UNIVERSIDAD PERUANA DE CIENCIAS APLICADAS

FACULTAD DE INGENIERÍA

PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERÍA CIVIL

Análisis y diseño de barreras acústicas con una capa de concreto estructural y otra de concreto con agregados de aserrín y viruta, en la sección vial de la Panamericana Norte, entre los km 31 y 35, distrito Puente Piedra

TESIS

Para optar el título profesional de Ingeniero Civil

AUTORES

Gutierrez Anca, Waldir Eduardo ([0000-0001-5354-5379](#))

Justiniano Villegas, Erick Alexander ([0000-0001-7666-0089](#))

ASESOR

Tacza Zevallos, John Nelinho ([0000-0002-1763-9375](#))

Lima, 03 de diciembre de 2020

DEDICATORIA

El presente trabajo de investigación está dedicado principalmente a Dios, por ser el inspirador y darnos fuerza para continuar en este proceso de obtener uno de los anhelos más deseados. A nuestros padres, por su amor, trabajo y sacrificio en todos estos años, gracias a ustedes hemos logrado llegar hasta aquí y convertirnos en lo que somos. A todas las personas que nos han apoyado y han hecho que el trabajo se realice con éxito en especial a aquellos que nos abrieron las puertas y compartieron sus conocimientos.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a Dios por bendecirnos la vida, por guiarnos a lo largo de nuestra existencia, ser el apoyo y fortaleza en aquellos momentos de dificultad y de debilidad. Gracias a nuestros padres: Miguel y Delia; y, Américo y Olinda, por ser los principales promotores de nuestros sueños, por confiar y creer en nuestras expectativas, por los consejos, valores y principios que nos han inculcado. Agradecemos a nuestros docentes de la facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas, por haber compartido sus conocimientos a lo largo de la preparación de nuestra profesión, de manera especial, al Ingeniero John Tacza Zevallos, asesor de nuestra tesis, quien ha guiado con su paciencia y su rectitud como docente. Finalmente, agradecemos al técnico especialista en laboratorio Ronald Gavidia García por apoyarnos en los laboratorios de la Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas de San Miguel.

RESUMEN

La zona en estudio, ubicada entre los kilómetros 31 y 35 de la carretera Panamericana Norte, posee un nivel de presión sonora promedio de 76.48dB y 74.76dB en el horario diurno y nocturno respectivamente, y tomando como base Los Estándares de Calidad de Ruido Ambiental (ECA) se puede determinar que la zona en estudio se produce contaminación acústica. Por ello, las personas que frecuentan y/o circulan por esta zona se encuentran propensas a contraer distintas enfermedades y molestias producto de la contaminación sonora, entre ellas: Estrés, pérdida de audición con el paso del tiempo, problemas cardiológicos, entre otros. Ante lo mencionado, la presente tesis busca controlar el ruido generado por el parque automotor mediante la instalación de Barreras Acústicas en la sección vial de la Panamericana Norte, utilizando como materiales principales dos tipos de concreto, el concreto convencional y el concreto con agregados ligeros de aserrín y viruta. Para ello, el concreto con agregados ligeros de aserrín y viruta, material absorbente del sistema de Barrera Acústica, se lleva al laboratorio acústico para ensayar mediante el método del Tubo de impedancia, para obtener el coeficiente de nivel de presión sonora. Siendo este valor promedio de absorción sonora máxima de las muestras (α) 0.23. En conclusión, el sistema de barrera acústica diseñado alcanza a absorber hasta 23% del nivel de presión sonora percibido, y con ello la zona en estudio se encuentra dentro de los Estándares de Calidad de Ruido Ambiental.

Palabras Clave: Nivel de presión sonora; Sonómetro; Barrera acústica; Absorción acústica; Tubo de impedancia; Coeficiente de absorción sonora.

Analysis and Design of Sound Barriers with a Layer of Structural Concrete and a Layer of Concrete with Sawdust and Swarf Aggregates on the Road Section Comprised Between Km 31 and Km 35 of the Northern Pan-American Highway in the Puente Piedra District.

ABSTRACT

The area under study, located between kilometer 31 and kilometer 35 of the Northern Pan-American Highway, has an average sound pressure of 76.48dB during daytime and 74.76dB during nighttime. Taking the Environmental Noise Quality Standards (ECA, in Spanish) into consideration, it can be determined that the noise pollution occurs in the area under study. Therefore, the people who frequent or pass by this area are prone to contract various diseases or malaise as a result, such as stress, gradual hearing loss, heart issues, among others. Given the situation, this thesis aims at controlling the noise produced by motorized vehicles by installing sound barriers on said road section of the Northern Pan-American Highway, using two types of concrete as main materials: conventional concrete and concrete with light sawdust and woodchip aggregates. The concrete with light sawdust and swarf aggregates, absorbent material of the sound barrier system, is taken to the sound laboratory to perform tests through the impedance tube method to obtain the sound pressure level. This is the average value of the maximum absorption level of the samples (α) 0.23. In conclusion, the designed sound barrier system manages to absorb up to 23% of the perceived sound pressure level. With that, the area under study falls within the Environmental Noise Quality Standards.

Keywords: Sound pressure level; Sound level meter; Sound Barrier; Sound absorption; Impedance tube; Sound absorption ratio.

TABLA DE CONTENIDOS

1. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Antecedentes	1
1.2. Realidad problemática	4
1.3. Formulación del problema	5
1.4. Hipótesis	5
1.5. Objetivos	6
1.5.1. Objetivo General	6
1.5.2. Objetivos Específicos	6
1.6. Descripción del contenido	7
2. MARCO TEÓRICO	9
2.1. El sonido	9
2.2. Propiedades y parámetros del sonido	9
2.2.1. Ondas sonoras	9
2.2.2. Frecuencia	10
2.2.3. Potencia sonora	11
2.2.4. Presión sonora	11
2.2.5. Difracción del sonido	11
2.2.6. Niveles del sonido	12
2.2.6.1. Nivel de Presión sonora	12
2.2.6.2. Nivel de Potencia sonora	13
2.2.6.3. Nivel de banda de octava	13
2.3. El ruido	13
2.3.1. Ruido por tráfico rodado, transporte automotor	14
	V

2.3.1.1.	Ruido del motor	15
2.3.1.2.	Ruido de transmisión	15
2.3.1.3.	Ruido de escape y admisión del aire	15
2.3.1.4.	Ruido aerodinámico	16
2.3.1.5.	Ruido de rodadura	16
2.3.1.6.	Ruido de frenado	17
2.3.2.	Propagación en campo libre	17
2.3.2.1.	Ecuación básica	17
2.3.2.1.1.	Divergencia geométrica (A_{div})	18
2.3.2.1.2.	Absorción atmosférica (A_{atm})	18
2.3.2.1.3.	Efecto suelo (A_{gr})	18
2.4.	Absorción y Aislamiento acústico	19
2.4.1.	Aislamiento acústico	20
2.4.1.1.	Consideraciones de un muro aislante	20
2.4.2.	Absorción Acústica	20
2.4.2.1.	Propiedades de los materiales absorbentes	21
2.4.2.2.	Coeficiente de absorción acústica	22
2.5.	Tubo de Impedancia	22
2.5.1.	Método de medición	23
2.5.2.	Instrumentación	24
2.6.	Barreras acústicas de concreto	25
2.6.1.	Tipos de barreras acústicas	26
2.6.2.	Diseño Acústico de Barreras	27
2.7.	Concreto Estructural	34
		VI

2.7.1.	Definición	34
2.7.2.	Componentes del concreto	35
2.7.2.1.	Cemento Portland.	35
2.7.2.2.	Agregados	35
2.7.2.3.	Agua	35
2.7.2.4.	Aditivos	35
2.7.3.	Propiedades del concreto	36
2.7.3.1.	Trabajabilidad	36
2.7.3.2.	Estabilidad	36
2.7.3.3.	Segregación	36
2.7.3.4.	Exudación	37
2.7.3.5.	Contracción	37
2.7.3.6.	Elasticidad	37
2.7.3.7.	Resistencia	37
2.7.3.8.	Extensibilidad	38
2.8.	Concreto liviano	38
2.8.1.	Definición	38
2.8.2.	Tipos de concreto liviano	38
2.8.2.1.	Concreto liviano estructural de baja densidad	38
2.8.2.2.	Concreto liviano aislante de baja resistencia	39
2.8.2.3.	Concreto liviano aislante de moderada resistencia	39
2.8.3.	Propiedades del concreto liviano	39
2.8.3.1.	Densidad	39
2.8.3.2.	Fluencia	40
2.8.3.3.	Permeabilidad	40

2.8.3.4.	Resistencia a compresión simple	40
2.9.	Concreto con agregados ligeros de aserrín y viruta	40
2.9.1.	Definición	40
2.9.2.	Aserrín	40
2.9.2.1.	Características del Aserrín	41
2.9.3.	Viruta	41
3.	CAPITULO II: MATERIAL Y MÉTODOS	42
3.1.	Material	42
3.1.1.	Población	42
3.1.2.	Muestra	42
3.2.	Método	42
3.2.1.	Nivel de Investigación	42
3.2.2.	Diseño de Investigación	42
3.2.3.	Variables de estudio y operacionalización	43
3.2.4.	Técnicas e Instrumentos de recolección de datos	43
3.2.5.	Técnicas de Procesamiento y Análisis de datos	44
4.	RESULTADOS	44
4.1.	Estudio y análisis del ruido existente en la Carretera Panamericana Norte, entre el km 31 y km 35, producto del transporte vehicular	44
4.1.1.	Metodología del monitoreo de ruido acústico en zona	45
4.1.1.1.	Instrumentación	45
4.1.1.1.1.	Sonómetro	45
4.1.1.1.2.	Accesorios	46
4.1.1.2.	Procedimiento del monitoreo	46
4.1.1.2.1.	Parámetros de medición	46

4.1.1.2.2.	Descripción de la zona	47
4.1.1.3.	Resultados del monitoreo de ruido ambiental	51
4.1.1.4.	Estándares Nacionales de calidad ambiental para ruido	53
4.1.1.5.	Análisis de los resultados	54
4.2.	Cálculo y diseño de barreras acústicas de concretos mixtos	55
4.2.1.	Generalidades	55
4.2.2.	Diseño del concreto estructural	56
4.2.2.1.	Ensayo de Agregados	56
4.2.2.1.1.	Análisis Granulométrico del Agregado Grueso y Agregado Fino	56
4.2.2.1.2.	Determinación del peso específico y porcentaje de absorción	59
4.2.2.1.3.	Determinación del peso unitario	60
4.2.2.1.4.	Ensayo de Contenido de Humedad de Agregados	62
4.2.2.2.	Diseño de mezcla	62
4.2.2.2.1.	Método del ACI, para un concreto de $f'_c=210 \text{ kg/cm}^2$ y asentamiento de 4".	63
4.2.2.3.	Preparación de muestras	66
4.2.2.3.1.	Preparación final de testigos con molde de 4"x8"	66
4.2.2.3.2.	Preparación final de testigos con molde de 6"x12"	67
4.2.2.4.	Ensayo de concreto fresco	68
4.2.2.4.1.	Asentamiento	68
4.2.2.5.	Ensayos de concreto endurecido	68
4.2.2.5.1.	Resistencia a la compresión	68
4.2.3.	Diseño de concreto con agregados de aserrín y viruta	71
4.2.3.1.	Pesos específico de los agregados livianos compactado.	71
4.2.3.1.1.	Aserrín	71

4.2.3.1.2. Viruta	72
4.2.3.2. Diseño de mezcla	73
4.2.3.3. Preparación de mezcla y secado	75
4.2.3.3.1. Panel de barrera acústica	75
4.2.4. Ensayo de absorción acústica	76
4.2.4.1. Materiales Utilizados	77
4.2.4.2. Ensayo	80
4.2.4.2.1. Procedimiento de ensayo	80
4.2.4.3. Interpretación de resultados	81
4.2.5. Diseño de barreras acústicas de concreto	82
4.2.5.1. Parámetros de las barreras:	82
4.2.5.2. Procedimiento de instalación	85
4.2.5.3. Seguridad por instalación de barreras	87
5. DISCUSIÓN Y RESULTADOS	88
5.1. Verificación de resultados	88
5.1.1. Análisis de la reducción de la contaminación acústica	88
5.1.1.1. Datos obtenidos	89
5.1.1.1.1. Medición del ruido	89
5.1.1.1.2. Medición del coeficiente de absorción acústica	89
5.2. Discusión	89
5.3. Análisis de costo unitario de la fabricación de barreras acústicas	90
5.3.1. Materiales utilizados	90
5.3.1.1. Concreto estructural	90
5.3.1.2. Concreto con agregados ligeros aserrín y viruta	90
5.3.2. Análisis de costo para un panel de 1.50x0.40x0.07	91
	X

CONCLUSIONES	92
RECOMENDACIONES	93
REFERENCIAS	93
ANEXOS 1	98
ANEXO 2:	108
ANEXO 3:	110
ANEXO 4:	113
ANEXO 5:	116
ANEXO 6:	119
ANEXO 7:	122
ANEXO 8:	125
ANEXO 9:	127
ANEXO 10:	129
ANEXO 11:	139
ANEXO 12:	142
ANEXO 13:	144
ANEXO 14:	146
ANEXO 15	148
ANEXO 16	159
ANEXO 17	165

