Universitaria zona 12  
Teléfono directo: 2418-9115, Planta: 2418-8000 Exts. 86209 y 86221 Fax: 2418-9121  
Página web: <http://cii.usac.edu.gt>



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
DIRECCION GENERAL DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA

Fuente: Informe de ensayo proporcionado por el CII.

Anexo 10. **Velocidad de endurecimiento para concreto con 5% de caucho**



**CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA  
FACULTAD DE INGENIERIA  
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**



---

**DETERMINACIÓN DEL TIEMPO DE FRAGUADO DE MEZCLAS DE CONCRETO  
POR SU RESISTENCIA A LA PENETRACIÓN** No. 08440  
NORMA NTG 41017 h12 (ASTM 403/C403M-08)  
INFORME SACM - 510  
HOJA 1/1

O. T. 35930

**INTERESADO:** Guillermo Antonio Guzman Arriola, carné: 2011-22800

**PROYECTO:** Trabajo de graduación "Paneles aislantes de sonido elaborados con concreto y adición de polvo de llanta"

**DIRECCIÓN:** 9a Ave. 4-85 zona 1 Salamá B. V.

**EMISIÓN DE INFORME:** 10 de noviembre de 2016

Cantidad en masa de materiales por metro cúbico:

Cemento Kg	Arena Kg	Piedrín Kg	Agua Litros
351	770	979	200

Tiempo (minutos)	Esfuerzo de penetración (psi)
180	22
240	55
300	144
330	220
360	304
390	448
420	880
450	1200
480	1620
495	1660
510	2240
540	3160
570	4040

Tamaño nominal máximo: 3/4"

Relacion A/C: 0,54

Aditivos utilizados: 5 % caucho molido 3 mm

Contenido de aire: 2,60%

Asentamiento: 3,81 cm

Temperatura despues de tamizado: 21,5 °C

Temperatura ambiente inicial: 24,4 °C

Temperatura ambiental final: 24,0 °C

Tiempo de fraguado inicial: 394 minutos

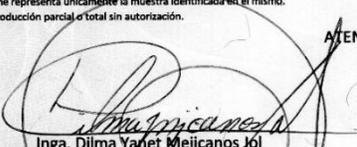
Tiempo de fraguado final: 569 minutos

**Tiempo de fraguado**



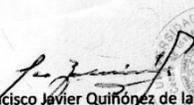
El presente informe representa únicamente la muestra identificada en el mismo. Se prohíbe la reproducción parcial o total sin autorización.

**ATENTEMENTE,**

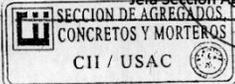


Ing. Dilma Yariet Mejicanos Jól  
Jefa Sección Agregados, Concretos y Morteros

Vo.Bo.



Ing. Francisco Javier Quiñonez de la Cruz  
Director CII/USAC



FACULTAD DE INGENIERIA –USAC–  
Edificio T-5, Ciudad Universitaria zona 12  
Teléfono directo: 2418-9115, Planta: 2418-8000 Exts. 86209 y 86221 Fax: 2418-9121  
Página web: http://cii.usac.edu.gt



Fuente: Informe de ensayo proporcionado por el CII.

## Anexo 11. Velocidad de endurecimiento para concreto patrón



**CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA  
FACULTAD DE INGENIERIA  
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**



---

**DETERMINACIÓN DEL TIEMPO DE FRAGUADO DE MEZCLAS DE CONCRETO  
POR SU RESISTENCIA A LA PENETRACIÓN** No. 08439  
NORMA NTG 41017 h12 (ASTM 403/C403M-08)  
INFORME SACM - 509  
HOJA 1/1

O. T. 35930

**INTERESADO:** Guillermo Antonio Guzman Arriola, carné: 2011-22800

**PROYECTO:** Trabajo de graduación "Paneles aislantes de sonido elaborados con concreto y adición de polvo de llanta"

**DIRECCIÓN:** 9a Ave. 4-85 zona 1 Salamá B. V.

**EMISIÓN DE INFORME:** 10 de noviembre de 2016

Cantidad en masa de materiales por metro cúbico:

Cemento Kg	Arena Kg	Piedrin Kg	Agua Litros
351	770	979	200

Tiempo (minutos)	Esfuerzo de penetración (psi)
180	41
210	86
240	162
270	272
300	368
330	720
360	1260
390	2100
420	3320
450	4120

Tamaño nominal máximo: 3/4"

Relacion A/C: 0,49

Aditivos utilizados: Ninguno

Contenido de aire: 1,50%

Asentamiento: 7,0 cm

Temperatura después de tamizado: 22,5 °C

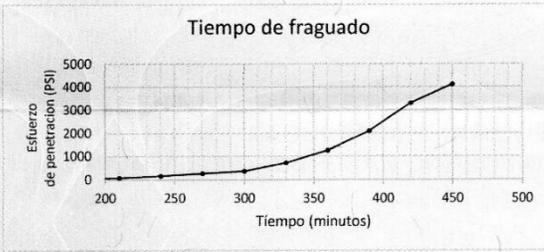
Temperatura ambiente inicial: 24,9 °C

Temperatura ambiental final: 26,9 °C

Tiempo de fraguado inicial: 311 minutos

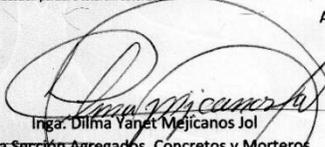
Tiempo de fraguado final: 446 minutos

**Tiempo de fraguado**



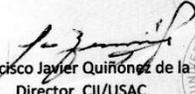
El presente informe representa únicamente la muestra identificada en el mismo.  
Se prohíbe la reproducción parcial o total sin autorización.