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Ejemplo sobre la relación entre el tipo de ambiente y el nivel de decibeles.	3
Tabla 2. Tabla de variables.	43
Tabla 3. Índice acústico en cada punto elegido en el horario diurno.	52
Tabla 4. Índice acústico en cada punto elegido en el horario nocturno.	52
Tabla 5. Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Ruido.	54
Tabla 6. Cuadro comparativo de niveles de ruido entre lo permitido por los Estándares de Calidad Ambiental y lo medido en la zona en estudio.	55
Tabla 7. Resultados del análisis granulométrico del agregado grueso.	57
Tabla 8. Resultados del análisis granulométrico del agregado fino.	58
Tabla 9. Datos de la muestra de agregado grueso.	59
Tabla 10. Resultados del análisis del peso específico y porcentaje de absorción del agregado grueso.	59
Tabla 11. Datos de la muestra de agregado fino.	59
Tabla 12. Resultados del análisis del peso específico y porcentaje de absorción del agregado fino.	60
Tabla 13. Resultados del análisis del peso unitario suelto del agregado grueso.	60
Tabla 14. Resultados del análisis del peso unitario compactado del agregado grueso.	61
Tabla 15. Resultados del análisis del peso unitario suelto del agregado grueso.	61
Tabla 16. Resultados del análisis del peso unitario compactado del agregado grueso.	61
Tabla 17. Resultados del análisis de contenido de humedad del agregado grueso.	62
Tabla 18. Resultados del análisis de contenido de humedad del agregado fino.	62
Tabla 19. Tabla de datos de los materiales a usar en el diseño de mezcla.	63

Tabla 20. Cantidades aproximadas de agua en el concreto para diferentes, slump y tamaño máximo de agregado.	64
Tabla 21. Relación Agua/Cemento vs f'_c .	65
Tabla 22. Tabla de resultados de diseño de mezcla sin corrección por humedad ni absorción.	65
Tabla 23. Tabla de resultados de diseño de mezcla corregidos por humedad y absorción.	66
Tabla 24. Tabla de volúmenes de concreto utilizados en la primera muestra.	67
Tabla 25. Tabla de pesos de materiales utilizados en la primera muestra.	67
Tabla 26. Tabla de volúmenes de concreto utilizados en la primera muestra.	67
Tabla 27. Tabla de pesos de materiales utilizados en la primera muestra.	68
Tabla 28. Tabla de medidas de las probetas.	68
Tabla 29. Tabla ensayos de compresión a los 7 días.	69
Tabla 30. Tabla ensayos de compresión a los 14 días.	69
Tabla 31. Tabla ensayos de compresión a los 28 días.	70
Tabla 32. Tabla de volúmenes de concreto y pesos de materiales utilizados en la primera muestra.	73
Tabla 33. Tabla de volúmenes de concreto y pesos de materiales utilizados en la primera muestra.	74
Tabla 34. Tabla de volúmenes de concreto y pesos de materiales requeridos.	74
Tabla 35. Tabla de volúmenes de concreto y pesos de materiales.	75
Tabla 36. Tabla de coeficientes de absorción sonora.	81
Tabla 37. Tabla de costos panel de concreto con agregado de aserrín y viruta.	91
Tabla 38. Tabla de costos de un panel de concreto estructural.	91

ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1.</i> Representación gráfica de generación de frecuencia, mediante un diapasón con una plumilla en el final de una de las púas. Sobre el papel encerado se traza una onda sinusoidal que se mueve a través de la plumilla a velocidad constante.	10
<i>Figura 2.</i> Difracción de las ondas sonoras en una barrera.	12
<i>Figura 3.</i> Fuente de Ruido Aerodinámico.	16
<i>Figura 4.</i> Regiones para la determinación de efectos suelos.	19
<i>Figura 5.</i> Métodos de mitigación de las ondas sonoras.	19
<i>Figura 6.</i> Absorción acústica.	21
<i>Figura 7.</i> Partes del tubo de impedancia.	25
<i>Figura 8.</i> Fenómeno de difracción.	26
<i>Figura 9.</i> Sonido recepcionado de forma directa.	27
<i>Figura 10.</i> Sonido recepcionado de forma indirecta.	28
<i>Figura 11.</i> Barrera cerca de la carretera.	28
<i>Figura 12.</i> Barrera ubicada en parte alta de talud.	29
<i>Figura 13.</i> Línea de visión y zona de sombra de una barrera acústica.	29
<i>Figura 14.</i> El ruido de la vía más alejada no tendrá la misma magnitud.	30
<i>Figura 15.</i> Barrera acústica ubicada entre dos vías.	30
<i>Figura 16.</i> Reflexión en barreras paralelas con distancias cortas entre ellas.	31
<i>Figura 17.</i> Las barreras acústicas inclinadas pueden alejar el ruido del receptor.	31
<i>Figura 18.</i> Diferentes formas superiores de barreras.	32
<i>Figura 19.</i> Longitud mínima de barreras acústicas.	33
<i>Figura 20.</i> Barreras con extremos doblados.	33

<i>Figura 21.</i> Barreras superpuestas.	34
<i>Figura 22.</i> Sonómetro BSWA 308 clase 1 utilizado en el monitoreo de ruido.	45
<i>Figura 23.</i> Mapa de distribución de puntos a intervenir por monitoreo de ruido ambiental.	47
<i>Figura 24.</i> Ubicación de equipo en el punto 1, para el monitoreo de ruido ambiental.	48
<i>Figura 25.</i> Ubicación de equipo en el punto 2, para el monitoreo de ruido ambiental.	49
<i>Figura 26.</i> Ubicación de equipo en el punto 3, para el monitoreo de ruido ambiental.	50
<i>Figura 27.</i> Ubicación de equipo en el punto 4, para el monitoreo de ruido ambiental.	50
<i>Figura 28.</i> Ubicación de equipo en el punto 5, para el monitoreo de ruido ambiental.	51
<i>Figura 29.</i> Curva granulométrica del agregado grueso.	57
<i>Figura 30.</i> Curva granulométrica del agregado fino.	58
<i>Figura 31.</i> Panel acústico de medidas 1.50m x 0.40m x 0.15m fabricado en el laboratorio de materiales de la UPC.	76
<i>Figura 32.</i> Arreglo de instrumentación en laboratorio de Acústica de la PUCP.	77
<i>Figura 33.</i> Tubo de Impedancia perteneciente al laboratorio de Acústica de la PUCP.	77
<i>Figura 34.</i> Amplificador perteneciente al laboratorio de Acústica de la PUCP.	78
<i>Figura 35.</i> Ubicación de micrófonos pertenecientes al laboratorio de Acústica de la PUCP.	78
<i>Figura 36.</i> Porta muestra adecuada para fines de este ensayo..	79
<i>Figura 37.</i> Muestra elaborada para fines de esta tesis en el laboratorio de materiales perteneciente a la UPC.	80
<i>Figura 38.</i> Ubicación de las barreras acústicas en la sección vial tipo 1.	83
<i>Figura 39.</i> Ubicación de las barreras acústicas en la sección vial tipo 2.	83
<i>Figura 40.</i> Altura de las barreras acústicas en la sección vial en estudio.	84
<i>Figura 41.</i> Inclinação de barreras acústicas para reducción de reflexiones.	85

1. INTRODUCCIÓN

La presente tesis tiene como finalidad demostrar que el uso de la barrera acústica propuesta reduce la contaminación presente en la zona en estudio. Para ello, se realizó toma de datos e información in situ, con estos datos se analizó la magnitud del ruido existente en la zona, luego en el laboratorio se analizó el material propuesto con la finalidad de obtener el índice de absorción acústica. Finalmente, con los resultados se determina la reducción de la contaminación acústica y por consiguiente el índice de enfermedades.

En este capítulo se presenta los hechos que permiten el entendimiento de la investigación.

1.1. Antecedentes

En los últimos años según el INEI, la población peruana ha tenido un crecimiento demográfico importante, donde se refleja un aumento aproximado del 10% anual. Así mismo, en el sector transporte el INEI refleja que entre los años 2011 y 2012 la cantidad de vehículos sufrió un aumento del 17.5%, y esto equivale a un incremento aproximado de 400 000 vehículos por año (Instituto Nacional de Estadísticas e Informática [INEI], 2017). En consecuencia, este incremento del sector transporte trae consigo mayor cantidad de ruido molesto en las calles, y por consiguiente un aumento significativo de contaminación acústica.

De acuerdo a lo descrito en la norma del Decreto Supremo N°085-2003-PCM, Reglamento de estándares nacionales de calidad ambiental para ruido, las zonas residenciales deben percibir un máximo nivel de presión sonora (L_{AeqT}) de 60dB en

horario diurno (de 7.01 horas a 22.00 horas) y 50dBA en horario nocturno (de 22.01 horas a 7.00 horas) (Ministerio del Ambiente [MINAM], 2003). Sin embargo, el informe N°070-2015-OEFA/DE-SDCA realizado por el Ministerio del Ambiente en el año 2015, campaña de mediciones de ruido, los datos obtenidos de Niveles de presión sonora en la zona de Lima Norte, específicamente en el distrito de Puente Piedra, fueron de 72,1 dB en el horario diurno, superando en un 20% los estándares establecidos de calidad ambiental. Asimismo, en la Av. Alfredo Mendiola (Altura del Paradero Villasol), tramo de la Carretera Panamericana Norte, alcanzaron los 69,0 dB, superando en un 15% (MINAM, 2015).

Cabe mencionar que, se han realizado estudios donde se demuestra que la contaminación acústica es perjudicial para la salud de las personas. Por un lado, el artículo hecho en Madrid (España) de la revista *Science of the Total Environment*, analiza las consecuencias que origina el ruido por transporte, tales como enfermedades cardiovasculares y respiratorias, que consecuentemente pueden llevar a la muerte. Como resultado del estudio realizado se tiene que, si el ruido se logra reducir en 1dB, se podría evitar alrededor de 193 muertes anuales por causas cardiovasculares y 71 muertes por causas respiratorias (Recio, Linares, Banegas, & Díaz, 2017). Por otro lado, el estudio realizado en Corea por la revista *Plos One*, la cual analiza los efectos del nivel de ruido del tránsito en el sistema inmune, trajo como resultado que el ruido producido por el tránsito vehicular ocasiona estrés, presión arterial y disfunción vascular asociada con el estrés oxidativo (Kim et al., 2017).

La Organización de Evaluación y Fiscalización Ambiental mediante un artículo publicado en su web, expone que, una conversación común emite aproximadamente 50dB y el ruido en las calles a 80 dB. En base a ello, a partir de los 60 dB el ser humano puede empezar a experimentar molestias en la audición, la exposición prolongada a más de 90 dB

causa pérdida gradual de la audición, la exposición regular a más de 110 dB por más de 1 minuto arriesga la pérdida de audición permanente, véase la tabla 1 (Organismo de Evaluación de Fiscalización Ambiental [OEFA], 2016). Estos datos son muy importantes a conocer, ya que sirve como base para tomar medidas de prevención y mitigación del ruido por transporte.

Tabla 1

Relación entre el tipo de ambiente y nivel de decibeles

RELACIÓN ENTRE EL TIPO DE AMBIENTE Y EL NIVEL DE DECIBELIOS (dBs)	
Decibelios (dBs)	Origen
0	UMBRAL DE PERCEPCIÓN
10	ESTUDIO DE GRABACIÓN
20	HABITACIÓN SILENCIOSA
40	BIBLIOTECA O CONVERSACIÓN SUSURRADA
50	CONVERSACIÓN NORMAL
60	LAVADORA O ASPIRADORA
70	CONVERSACIÓN EN VOZ ALTA
80	CALLE RUIDOSA (TRÁNSITO)
90	TREN EN MOVIMIENTO
100	DISCOTECA
120	DISPARO, MEGAFONO, CLAXON, MARTILLO H.
130	AVIÓN DESPEGANDO
140	EXPLOSIÓN
180	DESPEGUE DE COHETE

Nota: Ejemplos de nivel de decibelios por ambiente de ruido. Adaptado de OEFA 2016

Ante ello, se propone como solución la colocación de barreras acústicas reflectantes y absorbentes. Por un lado, la capa de concreto estructural tiene como función reflejar las ondas sonoras y desviarlas a zonas específicas, de las cuales se encuentran Módulos transparentes (policarbonato, PMMA, polimetacrilato, vidrio), Módulos metálicos lisos y Módulos de concreto liso. Por otro lado, la capa de concreto con agregados ligeros (aserrín y viruta) que tiene la característica de absorber las ondas sonoras y por consiguiente reducir el ruido, de las cuales se encuentran Módulos de concreto poroso, Módulos metálicos tipo “sándwich” (metal ranurado/lana de roca/metal liso) y Módulos de madera (TDM Grupo, 2017).

La importancia de la presente tesis es desarrollar el sistema de barreras acústicas constituidos por dos capas, una capa de concreto estructural y otra de concreto con

agregados ligeros de aserrín y viruta, siendo la capa de concreto estructural el medio aislante y la capa de concreto con agregados ligeros el medio absorbente. Está demostrado que los materiales porosos tienen entre sus principales características un alto rendimiento de absorción de sonido (Carbajo, Esquerdo-Lloret, Ramis, Nadal-Gisbert, & Denia, 2016). Siendo este sistema, uno de los que se desarrolla en las principales ciudades de España aledañas a las carreteras principales. La cual, consiste en colocar barreras acústicas diseñadas para minimizar la contaminación debido al sector transporte en infraestructura lineal (Grupo Quijada, 2017).

1.2. Realidad problemática

Los resultados obtenidos en el estudio realizado por la revista Science of the Total Environment sobre la contaminación acústica, producida por el tránsito vehicular en la población, demuestran que, si el ruido producido por el tránsito vehicular se reduce en 1dB, se pueden evitar 193 muertes anuales por causas cardiovasculares y 71 muertes por causas respiratorias, en España (Recio et al., 2017). Además, el artículo de investigación realizado por la revista Plos One, evidencia que, el ruido producido por el tránsito vehicular ocasiona problemas de estrés, en Corea (Kim et al., 2017). También, los resultados obtenidos en el informe N°070-2015-OEFA/DE-SDCA de la campaña de mediciones de ruido realizado por el Ministerio del Ambiente en el año 2015, demuestran que en zonas cercanas a Puente Piedra el ruido producido por el tránsito vehicular excede en un 15% lo permitido según el reglamento de estándares nacionales de calidad ambiental para ruido (MINAM, 2015). En la cual se indica que, para el horario diurno se debe tener un nivel de ruido de 60dB (de 7.01 horas a 22.00 horas) y para el horario nocturno un nivel de ruido de 50dB (de 22.01 horas a 7.00 horas), con estos valores como máximo se tiene un nivel de ruido adecuado sin contaminación acústica (MINAM, 2003).

Cabe resaltar que, según Google Maps, el ingreso a la ciudad de Lima, proveniente del norte de Perú, es por la Carretera Panamericana Norte y a su vez el primer distrito que recorre con mayor área de zona residencial es el distrito de Puente Piedra. Además, por esta zona transitan todos los tipos de unidades vehiculares. Es por esta razón que es uno de los lugares con más vulnerabilidad al ruido del tránsito de Lima.

En consecuencia, se puede afirmar que en la Carretera Panamericana Norte (entre los km 31 y km 35) hay contaminación acústica producida por el tránsito vehicular, puesto que el informe elaborado por el Ministerio del Ambiente demuestra que en zonas cercanas al punto en investigación el ruido producido excede en un 20% los estándares comentados anteriormente (MINAM, 2003). Causando efectos perjudiciales para la salud de la población que vive o transita en los alrededores.

Asimismo, en la zona de estudio, se encuentran ubicados bloques de muros que cumplen la función de dividir los dos carriles norte y sur, con una altura aproximada de 1.80m y en los lados adyacentes a la Carretera de 1.00m de altura aproximadamente, no siendo el objetivo la de reducción de contaminación acústica.

1.3. Formulación del problema

En consecuencia, a la realidad problemática demostrada, se presenta la siguiente interrogante: ¿Cómo reducir la contaminación acústica producida por el tránsito vehicular entre los kilómetros 31 y 35 de la Carretera Panamericana Norte, en el distrito de Puente Piedra?

1.4. Hipótesis

Mediante el uso de barreras acústicas, de dos capas, una de concreto estructural y otra de concreto con agregados ligeros de aserrín y viruta; se reducirá la contaminación acústica generada por el ruido del transporte vehicular ubicado entre los kilómetros 31 y 35 de la

carretera Panamericana Norte, en el distrito de Puente Piedra. La cual, en base a estudios anteriores se encuentra entre 10dB y 15dB por encima de los estándares nacionales de calidad ambiental para ruido.

1.5. Objetivos

1.5.1. Objetivo General

Demostrar que el uso de barreras con dos capas de concreto, una de concreto estructural y otra de concreto con agregados ligeros reduce la contaminación acústica expuesta entre los kilómetros 31 y 35 de la Carretera Panamericana Norte, del distrito de Puente Piedra.

1.5.2. Objetivos Específicos

- Analizar la magnitud del ruido y su implicancia en la contaminación acústica, donde se mide los niveles de ruido en la carretera Panamericana Norte (tramo puente piedra), finalmente se elabora un cuadro de niveles de ruido.
- Diseñar las barreras acústicas, compuestos de dos capas, la primera de concreto estructural y la segunda de concreto con agregados ligeros de aserrín y viruta, proveniente de los desperdicios de los aserraderos. En primer lugar, se diseña el concreto estructural y concreto con agregados ligeros, obteniendo las dosificaciones de estos concretos para el uso conveniente. En segundo lugar, se realiza el ensayo de absorción del concreto con agregados ligeros. Finalmente, se diseña las barreras acústicas con los datos obtenidos para satisfacer la problemática presentada, el diseño de barreras acústicas comprende, dimensiones (altura, espesor, longitud), sistema de soporte, niveles de absorción y aislamiento acústico y ubicación en la sección vial.

- Analizar el sistema de barreras acústicas. En primer lugar, se analiza los niveles de reducción de la contaminación acústica y las mejoras que trae consigo en las viviendas residenciales aledañas a la Carretera Panamericana Norte. En segundo lugar, se analiza el costo que implica utilizar este sistema en comparación con otros sistemas existentes utilizados en Lima. Finalmente, se analiza otros beneficios que puede traer consigo la colocación de estas barreras acústicas.

1.6. Descripción del contenido

En el capítulo 1, se detalla las definiciones principales sobre la teoría del sonido, contaminación acústica, el concreto estructural, el concreto con agregados ligeros y los tipos de barreras acústicas, y así obtener un mayor enfoque y entendimiento de los objetivos de la presente tesis.

En el capítulo 2, se definen los materiales de la investigación científica, donde se detalla la población y la muestra de esta. Así mismo, los métodos de la investigación científica, el cual incluye detallar el nivel de investigación, el diseño de investigación y las variables de estudio y operación.

En el capítulo 3, se realiza la medición del ruido generado en la Carretera Panamericana Norte entre los km 31 y 35. Esta medición, se realiza respetando la normativa descrita en el Protocolo Nacional de Monitoreo de Ruido, teniendo como resultado los niveles de presión sonora emitidos por el parque automotor (LAeq), con estos datos se realiza una comparación con los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental, y así determinar la contaminación acústica que se tiene en la zona de estudio, a través de los resultados plantear un sistema de control de ruido para minimizar el impacto negativo que genera a la población colindante. Luego, se procede a realizar los diseños de concreto estructural y concreto con agregados ligeros de aserrín y viruta, que son la base de la barrera acústica

planteada. Para ello, los diseños se realizan de acuerdo con las normas vigentes y se realiza los ensayos que estos requieran. Para el concreto con agregados ligeros de aserrín y viruta se realiza un ensayo de absorción acústica mediante el método denominado Tubo de Impedancia, la cual trae como resultado el coeficiente de absorción sonora que posee el material ensayado. Por último, se procede a parametrizar la Barrera Acústica, obteniendo como resultado la altura del panel, distancia de ubicación con respecto a la vivienda y/o Carretera, ángulo de inclinación para instalación.

En el capítulo 4, se analiza el tipo de Barrera acústica diseñado, de acuerdo con el coeficiente de absorción alcanzado, se procede a realizar los cuadros comparativos con los indicado Norma del Decreto Supremo N°085-2003-PCM y Estándares de Calidad Ambiental para Ruido. Luego, se realiza el análisis de costo unitario de la fabricación de las Barreras acústicas y, por último, se plantea los beneficios que trae consigo el uso de las Barreras acústicas, descrita en la presente tesis.

2. MARCO TEÓRICO

2.1. El sonido

El sonido es una alteración física en un medio, el cual se manifiesta con la variación de presión que es detectada por el oído humano, así como también otros aparatos receptores. El sonido produce ondas las cuales viajan por un medio que posea masa y elasticidad, siendo el aire el medio de transporte más común (Harris, 1995).

El sonido al tener diferentes campos de movimiento, este se puede desplazar a diferentes velocidades, por ejemplo, en el aire el sonido se desplaza a 340 m/s, en el agua a 1500 m/s y en el acero 5000 m/s (Kjaer, 2000). Para la presente tesis, básicamente se describe el sonido transportado por el aire.

2.2. Propiedades y parámetros del sonido

2.2.1. Ondas sonoras

El sonido se manifiesta y transporte por el aire a través de ondas que puede ser planas y/o esféricas, siendo estas:

Cuando las ondas sonoras tienen la misma dirección de propagación en todos los puntos, se denominan *ondas planas*, porque los puntos de compresión máxima forman superficies planas perpendiculares a la dirección de propagación. Los puntos de máxima depresión también son planos perpendiculares a la dirección de propagación. Estos planos de fase constante se denominan *frentes de onda*. Muchas fuentes sonoras emiten ondas en que los puntos de máxima compresión forman esferas concéntricas. Estas denominadas *ondas esféricas*.

En muchos problemas de propagación del sonido en aire libre es más cómodo emplear rayos sonoros que frentes de onda. Los *rayos sonoros* son líneas imaginarias que describen la dirección en la cual se propagan las ondas sonoras. Asimismo, estos siempre tienen una dirección perpendicular a los frentes de onda (Harris, 1995, p. 1-3).

2.2.2. Frecuencia

Se dice que la frecuencia es un fenómeno periódico, por consiguiente, la frecuencia llega a ser el número de veces que se repite a sí mismo en un segundo, el cual tiene como unidad el Hertz (Hz), véase la figura 1 (Harris, 1995).

Para la presente tesis, se tiene en cuenta que la percepción auditiva de la persona depende considerablemente de la frecuencia del sonido, dicese que una persona joven saludable puede percibir el sonido en una frecuencia desde los 20 Hz hasta los 20 000 Hz, cabe mencionar que a los sonidos de este rango el oído humano se comporta “sordo” (Kjaer, 2000).

Figura 1. Representación gráfica de generación de frecuencia, mediante un diapasón con una plumilla en el final de una de las púas. Sobre el papel encerado se traza una onda sinusoidal que se mueve a través de la plumilla a velocidad constante. Adoptado de “Manual de medidas acústicas y control del ruido”, por (Harris, 1995).

2.2.3. Potencia sonora

La potencia sonora es la emisión de la energía acústica y es relativamente pequeña. La cual, se expresa en vatios o en pico-vatios, donde 1 pico vatio es igual a 10^{-12} vatios.

Como tipos de Potencia sonora se encuentran: La potencia instantánea; es la tasa a la que la energía sonora es radiada en cualquier instante de tiempo. La potencia máxima; es el valor máximo en cualquier intervalo de tiempo. La potencia media; suele tener un valor mucho menor que la potencia máxima y depende del intervalo de tiempo a lo largo del cual se calcula la media y del método empleado (Harris, 1995).

2.2.4. Presión sonora

Es la presión que se presenta en un determinado punto de la atmósfera, donde las ondas actúan en ella y así generan una presión adicional a la ya existente, que es la presión atmosférica, La presión sonora regularmente se expresa en micro pascales μPa , siendo así, la presión en un determinado punto de medición está dado por (Harris, 1995):

$$P = \rho_0^2 \sin \sin (2\pi f)t \quad (1)$$

2.2.5. Difracción del sonido

La difracción del sonido está dada por el cambio de la dirección de las ondas sonoras, se toma el caso donde existe una barrera acústica donde las ondas sonoras chocan con esta y la difracción se manifiesta cuando las ondas sonoras se flexionan ya sea por la parte superior o por los lados laterales de la barrera., véase la figura 2 (Harris, 1995).

Asimismo, se debe tener en cuenta que aparte de este fenómeno las barreras acústicas también producen en las ondas sonoras los fenómenos de reflexión, ondas que “rebotan” en el muro; fenómeno de transmisión, en el cual las ondas sonoras pasan hacia el otro lado de

la barrera; y por último la absorción, este es la capacidad de la barrera de absorber parte de la energía de la onda sonora.

Figura 2. Difracción de las ondas sonoras en una barrera. Adoptado de “Manual de medidas acústicas y control del ruido”, por (Harris, 1995).

2.2.6. Niveles del sonido

Los niveles del sonido pueden estar sujetos y medidos ya sea por la potencia y/o presión sonora, esta relación está dada por la escala logarítmica de los niveles de presión y potencia sonora, estos tienen como unidad el decibelio (dB). Ante ello, se definen ciertos parámetros de los niveles del sonido a tener en cuenta para la presente tesis.

2.2.6.1. Nivel de Presión sonora

Es una proporción del logaritmo de la presión sonora, la cual se expresa de la siguiente manera.

$$L_p \text{ (dB)} = 20 \log_{10}(p/20) \quad (2)$$

Cabe mencionar, que la presente formula es considerando que la presión sonora de referencia es de 20μPa (Harris, 1995).

2.2.6.2. Nivel de Potencia sonora

En primer lugar, no es lo mismo entender al Nivel de potencia sonora como Nivel de presión sonora, estas dos medidas del sonido son completamente distintas, a pesar de que tienen la misma unidad (dB); y para evitar esta confusión el Nivel de potencia sonora mayormente se expresa en B (belios) (Harris, 1995).

Por otro lado, el nivel de potencia sonora es una expresión logarítmica de la potencia sonora, dado que este tiene valores muy pequeños. Por ello, el nivel de potencia sonora se puede expresar de la siguiente manera, considerando que la referencia de la potencia sonora es de 1 picovatio.

$$L_w (dB) = 10 \log_{10}(W/10^{-12}) \quad (3).$$

2.2.6.3. Nivel de banda de octava

Una medida importante del sonido es su distribución de frecuencias. La cual se obtiene de diferentes niveles de presión sonora en cada frecuencia tomada. Es por ello, que el nivel de banda de octava trata de agrupar en rangos las frecuencias de los sonidos medidos a lo largo del tiempo, esta distribución de rango de frecuencias genera los analizadores de espectros. El analizador de espectro más habitual es el que divide en una octava de anchura, siendo la razón de la frecuencia de 2, quiere decir que cada rango empieza en un “X” frecuencia y el final es el doble de “X”, y así sucesivamente cada final de rango duplica la del anterior (Harris, 1995).

2.3. El ruido

El ruido es un caso especial del sonido, el cual se define como un sonido no deseado o nocivo para el oído humano, causando en ellos distintas enfermedades fisiológicas, cardíaca, psicológicas, entre otros (Sandoval, 2005).