ATENTAMENTE,

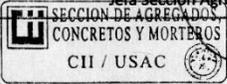


Ing. Dilia Yanet Mejicanos Jol  
Jefa Sección Agregados, Concretos y Morteros

Vo.Bo.



Ing. Francisco Javier Quiñones de la Cruz  
Director CII/USAC



SECCIÓN DE AGREGADOS,  
CONCRETOS Y MORTEROS  
CII / USAC

FACULTAD DE INGENIERÍA –USAC–  
Edificio T-5, Ciudad Universitaria zona 12  
Teléfono directo: 2418-9115, Planta: 2418-8000 Exts. 86209 y 86221 Fax: 2418-9121  
Página web: http://cii.usac.edu.gt



Fuente: Informe de ensayo proporcionado por el CII.

## Anexo 12. Análisis completo del agregado fino para concreto



**CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA  
FACULTAD DE INGENIERIA  
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**



---

**ANÁLISIS COMPLETO DE AGREGADO FINO PARA CONCRETO** No. 08109  
**NORMA NTG 41007 h1 (ASTM C-33)**  
**INFORME S.C. No - 257**  
 HOJA 1/1

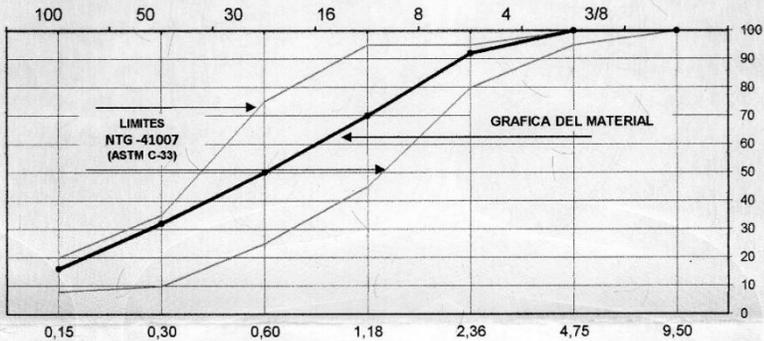
O.T. No. 36145

**INTERESADO:** Guillermo Antonio Guzman Arriola.  
**PROYECTO:** Trabajo de graduacion "Paneles aislantes de sonido elaborados con concreto y adición de polvo de llanta".  
**DIRECCIÓN:** 9a. Avenida 4-85 zona 1, Salama B.V.  
**FECHA:** 29 de junio de 2016

**CARACTERÍSTICAS FÍSICAS:**

Densidad Relativa (sss)	2,62	Porcentaje de Absorción (%)	0,60
Densidad (sss) (kg/m <sup>3</sup> )	2 610,00	Contenido de Materia Orgánica	1
Masa Unitaria, Compactada (kg/m <sup>3</sup> )	1230,00	Pasa Tamiz # 200 (%)	4,60
Masa Unitaria, Suelta (kg/m <sup>3</sup> )	1150,00	Retenido Tamiz 6,35 (%)	0,00
Porcentaje de Vacíos, Compactado (%)	53,00	Modulo de Finura	2,40
Porcentaje de Vacíos, Suelto (%)	56,00		



Tamiz No.	9,50	4,75	2,36	1,18	0,60	0,30	0,15
% Que pasa	100,00	100,00	92,00	70,00	50,00	32,00	16,00

**OBSERVACIONES:**

- Muestra proporcionada por el interesado.
- Tamiz # 200, procedimiento A, lavado con agua corriente.
- Contenido de materia orgánica máximo permisible No. 3

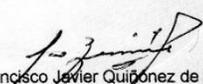
El presente informe representa únicamente las muestras identificadas en el mismo. Se prohíbe la reproducción parcial o total sin autorización.

**ATENTAMENTE,**

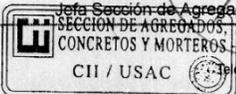


Inga. Dilia Yariel Mejicanos Jol  
 Jefe Sección de Agregados, Concretos y Morteros

Vo.Bo.



Ing. Francisco Javier Quiñonez de la Cruz  
 Director CII/USAC



SECCION DE AGREGADOS,  
CONCRETOS Y MORTEROS  
CII / USAC

FACULTAD DE INGENIERIA -USAC-  
Edificio T-5, Ciudad Universitaria zona 12  
Teléfono directo: 2418-9115, Planta: 2418-8000 Exts. 86209 y 86221 Fax: 2418-9121  
Página web: http://cii.usac.edu.gt

Fuente: Informe de ensayo proporcionado por el CII.