Teniendo en cuenta este concepto, el ruido se puede encontrar en distintos lugares como, ruido por tráfico rodado, aéreo, ferroviario, ruido industrial, ruido ambiental y otros. La presente tesis, se centra en el ruido generado por el transporte automotor del tráfico rodado.

2.3.1. Ruido por tráfico rodado, transporte automotor

El ruido que emana del transporte vehicular es uno de los principales causantes de la contaminación acústica en las diferentes ciudades. Siendo estos de tres tipos diferenciados, ruido de origen aerodinámico, ruido de propulsión y rodadura, ante ello (Sandoval, 2005) explica lo siguiente:

Cuando los vehículos automotores circulan a velocidades superiores a los 80 km/h el ruido de origen aerodinámico supera al ruido de propulsión y al de rodadura. Entre 50 y 80 km/h predomina el ruido de rodadura. Por debajo de 50 km/h en general predomina el ruido del motor. En las ciudades donde transitan millones de automóviles, en general se mantiene el ruido de rodadura y el de motor.

Según las estadísticas del INEI, en los últimos años el parque automotor se incrementó considerablemente a partir del año 2012. Siendo así

Los niveles y composición espectral del ruido del tráfico varían considerablemente en función de numerosos parámetros. En efecto, estos ruidos dependen de los tipos de vehículos que los generan, de las condiciones de utilización, de la carga transportada, etc.; en cualquier caso, el parámetro más importante es la intensidad de tráfico. Las condiciones de las infraestructuras correspondientes (naturaleza y estado del firme, regulación del tráfico, estructura urbanística, etc.) desempeñan también un papel significativo.

En un vehículo automóvil ordinario, las fuentes sonoras son muy diversas: Las explosiones del motor, los ruidos producidos por la admisión, los frenos, las vibraciones de la carrocería y, finalmente, el ruido producido por el desplazamiento de los neumáticos sobre el revestimiento de la calzada (Morales, 2009, p. 15).

Ante lo expuesto, se detalla algunos conceptos de los tipos de ruidos generados por los vehículos, véase la figura 3.

2.3.1.1. Ruido del motor

Este ruido es generado por la combustión, ya que en las partes que componen el motor, (soporte y las cúpulas de protección) fuerzas mecánicas que se manifiestan en vibraciones, por consiguiente, estas vibraciones son las que convierten al motor en fuente de ruido (Sanz, 2012).

2.3.1.2. Ruido de transmisión

Se entiende como transmisión a los engranajes del auto que generan cierta velocidad. Por ello, el ruido por transmisión se genera por los cambios de velocidad que puede tener un vehículo, ya que estos transmiten cargas bruscas. Por consiguiente, estas fuerzas de transmisión emiten vibraciones que se transforman en ruido. Asimismo, estas vibraciones en los engranajes se pueden dar también por los desgastes propios y/o algún eje desalineado (Sanz, 2012).

2.3.1.3. Ruido de escape y admisión del aire

Las válvulas de admisión de motor crean pulsos de presión, generado por los cortes periódicos en el flujo de aire. Este proceso, se manifiesta al exterior como ruido de admisión. Cabe mencionar que, este ruido tiene tendencia a aumentar a medida que la

potencia del motor aumenta, variando de 10 a 15 dB, desde el reposo hasta la máxima potencia (aceleración) (Sanz, 2012).

Asimismo, el ruido de escape, que es la liberación producida por los pistones es muy variable y depende principalmente del tipo de motor con el que cuenta, estas varían de acuerdo con las características de la apertura y cierre de las válvulas (Sanz, 2012).

2.3.1.4. Ruido aerodinámico

El ruido es generado por el flujo externo alrededor del vehículo. Este ruido generado por el vehículo tiene como referencia la velocidad en la que circula un vehículo, ya que genera fluctuaciones de presión que se asocian con turbulencias. Cabe mencionar, que este ruido tiene tres componentes: la capa límite distribuida sobre la carrocería, los bordes y en la formación de vértices en varias partes del vehículo, véase la figura 3. (Sanz, 2012).

Figura 3. Fuente de Ruido Aerodinámico. Adoptado de “Técnicas para el estudio acústico en vehículos”, por (Sanz Vila, 2012).

2.3.1.5. Ruido de rodadura

Es el ruido generado principalmente por las ruedas del vehículo. Las cuales, se pueden descomponer en: generado por el patrón del neumático y la fricción de este con la carretera. Cabe mencionar que, este ruido depende también por el diseño y tipo de neumático, la velocidad del vehículo, el tipo de camino y el desgaste (Sanz, 2012).

2.3.1.6. *Ruido de frenado*

Dependiendo del sistema que utilice el vehículo, es el ruido que genera la fricción entre los componentes del sistema de frenado al momento de accionar el freno del vehículo. Por un lado, se tiene los vehículos que usan zapatas y estas al accionar friccionan con el tambor. Por otro lado, los sistemas de frenado con disco las cuales interaccionan con las pastillas. Este ruido de fricción que existe es muy común en todos los autos y es un problema que aún no ha podido determinar y/o solucionar al 100%, ya sea para vehículos nuevos y antiguos (Sanz, 2012).

2.3.2. *Propagación en campo libre*

Mediante la norma ISO 9613-2, se especifica un método de ingeniería para el cálculo de la atenuación de la propagación sonora en exteriores, con la finalidad de predecir los niveles de ruido a una distancia determinada (International Organization for Standardization [ISO], 2008).

2.3.2.1. *Ecuación básica*

La siguiente ecuación determina el nivel de presión sonora continuo equivalente en el receptor, $L_{AT}(DW)$ para una fuente puntual.

$$L_{AT}(DW) = L_W + D_C - A \quad (4)$$

Donde L_W es el nivel de potencia sonora por banda de octava, en decibeles, producida por una fuente puntual relativa a una potencia de referencia de 1 picowatt (1pw), D_C es la corrección de directividad, en decibeles, la desviación del nivel de potencia con respecto a una fuente omnidireccional (toma el valor 0 para una fuente omnidireccional en campo

libre), y A es la atenuación por banda de octava en decibeles, que ocurre durante la propagación de la fuente al receptor (ISO, 2008).

La atenuación por banda de octava está dada por:

$$A = A_{div} + A_{atm} + A_{gr} + A_{bar} + A_{misc} \quad (5)$$

2.3.2.1.1. Divergencia geométrica (A_{div})

Es la propagación de una fuente de onda esférica en campo libre desde una fuente puntual.

$$A_{div} = \left[20 \log \log \left(\frac{d}{d_0} \right) + 11 \right] dB \quad (6)$$

Donde d es la distancia desde la fuente al receptor, en metros y d_0 es la distancia de referencia (=1.00m) (ISO, 2008).

2.3.2.1.2. Absorción atmosférica (A_{atm})

Esta es la atenuación debido a la absorción atmosférica, en decibelios por kilómetro, en cada frecuencia central de banda de octava.

$$A_{atm} = \frac{\alpha d}{100} \quad (7)$$

Donde α es el coeficiente de atenuación atmosférica en decibeles por kilómetro, en cada frecuencia central de banda de octava (ISO, 2008).

2.3.2.1.3. Efecto suelo (A_{gr})

La curvatura de la propagación afirma que la atenuación es determinada primordialmente por las superficies cerca de la fuente y el receptor. Para lo cual, se mencionan las siguientes zonas:

- La zona de la fuente que se extiende $30h$ desde la fuente hasta el receptor, donde h , es la altura de la fuente. Esta región tiene un máximo de distancia de d_p que es la distancia desde la fuente al receptor, véase la figura 4.
- La zona del receptor que se extiende $30h$ desde el receptor hasta la fuente, donde h , es la altura del receptor. Esta región tiene un máximo de distancia de d_p .
- La zona media, que se extiende entre la fuente y el receptor si se cumple la condición que $d_p < (30h_s + 30h_r)$

Figura 4. Regiones para la determinación de efectos suelos. Por Olmos Cancino, 2002.

Así mismo, las propiedades acústicas de la zona se describen a través del factor de suelo G . Para lo cual, tiene las siguientes categorías: Suelo duro ($G=0$), suelo poroso ($G=1$) y suelo mixto, G toma valores entre 0 y 1 (ISO, 2008).

2.4. Absorción y Aislamiento acústico

Las ondas sonoras que impactan con la superficie de algún material se pueden reflejar, transmitir o absorber. La cantidad de energía que se mitiga mediante reflexión, transmisión o absorción depende de las propiedades acústicas del material, véase figura 5.

Figura 5. Métodos de mitigación de las ondas sonoras. Adoptado de “Barreras Sónicas de Hormigón”, por Instituto Del Cemento Portland Argentino

2.4.1. Aislamiento acústico

Es expresada por la relación que existe entre la energía que incide sobre algún material aislante con respecto a la que se transmite a través de ella. La medida en la que se expresa el aislamiento es el Decibelio y depende mucho del material y/o sistema a implementar (Environmental Acoustics, 1989).

2.4.1.1. Consideraciones de un muro aislante

El aislamiento se adhiere a la Ley de Masa, de donde se extrae que, el aislamiento al ruido aéreo puede aumentar en 6dB cada vez que se duplica la masa del muro por área.

Otro punto importante es el ángulo en el cual las ondas inciden hacia el muro aislante.

Cabe precisar, que para un diseño de muro aislante no solo se considera la masa, sino también una rigidez baja, y así la resonancia se presenta en la zona baja, donde el oído es menos sensible (Environmental Acoustics, 1989).

2.4.2. Absorción Acústica

La absorción acústica es parte de la energía incidente de las ondas sonoras emitidas de una fuente (por ejemplo, del tránsito vehicular) que es absorbida mediante conversión a calor al chocar con la superficie de un material. Todos los materiales tienen un porcentaje

de absorción de distinta intensidad, pero los materiales porosos se caracterizan por tener un mayor porcentaje de absorción de sonido (Harris, 1995).

2.4.2.1. *Propiedades de los materiales absorbentes*

La característica principal de los elementos acústicos que originan la disipación de la energía es una capa de material muy poroso (de un grosor mínimo de 1/2" ó 1.27 cm), en la que estos poros están interconectados entre sí, véase la figura 6 (Harris, 1995). Estos poros permiten a las ondas sonoras, generadas por una fuente (por ejemplo, del tránsito vehicular), pasar a través del muro. Por lo cual las ondas sonoras son forzadas a tomar una ruta más larga y dificultosa hasta el receptor. En este trayecto la propagación de ondas sufre una reducción de energía por medio de la fricción con las superficies (Instituto del Cemento Portland Argentino [ICPA], 2015). Esta fricción actúa como una resistencia acústica cuyo valor depende de la resistencia del material al flujo de aire directo y ligeramente de la frecuencia (Harris, 1995).

Otra característica que aporta a la absorción del sonido, mayormente en frecuencias bajas, es la profundidad del espacio entre el frente del material y una superficie rígida de apoyo detrás del mismo. El volumen de aire entre las dos superficies consiste tanto en el volumen de los poros del material como alguna cámara de aire entre estas superficies.

Figura 6. Absorción acústica. Adoptado de “Barreras Sónicas de Hormigón”, por Instituto Del Cemento Portland Argentino.

2.4.2.2. *Coefficiente de absorción acústica*

El coeficiente de absorción define las propiedades absorbentes de un material, así mismo, es la relación de la energía absorbida y la energía incidente. Este coeficiente es la función de la frecuencia del sonido y del ángulo de incidencia (Environmental Acoustics, 1989).

El coeficiente de absorción está representado por α y matemáticamente se define de la siguiente manera:

$$\alpha = 1 - \frac{I_r}{I_i} \quad (8)$$

Donde α , I_r y I_i son el coeficiente de absorción de sonido, intensidad unilateral del reflejado sonido y la intensidad unilateral del sonido incidente, respectivamente (Environmental Acoustics, 1989).

El coeficiente de absorción varia de 0 a 1 y este al multiplicarlo por 100 resulta el porcentaje de absorción del material. Por ejemplo, el coeficiente de absorción de un material es 0.50, esto quiere decir que el 50 % de la energía acústica incidente que llega al material es absorbida. Normalmente, el coeficiente de absorción de un material se halla para seis frecuencias: 125, 250, 500, 1000, 2000, 4000 Hz (Harris, 1995).

2.5. *Tubo de Impedancia*

Los tubos de impedancia son dispositivos que se utilizan para medir las propiedades de materiales en incidencia normal, como el coeficiente de absorción, el coeficiente de reflexión, el índice de pérdida de transmisión, la impedancia acústica específica, entre otros (Machuca, 2011). Así mismo, este tubo está diseñado y fabricado según la norma ISO 10534.

Este dispositivo consiste en un tubo de sección constante, donde en un extremo se ubica el generador de ruido o amplificador. Al otro extremo se ubica el espécimen del material a ser evaluado acústicamente, colocado en la porta muestra respectivo. Finalmente, entre el generador de ruido y la muestra se ubican los micrófonos a una cierta distancia de esta última (Navas & Santander, 2011).

2.5.1. Método de medición

Existen varios métodos de medición para hallar estas propiedades acústicas de los materiales; uno de ellos es el método de función de transferencia, el cual se usó en la presente tesis y está basado en la norma ISO 10534-2 “Determinación del coeficiente de absorción acústica en tubo de impedancia. Parte 2: Método de función de transferencia. Sobre este método Arnay (2014) define lo siguiente:

Una función de transferencia es un modelo matemático que a través de un cociente relaciona la respuesta de un sistema a una señal de entrada o excitación. La función de transferencia de un sistema lineal e invariante en el tiempo se define como el cociente entre la transformada de Laplace de la salida y la transformada de Laplace de la entrada, bajo la suposición de que las condiciones iniciales son nulas (p.19).

El método de medición de la norma UNE-EN ISO 10534-2 se basa en el hecho de que el coeficiente de reflexión acústica para incidencia normal r , puede determinarse a partir de la función de transferencia compleja H_{12} entre dos posiciones de micrófonos frente al material ensayado, concretamente, entre la posición de micrófono 1 y 2 (p.19).

2.5.2. Instrumentación

Las partes del tubo de impedancia son las siguientes, véase la figura 7:

- Tubo de impedancia

El tubo de impedancia es un tubo recto de sección circular o rectangular constante, con paredes rígidas y lisas, sin agujeros ni fisuras en toda su extensión de ensayo. Las paredes deben ser pesadas y macizas, con la finalidad de que no vibren por efecto de las señales acústicas. El tubo debe ser suficientemente largo para permitir el desarrollo de ondas planas entre la fuente de incidencia y la muestra. La porta muestra debe ser parte íntegra del tubo de impedancia o como un elemento separado que se acople firmemente al tubo durante los ensayos (Arnay, 2014).

- Altavoz

El altavoz está montado en el tubo de impedancia del lado extremo opuesto de la porta muestra. La superficie de la membrana del altavoz debe ocupar al menos $2/3$ del área de la sección transversal del tubo. Este altavoz debe estar aislado, con la finalidad de evitar transmisiones por vía aérea por los flancos del tubo hacia los micrófonos. Finalmente, en la parte interior del tubo, cerca al altavoz, debe tener un revestimiento con un material que tenga como característica la absorción acústica, para suprimir resonancias del tubo provocadas por la columna de aire (Arnay, 2014).

- Micrófonos

Los micrófonos deben ser dos del mismo tipo en diferentes posiciones. Se recomienda usar micrófonos de presión de diámetro pequeño para los que van adosados en las paredes del tubo. Así mismo, es recomendable que los diámetros sean menores al 20% de la distancia entre ellos (Arnay, 2014).

Para determinar la ubicación de cada micrófono se debe tener en cuenta lo siguiente: En primer lugar, es necesario que los micrófonos se ubiquen en el campo de ondas planas. En segundo lugar, Estos deben estar, como mínimo, a la distancia de tres veces el diámetro del tubo desde la ubicación del altavoz, pero en caso extremo, no más cerca de distancia de un diámetro del tubo. Finalmente, la distancia mínima entre el micrófono y la muestra es la mitad del diámetro interior del tubo para muestras sin elementos de estructuras y dos veces el diámetro interior del tubo para muestras fuertemente asimétricas (Arnay, 2014).

Con respecto al posicionamiento de los micrófonos en las paredes, el diafragma de los micrófonos debe coincidir con la superficie de la pared interior del tubo y debe de sellarse los espacios entre el micrófono y el orificio de montaje (Arnay, 2014).

Figura 7. Partes del tubo de impedancia, por Arnay Sarabia (2014).

2.6. Barreras acústicas de concreto

Las barreras acústicas son muros perimetrales diseñados y contruidos para reducir o mitigar el impacto de contaminación acústica generado en la población, mediante un material poroso y ligero. Esta contaminación es producida por diversas actividades, como por ejemplo el transporte terrestre (rutas autopistas y ferrocarriles) (ICPA, 2015).

Para el fin de esta tesis, el campo de aplicación de las barreras acústicas se basa en autopistas existentes evaluadas mediante un monitoreo de ruido acústica, que se detalla en el capítulo 3.

2.6.1. Tipos de barreras acústicas

Las barreras acústicas se pueden agrupar en 3 tipos: Barreras acústicas absorbente, barreras acústicas reflectantes y finalmente barreras acústicas reactivas, véase la figura 5.

- Las barreras acústicas absorbentes

Son muros perimetrales fabricados con un material poroso. Este material permite que las ondas sonoras atraviesen por las cavidades del muro y sean forzadas a recorrer un camino mayor, sufriendo pérdida de energía y parte de ella transformándose en energía calorífica, hasta llegar al receptor con menor sonido percibido, véase la figura 6 (Instituto del Cemento Portland Argentino, 2015).

- Las barreras acústicas reflectantes

Son muros perimetrales que permiten que las ondas sonoras se reflejen, forzándolas a propagarse en retorno para el sentido de la fuente incidente generadora de ruidos (Instituto del Cemento Portland Argentino, 2015).

Una de las limitaciones de estas barreras acústicas es el fenómeno de difracción. Este se produce en los extremos de las barreras acústicas y consiste en la desviación de las ondas sonoras, véase la figura 8 (ICPA, 2015).

Figura 8. Fenómeno de difracción. Adoptado de “Barreras Sónicas de Hormigón”, por Instituto Del Cemento Portland Argentino.

- Las barreras acústicas reactivas

Son muros perimetrales que incorporan en su superficie cavidades o resonadores que mitigan algunas frecuencias particulares del sonido. Este tipo de barrera consiste en que las ondas sonoras ingresen en estas cavidades por medio de orificios diminutos o fisuras de los elementos del hormigón. Estas cavidades se pueden diseñar para la anulación de frecuencias que se requiriera o necesite y para llegar a ello se rellenan las cavidades con material absorbente (ICPA, 2015).

2.6.2. Diseño Acústico de Barreras

El sonido generado por una fuente incidente (por ejemplo, el tránsito vehicular), puede llegar al receptor (por ejemplo, la población que vive aledaña a la carretera) de dos formas. La primera de forma; directa o en línea recta desde la fuente al receptor, véase la figura 9. Y la segunda de forma; indirecta mediante reflexión o difracción, lo que puede permitir que el sonido se desvíe alrededor de una esquina de la barrera, véase la figura 10. Cuando una barrera acústica se interpone entre la fuente y el receptor, el sonido puede ser parcialmente absorbido por el material de la barrera y otra parte del sonido puede transmitirse a través de esta (NZ Transport Agency, 2010).

Figura 9. Sonido recepcionado de forma directa. Adoptado de “NZTA State Highway Noise Barrier Design Guide”, por NZ Transport Agency.

Figura 10. Sonido recepcionado de forma indirecta. Adoptado de “NZTA State Highway Noise Barrier Design Guide”, por NZ Transport Agency.

A continuación, se definen las consideraciones más importantes para poder diseñar las barreras acústicas:

- **Ubicación:**

La ubicación de las barreras es un aspecto muy importante para el diseño de estas. En primer lugar, la barrera acústica debe estar lo más cerca posible a las vías de la carretera, véase la figura 11. Sin embargo, si la carretera está ubicada al pie de un talud es más conveniente que la barrera acústica se ubique en la parte alta, véase la figura 12 (NZ Transport Agency, 2010).

Figura 11. Barrera cerca de la carretera. Adoptado de “NZTA State Highway Noise Barrier Design Guide”, por NZ Transport Agency.

Figura 12. Barrera ubicada en parte alta de talud. Adoptado de “NZTA State Highway Noise Barrier Design Guide”, por NZ Transport Agency.

- **Altura:**

La altura de la barrera es uno de los parámetros más importantes, puesto que es la que va a permitir que el ruido producido por el tránsito vehicular no pase sobre este. La barrera debe tener una altura mínima, la cual al menos debe bloquear la línea de visión de una edificación al motor de los vehículos en la sección vial. La línea de visión se debe calcular desde un punto en la edificación a una altura de 1.50m del nivel de piso terminado (NPT) hasta el punto más alejado de la sección vial a una altura de 1.00m de la superficie, véase la figura 13 (NZ Transport Agency, 2010).

Figura 13. Línea de visión y zona de sombra de una barrera acústica. Adoptado de “NZTA State Highway Noise Barrier Design Guide”, por NZ Transport Agency.

Para carreteras con sección vial de 2 a más vías, el ruido emitido en los carriles más alejados no tendrá la misma magnitud de reducción en las barreras que el ruido emitido en los carriles más cercanos, ya que ambos tienen diferentes ángulos de trayectoria, a menos que la carretera se encuentre en un puente o terraplén sobre las edificaciones, véase la figura 14. Sin embargo, esta situación se puede solucionar aumentando la altura del panel o ubicando un nuevo panel entre las dos vías, véase la figura 15 (NZ Transport Agency, 2010).

Figura 14. El ruido de la vía más alejada no tendrá la misma magnitud. Adoptado de “NZTA State Highway Noise Barrier Design Guide”, por NZ Transport Agency.

Figura 15. Barrera acústica ubicada entre dos vías. Adoptado de “NZTA State Highway Noise Barrier Design Guide”, por NZ Transport Agency.

- Reflexiones:

Las reflexiones de las ondas sonoras en una barrera acústica es un aspecto importante para el diseño de estos. Las múltiples reflexiones que se dan entre dos barreras paralelas pueden reducir el objetivo principal de una barrera acústica. El ancho

entre barreras debe ser, como mínimo, diez veces altura promedio de las barreras, véase la figura 16 (NZ Transport Agency, 2010).

Figura 16. Reflexión en barreras paralelas con distancias cortas entre ellas. Adoptado de “NZTA State Highway Noise Barrier Design Guide”, por NZ Transport Agency.

Así mismo, el ángulo vertical de las barreras acústicas se puede utilizar para evitar múltiples reflexiones y para reflejar el ruido que fue reflejado por el primer panel. Por ejemplo, al inclinar 7° una barrera acústica, desvía las ondas sonoras y reduce los impactos de los reflejos, véase la figura 17 (NZ Transport Agency, 2010).

Figura 17. Las barreras acústicas inclinadas pueden alejar el ruido del receptor. Adoptado de “NZTA State Highway Noise Barrier Design Guide”, por NZ Transport Agency.

- Forma Superior:

Las formas de los bordes superiores de una barrera acústica pueden aumentar el rendimiento de la misma, sin necesidad de aumentar su altura. Con esta nueva forma múltiples ondas sonoras provenientes de la fuente de incidencia podrán ser absorbidas o reflectadas. De los cuales se puede encontrar formas tipo T, tipo Y, formas de pera o formas en voladizo. Es posible que estas formas superiores sea

una solución costosa pero eficiente véase la figura 18 (NZ Transport Agency, 2010).

Figura 18. Diferentes formas superiores de barreras. Adoptado de “NZTA State Highway Noise Barrier Design Guide”, por NZ Transport Agency.

Adicional a ello, esta forma en la parte superior podrá ayudar a minimizar la difracción de las ondas que se generan en los bordes superiores de las barreras (Harris C., 1995).

- Longitud:

La longitud de las barreras acústicas es un factor muy importante para minimizar la contaminación acústica producida por el tránsito vehicular. Como principal aspecto, la barrera debe cumplir, como mínimo un ángulo de 160° visto desde el receptor (edificaciones), véase la figura 19. Sin embargo, en caso esta longitud no sea posible por limitaciones de la zona, se podrán doblar los extremos de la misma, normalmente se realiza cuando se ubica cerca de las vías de la carretera, véase la figura 20 (NZ Transport Agency, 2010).

Figura 19. Longitud mínima de barreras acústicas. Adoptado de “NZTA State Highway Noise Barrier Design Guide”, por NZ Transport Agency.

Figura 20. Barreras con extremos doblados. Adoptado de “NZTA State Highway Noise Barrier Design Guide”, por NZ Transport Agency.

- Continuidad:

Para que las barreras acústicas sean eficientes deben de cumplir la longitud requerida en el punto anterior y conservar la continuidad de la misma, con la finalidad de que los peatones, ciclistas y autos tengan acceso a la vía de la carretera y a las alternas. Una solución es usar barreras superpuestas. La superposición debe tener, por lo menos, tres a cuatro veces el ancho de la abertura, véase la figura 21 (NZ Transport Agency, 2010).

Figura 21. Barreras superpuestas. Adoptado de “NZTA State Highway Noise Barrier Design Guide”, por NZ Transport Agency.

2.7. Concreto Estructural

2.7.1. Definición

El Concreto es una mezcla en la cual participan el cemento Portland, agregados grueso y fino, agua y en algunos casos Aditivos, este último es requerido en casos especiales. Cabe señalar, que el concreto se puede presentar en dos fases: estado fresco y estado endurecido. Asimismo, de la definición.

Se desprende que se obtiene un producto híbrido, que conjuga en mayor o menor grado las características de los componentes, que bien proporcionados, aportan una o varias de sus propiedades individuales para construir un material que manifiesta un comportamiento particular y original (Pasquel, 1999, pág. 11).

2.7.2. Componentes del concreto

2.7.2.1. *Cemento Portland.*

Es el componente principal del concreto, el cual es extraído y pulverizado del Clinker Portland, a la cual se adiciona otros elementos, en especial el sulfato de calcio (Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento, 2009). En el Perú existen variedades de cementos y entre los más usados son el Tipo I, Tipo II, Tipo III, Tipo IP y Tipo IPM. (Pasquel, 1999). Las especificaciones del cemento deben cumplir lo indicado en ITINTEC 334.001.

2.7.2.2. *Agregados*

Los agregados para el concreto son de dos tipos, a la vez estos pueden ser natural y/o artificial. En primer lugar, el agregado grueso se considera a las partículas en el tamiz N°4 (4.75mm). En segundo lugar, el agregado fino se considera a las partículas que pasa el tamiz 3/8" (9.5mm). Finalmente, estos agregados deben cumplir ciertos parámetros descritos en la Norma ITINTEC 400.037 (Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento [MVCS], 2009).

2.7.2.3. *Agua*

Es considerado un aditivo del concreto, el cual es recomendable que este sea potable, de no ser el caso el agua a utilizar debe cumplir ciertos parámetros descritos en la norma técnica peruana N.T.P 339.088; para que así, no genere reacciones adversas a las propiedades del concreto.

2.7.2.4. *Aditivos*

Son productos químicos, las cuales son utilizadas para modificar las propiedades del concreto sea en la etapa fresca o endurecida. El uso de un aditivo se sugiere por

acondicionamiento a las necesidades del uso del mismo, ya sea por necesidad o por trabajabilidad. Los aditivos deben cumplir lo descrito en NORMA ITINTEC 339.086 (MVCS, 2009).

2.7.3. Propiedades del concreto

2.7.3.1. *Trabajabilidad*

Se encuentra definido por la mayor o menor dificultad, de mezclado, transporte, colocación y compactación del concreto. Para medir la trabajabilidad del concreto se usa el método del cono de Abrams, el cual se obtiene como resultado el “Slump” o asentamiento. Asimismo, se sugiere utilizar golpear con una varilla la plancha base y así verificar si el concreto se acomoda con la compactación (Pasquel, 1999).

2.7.3.2. *Estabilidad*

Esta propiedad refiere a la facilidad de desplazamiento o flujo del concreto sin aplicación de fuerzas externas. Es cuantificado por medio de la exudación y la segregación, cabe mencionar que, estos fenómenos dependen de los finos y la adherencia de la pasta (Pasquel, 1999).

2.7.3.3. *Segregación*

Es el efecto que tiene el concreto, donde las partículas más pesadas desciendan, ante ello Pasquel (1999) señala que:

pero en general, la densidad de la pasta con los agregados finos es sólo un 20% menor que la de los gruesos (para agregados normales) lo cual sumado a su viscosidad produce que el agregado grueso quede suspendido e inmerso a la matriz (p.137).

2.7.3.4. *Exudación*

Esta propiedad se refiere a que, parte del agua de la mezcla sube hacia la superficie.

Ante ello, Pasquel (1999) señala que:

No debe caerse en el error de considerar que la exudación es una condición anormal del concreto, ni en la práctica indiscriminada usual de “secar” el concreto espolvoreando cemento en la superficie mientras aún hay exudación, ya que se origina una capa superficial muy delgada de pasta que en la parte inferior tiene una interfase de agua que la aísla de la masa original (p.139).

2.7.3.5. *Contracción*

Esta propiedad es muy importante en los problemas de fisuración del concreto. En primer lugar, la contracción intrínseca es un proceso irreversible que consta de la reducción del volumen original de agua. En segundo lugar, la contracción inherente que es llamada contracción por secado que es la responsable de los problemas de fisuras (Pasquel, 1999).

2.7.3.6. *Elasticidad*

Es una de las propiedades donde el concreto se deforma por acción de la carga. Cabe mencionar que, el concreto no tiene un comportamiento estático, por lo que, se le asigna un “Modulo de elasticidad estático”. “Las mezclas más ricas tienen módulo de elasticidad mayores y mayor capacidad de deformación que las mezclas pobres” (Pasquel, 1999, p. 141).

2.7.3.7. *Resistencia*

Es la propiedad en la cual el concreto soporta cargas y esfuerzos, y siendo el más importante el comportamiento en compresión. Siendo la relación a/c (agua/cemento) el parámetro principal para el diseño de la resistencia. Hay que tener en cuenta que, un

proceso importante para la resistencia es el curado del concreto. La resistencia a la compresión del concreto usado normalmente, oscila entre los 100 a 400 kg/cm², pero si a estos se le adicionan ciertos aditivos pueden llegar a obtener más resistencia de lo normal (Pasquel, 1999).

2.7.3.8. *Extensibilidad*

Pasquel (1999) Menciona que “es la propiedad del concreto de deformarse sin agrietarse. Se define en función de la deformación unitaria máxima que puede asumir el concreto sin que ocurra fisuraciones” (p.143).

2.8. Concreto liviano

2.8.1. Definición

De acuerdo con el Reglamento Nacional de Edificaciones, el concreto liviano se define como el concreto con agregado liviano, y tiene una densidad de equilibrio que no excede 1850 kg/m³. Asimismo, los agregados livianos, pueden ser perlas de poliestireno, piedra pómez, viruta de madera y cualquier otro agregado liviano (MVCS, 2009).

2.8.2. Tipos de concreto liviano

La Portland Cement Association (PCA), clasifica en 3 tipos el concreto liviano.

2.8.2.1. *Concreto liviano estructural de baja densidad*

Es el concreto estructural de baja densidad, el cual varía de 1350 a 1850 kg/m³ y la resistencia que alcanza a los 28 días supera los 180 kg/cm² o 17 MPa. El principal beneficio de este concreto es para aligerar las cargas muertas, principalmente en edificios (Kosmatka, 2011).

2.8.2.2. *Concreto liviano aislante de baja resistencia*

Es un concreto ligero de baja resistencia, el cual su densidad no es más de los 800 kg/m³. En este tipo de concreto los agregados varían con respecto al concreto estructural, así como en algunos casos no se usan en la mezcla. La resistencia de este tipo de concreto varía de 0.7 a 7 MPa (Kosmatka, 2011).

2.8.2.3. *Concreto liviano aislante de moderada resistencia*

Es un concreto liviano, el cual su densidad está alrededor de los 800 y 1900 kg/m³. Al igual, que el concreto liviano de baja resistencia se puede reducir la cantidad de agregados y en algunos casos no se usan en la mezcla. La resistencia de este concreto varía desde los 7 a 17MPa (Kosmatka, 2011).

2.8.3. Propiedades del concreto liviano

2.8.3.1. *Densidad*

Las densidades del concreto liviano varían desde los 300 y 2000 kg/m³, de acuerdo con lo requerido para su uso. Este bajo peso específico se debe a que los agregados utilizados contienen porosidad. Asimismo, se dice que:

El bajo peso específico de sus partículas es debido a que poseen un sistema celular de poros, que a su vez es debido a las altas temperaturas que llegan a alcanzar en su proceso de formación, lo que provoca la aparición de gases por la reacción al calor de ciertos constituyentes de la materia prima. Esto provoca que la extensión de ese gas se quede atrapado en la masa viscosa y produzca los agregados ligeros, durables cuando su tamaño es pequeño, bien distribuido, sin interconexiones de los poros y se envuelven en una masa continua dentro de la denominada fase vítrea (Llorens, 2012, p.15).

2.8.3.2. *Fluencia*

La fluencia es un fenómeno positivo para los concretos livianos, ya que minimiza las tensiones internas producidas por factores externos como la temperatura y la retracción tardía. Asimismo, la fluencia varía entre 0,5 y 1,0 veces comparado con el concreto estructural (Llorens, 2012).

2.8.3.3. *Permeabilidad*

La permeabilidad de los concretos livianos depende del tamaño de los poros, del porcentaje de porosidad y la continuidad de los mismos (Llorens, 2012).

2.8.3.4. *Resistencia a compresión simple*

La resistencia del concreto liviano depende mucho del agregado ligero que se utiliza. Cabe mencionar que, un concreto liviano alcanza su resistencia al 80% a los 7 días (Llorens, 2012).

2.9. Concreto con agregados ligeros de aserrín y viruta

2.9.1. Definición

Es un concreto considerado liviano, ya que dentro de sus componentes tiene como agregados el aserrín y la viruta, siendo estos materiales ligeros. Por consiguiente, esta mezcla homogénea de cemento, agua y agregados ligeros se le denomina concreto liviano.

2.9.2. Aserrín

Es un material proveniente de las industrias madereras. Ante ello,

El aserrín es el conjunto de partículas o polvillo que se desprende de la madera cuando ésta es aserrada; también contiene minúsculas partículas de madera producidas durante el proceso y manejo de la misma, paneles contrachapados

y/o aglomerados. Además del polvo, en el proceso de aserrado se genera la viruta, que es un fragmento de material residual con forma de lámina curvada o espiral (Serret, Giralt & Quintero, 2016, p.470).

2.9.2.1. *Características del Aserrín*

- El aserrín son residuos generados en las madereras las cuales presentan algunas características especiales (Serret et al., 2016, p.470).
- El tamaño varía de 1-10 mm
- El contenido de humedad está entre 25-40 (%)
- El contenido de cenizas está entre 0.5 – 2.0 (%)
- Material con alta porosidad

2.9.3. Viruta

La viruta es una fibra de madera ondulada, la cual proviene de los desperdicios generados en las madereras. Se obtiene, a partir del cepillado de las maderas al querer que estas tengan la finura solicitada. Son de distintos espesores de láminas y tamaños, dependiendo el origen.

3. CAPITULO II: MATERIAL Y MÉTODOS

3.1. Material

3.1.1. Población

Por medio de barreras se desea reducir la contaminación acústica generada por el ruido del transporte vehicular ubicado entre los kilómetros 31 y 35 de la carretera Panamericana Norte, en el distrito de Puente Piedra.

Para este proyecto de investigación se tiene como población toda la extensión de la carretera Panamericana Norte.

3.1.2. Muestra

Para este proyecto de investigación se tiene como muestra el tramo comprendido entre los kilómetros 31 y 35 de la carretera Panamericana Norte, ubicado en el distrito de Puente Piedra.

3.2. Método

3.2.1. Nivel de Investigación

El grado de profundidad de esta investigación es del tipo exploratoria, porque este sistema de barreras existe en otros países y es necesario el uso de estos para mejorar la calidad de vida.

3.2.2. Diseño de Investigación

La estrategia de diseño para esta investigación es del tipo experimental, porque se realizaron especímenes de concreto con agregados de aserrín y viruta (variable

independiente), los cuales fueron sometidas a pruebas de ensayos acústicos y se obtuvieron los resultados descritos en la presente tesis (variable dependiente).

3.2.3. Variables de estudio y operacionalización

Para este proyecto de investigación se desarrollan las variables descritas a continuación, véase la tabla 2:

- Variable 1: Contaminación acústica en la zona en estudio.
- Variable 2: Barreras acústicas.

Tabla 2

Tabla de variables

Variable	Dimensión	Indicador	Unidad de medida	Instrumento de Investigación
Contaminación acústica en la zona en estudio	contaminación acústica	Grado de contaminación acústica	Decibelios (Db)	Sonómetro
Barrera acústica	Absorción acústica	Coefficiente de absorción acústica	Porcentaje	Tubo de Impedancia

Nota: Elaboración propia

3.2.4. Técnicas e Instrumentos de recolección de datos

Con la finalidad de obtener resultados adecuados en la recolección de los datos de la zona en estudio para este proyecto de investigación se emplea la técnica de observación. Para ello, se adquirió un instrumento denominado sonómetro que mide el ruido en decibelios (Db), con el cual se toman, en notas de campo, las medidas acústicas en 5 puntos de la muestra (tramo comprendido entre los kilómetros 31 y 35 de la carretera Panamericana Norte).

3.2.5. Técnicas de Procesamiento y Análisis de datos

Para este proyecto de investigación se desarrollan las siguientes técnicas de procesamiento y análisis de datos:

- Los datos obtenidos en campo son analizados mediante porcentajes, para lo cual se utiliza cuadros estadísticos de comparación de resultados.
- Se utiliza el programa Microsoft Excel para realizar los cuadros estadísticos y el análisis de porcentajes.

4. RESULTADOS

4.1. Estudio y análisis del ruido existente en la Carretera Panamericana Norte, entre el km 31 y km 35, producto del transporte vehicular

El presente capítulo consiste en la elaboración del estudio de ruido que presenta actualmente la contaminación acústica la carretera panamericana Norte, entre el KM 31 y KM35.

4.1.1. Metodología del monitoreo de ruido acústico en zona

El método se basa en la documentación técnica del Protocolo Nacional de Monitoreo de Ruido Ambiental, en la cual se describe los pasos a seguir para una correcta medición del ruido.

Por otro lado, la finalidad de este procedimiento es obtener la magnitud del ruido ejercido por el tránsito vehicular, el cual una vez obtenido se procede a realizar los comparativos correspondientes, en este caso con los estándares de calidad ambiental para ruido según el Decreto supremo N°085-2003-PCM (MINAM, 2014).

4.1.1.1. Instrumentación

A continuación, se presentan los instrumentos a usar:

4.1.1.1.1. Sonómetro

El sonómetro utilizado del tipo BSWA 308 de clase 1 y cumple con los requisitos estipulados en el protocolo nacional de monitoreo de ruido ambiental, véase la figura 22. El cuál es el IEC 17020:2012.

Figura 22. Sonómetro BSWA 308 clase 1 utilizado en el monitoreo de ruido ambiental. Elaboración propia

Con respecto a la calibración del sonómetro, esta se encuentra vigente de acuerdo con los estándares de INACAL (Ver Anexo 1).

4.1.1.1.2. Accesorios

Los accesorios utilizados para esta ocasión son:

- Pantalla anti viento
- Calibrador de sonido
- Trípode
- GPS
- Cámara fotográfica
- Pilas de reserva
- Linterna
- Cuaderno de notas

Cabe resaltar que no es necesario el uso del medidor portátil de velocidad de viento y el medidor portátil de temperatura y humedad, puesto que el equipo cuenta con factores que permiten despreciar estos datos.

4.1.1.2. Procedimiento del monitoreo

El procedimiento de medición se realizó según el protocolo nacional de monitoreo de ruido ambiental, elaborado por el Ministerio del Ambiente en el año 2014. Líneas abajo se describe y analiza los puntos a intervenir.

4.1.1.2.1. Parámetros de medición

- Altura de medición:

La altura de medición para el sonómetro utilizado es de 1.50m de la calzada de las vías, esta es la mínima solicitada por el protocolo nacional de monitoreo de ruido ambiental, con ayuda de un trípode.

- Distancia de medición:

Las distancias de medición desde la fuente de incidencia (calzada de las vías) hasta el sonómetro utilizado fue en el rango de 0.50m y 2.00m, según lo expuesto en el protocolo nacional de monitoreo de ruido ambiental.

4.1.1.2.2. Descripción de la zona

Previo a la ejecución de las mediciones en campo, se realizó una visita a la zona para identificar los puntos a intervenir y el tipo de zona de aplicación. Para lo cual, se utilizó el plano de zonificación de Lima Metropolitana Puente Piedra Área de tratamiento normativo 1, realizado por el instituto Metropolitano de Planificación de la Municipalidad Metropolitana de Lima, véase la figura 23 (Ver Anexo 2). A continuación, se presenta los puntos intervenidos.

Figura 23. Mapa de distribución de puntos de medición para el monitoreo de ruido ambiental. Adaptado de plano de zonificación de Lima Metropolitana Puente Piedra.

- Punto 1:

El punto 1 se encuentra en la carretera Panamericana Norte, tramo de sur a norte, a 50 metros del grifo El Norteño. Con coordenadas UTM WGS84 (norte: 8688473, sur: 272899). Según el plano de zonificación de Lima Metropolitana Puente Piedra, el área intervenida es una zona comercial. Sin embargo, en el Anexo 3 se evidencia que también es una zona donde existen viviendas, por lo que, se calificó como una zona mixta Residencial-Comercial según el Decreto Supremo N°085-2003-PCM, Reglamento de estándares nacionales de calidad ambiental para ruido. Véase la figura 24.

Figura 24. Ubicación de equipo en el punto 1, para el monitoreo de ruido ambiental. Elaboración propia.

- Punto 2:

El punto 2 se encuentra en la carretera Panamericana Norte, tramo de sur a norte, a 100 metros del mercado Tres Regiones. Con coordenadas UTM WGS84 (norte: 8689569, sur: 271531). Según el plano de zonificación de Lima Metropolitana Puente Piedra, el área intervenida es una zona comercial. Sin embargo, en los Anexos y reportes fotográficos se identifica que en la zona se

encuentran viviendas no comerciales, siendo así para la presente tesis se calificó como una zona mixta Residencial-Comercial según el Decreto Supremo N°085-2003-PCM, Reglamento de estándares nacionales de calidad ambiental para ruido. Véase la figura 25.

Figura 25. Ubicación de equipo en el punto 2, para el monitoreo de ruido ambiental. Elaboración propia.

- Punto 3:

El punto 3 se encuentra en la carretera Panamericana Norte, tramo de norte a sur, a 200 metros del cruce de la carretera Panamericana Norte y Av. Néstor Gambeta. Con coordenadas UTM WGS84 (norte: 8690317, sur: 270543). Según el plano de zonificación de Lima Metropolitana Puente Piedra, el área intervenida es una zona comercial. Sin embargo, en el Anexo 5 se evidencia que también es una zona donde existen viviendas, por lo que, se calificó como una zona mixta Residencial-Comercial según el Decreto Supremo N°085-2003-PCM, Reglamento de estándares nacionales de calidad ambiental para ruido. Véase la figura 26.

Figura 26. Ubicación de equipo en el punto 3, para el monitoreo de ruido ambiental. Elaboración propia.

- Punto 4:

El punto 4 se encuentra en la carretera Panamericana Norte KM 33, tramo de norte a sur. Con coordenadas UTM WGS84 (norte: 8689100, sur: 272066). Según el plano de zonificación de Lima Metropolitana Puente Piedra, el área intervenida es una zona comercial. Sin embargo, en el Anexo 6 se evidencia que también es una zona donde existen viviendas, por lo que, se calificó como una zona mixta Residencial-Comercial según el Decreto Supremo N°085-2003-PCM, Reglamento de estándares nacionales de calidad ambiental para ruido. Véase la figura 27.

Figura 27. Ubicación de equipo en el punto 4, para el monitoreo de ruido ambiental. Elaboración propia.

- Punto 5:

El punto 5 se encuentra en la carretera Panamericana Norte, tramo de norte a sur, a 200 metros de la bajada del by pass Puente Piedra. Con coordenadas UTM WGS84 (norte: 8687935, sur: 273518). Según el plano de zonificación de Lima Metropolitana Puente Piedra, el área intervenida es una zona comercial. Sin embargo, en el Anexo 7 se evidencia que también es una zona donde existen viviendas, por lo que, se calificó como una zona mixta Residencial-Comercial según el Decreto Supremo N°085-2003-PCM, Reglamento de estándares nacionales de calidad ambiental para ruido. Véase la figura 28.

Figura 28. Ubicación de equipo en el punto 5, para el monitoreo de ruido ambiental. Elaboración propia.

4.1.1.3. Resultados del monitoreo de ruido ambiental

Luego de la visita previa a la zona e identificación de los puntos adecuados para las mediciones de sonido, se ejecutó el monitoreo mediante la colocación del sonómetro BSWA 308 de clase 1 sobre un trípode en cada punto elegido en horarios diurno (de 7.01 horas a 22.00 horas) y nocturno (de 22.01 horas a 7.00 horas). El aparato fue activado por 10 minutos en cada uno de los puntos elegidos y este registró el sonido en todo ese

periodo. Finalmente, los datos registrados por el sonómetro como el índice de ruido equivalente (LAeq), el índice de ruido máximo (LAFmax) y el índice de ruido mínimo (LAFmin).

A continuación, se presentan los resultados obtenidos en el monitoreo ambiental de ruido por cada punto elegido en horario diurno (véase la tabla 3) y horario nocturno (véase la tabla 4).

Tabla 3

Índice acústico en el horario diurno

INDICE ACÚSTICO - HORARIO DIURNO					
PUNTO	HORA		RESULTADOS (dB)		
	INICIO	FIN	LAeqT	LAFmax	LAFmin
P1	07:01	07:11	80	100.8	62.6
P2	07:30	07:40	76.7	89.8	63.3
P3	08:01	08:11	76.3	87.3	61.5
P4	08:20	08:26	74.5	90.1	57.7
P5	08:50	09:00	74.9	99.5	60
PROMEDIO			76.48		

Nota: Elaboración propia.

Tabla 4

Índice acústico en horario nocturno

INDICE ACÚSTICO - HORARIO NOCTURNO					
PUNTO	HORA		RESULTADOS (dB)		
	INICIO	FIN	LAequiv	LAFmax	LAFmin
P1	22:37	22:47	76.6	88.3	60.1
P2	23:03	23:13	75.5	90.9	58.8
P3	23:13	23:23	73.1	91.2	52.5
P4	23:30	23:40	76	91.2	57
P5	23:46	23:56	72.6	90.1	56.4
PROMEDIO			74.76		

Nota: Elaboración propia.

4.1.1.4. *Estándares Nacionales de calidad ambiental para ruido*

Mediante el decreto supremo N°085-2003-PCM, queda legislado el Reglamento de Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Ruido, donde se establece los niveles de ruido que deben alcanzar las distintas zonificaciones con la finalidad de proteger la salud, mejorar la calidad de vida y promover el desarrollo sostenible (MINAM, 2003).

Asimismo, se indica que la unidad de medida es el Nivel de Presión Sonora Continuo Equivalente con ponderación A (L_{AeqT}). Por otro lado, los horarios establecidos para la medición del sonido y determinación del nivel de ruido son Horario diurno que aplica de 7.01 horas a 22.00 horas y el horario nocturno que aplica de 22.01 horas a 7.00 horas. En cuanto a las zonas de aplicación, son del tipo Residencial, Comercial, Industrial, Mixta y de Protección especial (MINAM, 2003).

En la presente tesis, resulta relevante explicar sobre la zona mixta. Al respecto el MINAM (2003) señala lo siguiente:

En los lugares donde existan zonas mixtas, el ECA se aplica de la siguiente manera: Donde exista zona mixta Residencial - Comercial, se aplica el ECA de zona residencial; donde exista zona mixta Comercial - Industrial, se aplica el ECA de zona comercial; donde exista zona mixta Industrial - Residencial, se aplica el ECA de zona Residencial; y donde exista zona mixta que involucre zona Residencial - Comercial - Industrial se aplica el ECA de zona Residencial. Para lo que se tendrá en consideración la normativa sobre zonificación (p.4).

A continuación, se presenta una descripción gráfica de los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Ruido establecidos en dicho Decreto. Véase la tabla 5.

Tabla 5

Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Ruido

ESTANDARES NACIONALES DE CALIDAD DE RUIDO AMBIENTAL		
ZONA DE AMPLIACIÓN	VALORES EXPRESADOS EN LAeqT	
	HORARIO DIURNO (dB)	HORARIO NOCTURNO (dB)
ZONA DE PROTECCIÓN ESPECIAL	50	40
ZONA RESIDENCIAL	60	50
ZONA COMERCIAL	70	60
ZONA INDUSTRIAL	80	70

Nota. Adaptado de Decreto Supremo N°085-2003-PCM, por (MINAM, 2003).

4.1.1.5. *Análisis de los resultados*

De los resultados obtenidos en campo, se puede observar que los índices acústicos detectados sobrepasan los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Ruido en ambos horarios. En el horario diurno se detectó que la contaminación acústica producida por el tránsito vehicular en la zona de estudio supera hasta en un 25% a los estándares establecidos por el Ministerio del Ambiente. Así mismo, en el horario nocturno se detectó que la contaminación acústica producida por el tránsito vehicular en la zona en estudio supera hasta en un 35% los estándares establecidos por el Ministerio del Ambiente.

Es por esta razón que la población que vive en las edificaciones aledañas a la carretera Panamericana Norte (entre el KM 31 y KM 35), pueden experimentar molestias en la audición (Organismo de Evaluación de Fiscalización Ambiental, 2016). Además, presentar aumento de adrenalina y noradrenalina. También, aumentos de hormonas producidas o estimuladas por la hipófisis como son la ACTH y el cortisol, que suelen elevarse como respuesta a situaciones de estrés (Jiménez, 2011). Véase la tabla 6.

Tabla 6

Análisis comparativo del nivel de ruido real vs ECA

ANÁLISIS COMPARATIVO DEL RUIDO						
PUNTO	ECA (dB)		Laequív (dB)		EXCESO DE RUIDO (dB)	
	DIURNO	NOCTURNO	DIURNO	NOCTURNO	DIURNO	NOCTURNO
P1	60	50	80	76.6	20	26.6
P2			76.7	75.5	16.7	25.5
P3			76.3	73.1	16.3	23.1
P4			74.5	76	14.5	26
P5			74.9	72.6	14.9	22.6

Nota: Elaboración propia.

4.2. Cálculo y diseño de barreras acústicas de concretos mixtos

4.2.1. Generalidades

En el presente capítulo, se desarrolla el diseño del panel acústico y todos sus componentes.

En primer lugar, se diseña los concretos componentes del panel acústico, concreto estructural y concreto liviano. El concreto estructural, se diseña con una resistencia de 210 kg/cm², para lo cual, se utiliza los agregados y materiales que cumplan estándares de calidad, y realizan los ensayos respectivos, todo ello basado en la Norma Técnica Peruana (NTP) y el ASTM correspondiente a cada prueba solicitada. El concreto con agregados ligeros de aserrín y viruta, se diseña teniendo como base la relación agua cemento del concreto estructural, las cuales se determinan de los resultados de la experimentación realizada en el laboratorio. Los agregados y materiales, deben cumplir los estándares de calidad correspondiente, asimismo los ensayos y preparación de mezclas se basan a las normas ASTM y ACI correspondientes.

Por último, se procede a diseñar las barreras acústicas, las dimensiones requeridas, el cual tienen como base el requerimiento de absorción y aislamiento para la reducción del

ruido. Esto comprende, las dimensiones del panel, altura, espesor y ancho, asimismo el planteamiento de instalación de este.

4.2.2. Diseño del concreto estructural

El método a realizar para el diseño del concreto estructural es el Método del ACI.

4.2.2.1. *Ensayo de Agregados*

Los agregados son la base importante de la preparación del concreto, por lo que, se requiere que estos cumplan con estándares de calidad y los ensayos mínimos correspondientes para garantizar la calidad y resistencia del concreto requerido.

Los ensayos realizados fueron ensayados en la Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas (UPC).

4.2.2.1.1. *Análisis Granulométrico del Agregado Grueso y Agregado Fino*

Este ensayo fue cumpliendo las normas técnicas ASTM C136 y NTP 400.012, normas vigentes. A través de este ensayo se obtuvieron: módulo de fineza y tamaño máximo nominal. Los resultados obtenidos, se muestran en las siguientes tablas y aplicación de fórmulas:

- **Agregado Grueso**

Es el menor tamiz por el que pasa todo el agregado, Véase la tabla 7 y figura 29.

(Pasquel, 1999). (Reporte fotográfico ver anexo 15)

Tabla 7

Análisis granulométrico de Agregado Grueso

TAMIZES EN MILÍMETROS	TAMIZES ASTM	PESO RETENIDO (gr)	%		
			RETENIDO PARCIAL	RETENIDO ACUMULADO	QUE PASA
76.200	3"	0	0%	0%	100%
63.500	2 1/2"	0	0%	0%	100%
50.800	2"	0	0%	0%	100%
38.100	1 1/2"	0	0%	0%	100%
25.400	1"	0	0%	0%	100%
19.050	3/4"	0.00	0%	0%	100%
12.700	1/2"	868.80	38%	38%	62%
9.525	3/8"	729.40	32%	70%	30%
PASA 3/8"	PASA 3/8"	674.00	30%	100%	0%
		2272.20			

Nota: Elaboración propia.

Figura 29. Curva granulométrica del agregado grueso. Elaboración propia.

- Agregado Fino

Para hallar el módulo de fineza se necesita los porcentajes acumulados de la serie Standard hasta el Tamiz N°100, sumando estas cantidades se divide entre 100, véase la tabla 8 y figura 30 (Pasquel, 1999). (Reporte fotográfico ver anexos)

Tabla 8

Análisis granulométrico de agregado fino

TAMIZES EN MILÍMETROS	TAMIZES ASTM	PESO RETENIDO (gr)	%		
			RETENIDO PARCIAL	RETENIDO ACUMULADO	QUE PASA
4.750	Nro, 4	36.10	5%	5%	95%
2.360	Nro, 8	134.10	19%	24%	76%
2.000	Nro, 16	148.20	21%	44%	56%
0.600	Nro, 30	130.50	18%	62%	38%
0.300	Nro, 50	95.50	13%	76%	24%
0.150	Nro, 100	83.50	12%	87%	13%
PASA Nro. 100	P Nro. 100	91.53	13%	100%	0%
		719.43			

Nota: Elaboración propia.

Figura 30. Curva granulométrica del agregado fino. Elaboración propia.

4.2.2.1.2. Determinación del peso específico y porcentaje de absorción

Para el ensayo de Peso específico se utilizó las Normas ASTM C127 y C128. Y, para el porcentaje de absorción las normas ASTM C127 y C128. Véase la tabla 9 y 10. (Reporte fotográfico ver anexo 15)

- Agregado Grueso

Tabla 9

Datos de la muestra de agregado grueso

PESOS DEL AGREGADO GRUESO	UNIDAD	Peso seco al aire (A)	Peso saturado al aire (B)	Peso saturado sumergido (C')
Pesos de A.G.	gr	2,254.80	2,282.90	1,429.30

Nota: Elaboración propia.

Tabla 10

Resultados del análisis del peso específico y porcentaje de absorción del agregado grueso

TABLA DE RESULTADOS PARA EL AGREGADO GRUESO	UND	VALOR
Peso específico = $A/(B-C)$	gr/cm ³	2.64
Peso específico de masa superficialmente seco = $B/(B-C)$	gr/cm ³	2.67
Peso específico aparente = $A/(A-C)$	gr/cm ³	2.73
Porcentaje de absorción = $100((B-A)/A)$	%	1.25

Nota: Elaboración propia.

- Agregado Fino, Véase la tabla 11 y 12.

Tabla 11

Datos de la muestra de agregado fino

PESOS DEL AGREGADO FINO	UNIDAD	Peso seco al aire (A)	Peso saturado al aire (B)	Peso saturado sumergido (C')
Pesos de A.F.	Gr	490.20	500.00	311.50

Nota: Elaboración propia.

Tabla 12

Resultados del análisis específico y porcentaje de absorción del agregado fino

TABLA DE RESULTADOS PARA EL AGREGADO GRUESO	UND	VALOR
Peso específico = $A/(B-C)$	gr/cm ³	2.60
Peso específico de masa superficialmente seco = $B/(B-C)$	gr/cm ³	2.65
Peso específico aparente = $A/(A-C)$	gr/cm ³	2.74
Porcentaje de absorción = $100((B-A)/A)$	%	2.00

Nota: Elaboración propia.

4.2.2.1.3. Determinación del peso unitario

El presente ensayo se realiza en base a la Norma ASTM C29. (Reporte fotográfico ver anexo 15).

- Agregado Grueso, véase la tabla 13 y 14.

Tabla 13

Resultados del análisis del peso unitario suelto del agregado grueso

DATOS AGREGADO GRUESO (Peso unitario suelto)	UND	VALOR
Peso de la muestra con el recipiente	Kg	25.35
Peso del recipiente	Kg	5.78
Peso de la muestra	Kg	19.57
Volumen del recipiente	m ³	0.0139758
Peso unitario suelto	kg/m³	1,400.28

Nota: Elaboración propia.

Tabla 14

Resultados del análisis del peso unitario compactado del agregado grueso

DATOS AGREGADO GRUESO (Peso unitario compactado)	UND	VALOR
Peso de la muestra con el recipiente	kg	26.78
Peso del recipiente	kg	5.78
Peso de la muestra	kg	21.01
Volumen del recipiente	m3	0.0139758
Pesos unitarios compactado	kg/m3	1,502.96

Nota: Elaboración propia.

- Agregado Fino, véase la tabla 15 y 16.

Tabla 15

Resultados del análisis del peso unitario suelto del agregado grueso

DATOS DEL AGREGADO FINO (Peso unitario suelto)	UND	VALOR
Peso de la muestra con el recipiente	Kg	6.08
Peso del recipiente	Kg	1.61
Peso de la muestra	Kg	4.47
Volumen del recipiente	m3	0.002704
Peso unitario suelto	kg/m3	1,652.48

Nota: Elaboración propia.

Tabla 16

Resultados del análisis del peso unitario compactado del agregado grueso

DATOS AGREGADO FINO (Peso unitario compactado)	UND	VALOR
Peso de la muestra con el recipiente	Kg	6.53
Peso del recipiente	kg	1.61
Peso de la muestra	kg	4.92
Volumen del recipiente	m3	0.002704
Peso unitario compactado	kg/m3	1,821.47

Nota: Elaboración propia.

4.2.2.1.4. Ensayo de Contenido de Humedad de Agregados

El cálculo de la humedad se realizó en base a la norma ASTM C566. (Reporte fotográfico ver anexo 15).

- Agregado Grueso, véase la tabla 17.

Tabla 17

Resultados del análisis de contenido de humedad del agregado grueso

DATOS AGREGADO GRUESO (contenido de humedad)	UND	VALOR
Peso de la muestra húmeda	gr	840.60
Peso de la muestra seca	gr	837.40
Peso de agua perdida	gr	3.20
Contenido de humedad	%	0.38

Nota: Elaboración propia.

- Agregado Fino, véase la tabla 18.

Tabla 18

Resultados del análisis de contenido de humedad del agregado fino

DATOS AGREGADO FINO (contenido de humedad)	UND	VALOR
Peso de la muestra húmeda	Gr	657.20
Peso de la muestra seca	Gr	647.50
Peso de agua perdida	Gr	9.70
Contenido de humedad	%	1.50

Nota: Elaboración propia.

4.2.2.2. Diseño de mezcla

El diseño permite cuantificar las cantidades en proporciones de los agregados y materiales que requiere un concreto con ciertas características. Para la presente tesis el método empleado es el Método del ACI.

4.2.2.2.1. Método del ACI, para un concreto de $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$ y asentamiento de 4".

El presente método está basado en las características físicas y granulométricas de los agregados, así como también la resistencia a la compresión y la trabajabilidad del concreto. Para lo cual, véase la tabla 19. Los datos solicitados son:

Tabla 19

Tabla de datos de los materiales a usar en el diseño de mezcla

<u>DATOS:</u>		
Selección de la resistencia de diseño F'_{cr}		210 kg/cm²
Peso específico del cemento		3110 kg/m³
Ingresar Slump		3" a 4"
Tamaño máximo del agregado		1/2"
Peso específico del agua		1000 kg/m³
Características Físicas de la Arena		
Peso Específico		2601 kg/m³
Módulo de Fineza		2.98
Porcentaje de Absorción		2.00%
Contenido de Humedad		1.50%
Características Físicas de la Piedra		
Peso Específico SSS		2642 kg/m³
Peso Volumétrico Compactado Seco		1503 kg/m³
Porcentaje de Absorción		1.25%
Contenido de Humedad		0.38%

Nota: Elaboración propia.

Teniendo los datos se procede a realizar la proporción de los agregados y materiales, por cada un (1) m³ de concreto.

El peso del agua se extrae de la tabla N°20, por lo que el agua tendría 216 kg y expresado en volumen es de 0.216 m³. Asimismo, esta tabla permite obtener el volumen de aire atrapado el cual tiene un valor de 0.025 m³. Véase la tabla 20.

Tabla 20

Cantidades aproximadas de agua en el concreto

Slump	Tamaño máximo de agregado							
	3/8"	1/2"	3/4"	1"	1 1/2"	2"	3"	4"
Concreto sin aire incorporado								
1" a 2"	207	199	190	179	166	154	130	113
3" a 4"	228	216	205	193	181	169	145	124
6" a 7"	243	228	216	202	190	178	160	-
% aire atrapado	3.0	2.5	2.0	1.5	1.0	0.5	0.3	0.2

Nota: Adaptado de ACI 211.1-91, por (ACI Committee).

Para el cálculo del volumen de cemento, de la tabla N°21 se extrae la relación agua cemento (A/C), y se procede a calcular el peso del cemento. Para la presente tesis, se tiene el $f'c=210$ kg/cm², y dado que no se cuenta una relación en la tabla con este valor, se procedió a interpolar los valores adyacentes y así obtener la relación A/C, de la siguiente manera:

$$\frac{A/C_{210} - A/C_{200}}{f'c_{210} - f'c_{200}} = \frac{A/C_{250} - A/C_{200}}{f'c_{250} - f'c_{200}} \quad (9)$$

$$\frac{A/C_{210} - 0.69}{210 - 200} = \frac{0.61 - 0.69}{250 - 200}$$

$$A/C_{210} = 0.674$$

De lo cual se obtiene que el peso del cemento sería de 320.475 kg, y expresado ese peso en volumen absoluto se obtiene el valor en m³. Véase la tabla 21.

Tabla 21

Relación agua/cemento vs f'_c

f'_c a 28 días (kg/cm²)	Relación Agua/Cemento en peso	
	Sin aire incorporado	con aire incorporado
450	0.38	-
400	0.42	-
350	0.47	0.39
300	0.54	0.45
250	0.61	0.52
200	0.69	0.60
150	0.79	0.70

Nota: Adaptado de ACI 211.1-91, por (ACI Committee).

Para obtener el volumen de agregado grueso, el cual se obtiene teniendo como base al módulo de fineza del agregado fino, siendo el volumen de agregado grueso 0.367 m³ compactado; luego, el volumen absoluto se obtendrá de multiplicar por el peso unitario y dividirlo por el peso específico.

Teniendo estos resultados, se procede a obtener el volumen de agregado liviano. Dado que, todos los volúmenes obtenidos fueron calculados para un m³ de concreto, este se resta a la suma de todos los volúmenes obtenidos anteriormente, la diferencia da como resultado el volumen de agregado fino, siendo este valor 0.289 m³.

Se procede a calcular los pesos de los volúmenes obtenidos y a describir los pesos obtenidos de cada material y agregado. Véase la tabla 22 y 23.

Tabla 22

Diseño de mezcla sin corrección por humedad ni absorción

Elemento	Volumen Absoluto	Peso Especifico	Peso	Proporcion (en peso)
Cemento	0.103 m ³	3110 kg/m ³	320.33 kg	1.00
Arena (seca)	0.353 m ³	2600.5 kg/m ³	917.99 kg	2.87
Piedra (seca)	0.303 m ³	2641.5 kg/m ³	800.38 kg	2.50
Agua	0.216 m ³	1000 kg/m ³	216.00 kg	28.66 Lt/saco

Aire	0.025 m ³			
	1.000 m³		2254.70 kg	

Nota: Elaboración propia.

Tabla 23

Diseño de mezcla corregidos por humedad y absorción

Elemento	Peso Absoluto	Corrección	Peso Corregido	Proporcion (en peso)
Cemento	320.33 kg		320.33 kg	1.00
Arena	917.99 kg	1.01 kg	931.74 kg	2.91
Piedra	800.38 kg	1.00 kg	803.44 kg	2.51
Agua	216.00 kg	11.52 kg	227.52 kg	30.19 Lt/saco
Aire				
	2254.70 kg		2283.03 kg	

Nota: Elaboración propia

4.2.2.3. Preparación de muestras

Luego del procedimiento de los ensayos de agregados y el diseño de mezcla, se realiza lo siguiente:

4.2.2.3.1. Preparación final de testigos con molde de 4"x8"

Este procedimiento sirvió para corroborar que el f'_c de diseño cumple con el diseño de mezcla elaborado. El ensayo de compresión se realizó a los 14 días, obteniendo como resultado un f'_c de 192.5 kg/m³, por consiguiente, este resultado se encuentra dentro del rango de compresión solicitado en la norma del ACI. Ver informe en el anexo 15. Véase la tabla 24 y 25.

El volumen preparado es de:

Tabla 24

Volúmenes de concreto utilizados en la primera muestra

VOLUMEN REQUERIDO						
Tipo	Sección (m2)	Altura (m)	Volumen (m3)	Cantidad	Volumen total (m3)	Volumen preparado (m3)
Probeta de 4"x8"	0.0081	0.2032	0.0016	8	0.0128	
TOTALES					0.0128	0.0130

Nota: Elaboración propia.

Tabla 25

Pesos de materiales utilizados en la primera muestra

PESOS DE MATERIALES PARA MEZCLA		
MATERIAL	Peso (kg/m3)	Peso solicitado (kg)
Cemento	320.33	4.16
Arena	931.74	12.11
Piedra	803.44	10.44
Agua	227.52	2.96
Aire		0

Nota: Elaboración propia.

4.2.2.3.2. Preparación final de testigos con molde de 6"x12"

Se preparó 9 testigos de concreto $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$, con el diseño señalado en el ítem 4.2.2. Los moldes son con medidas estándar de acuerdo con la norma ACI de 6" de diámetro y 12" de altura. Véase la tabla 26 Y 27. Ver informe en anexo 16.

Tabla 26

Volúmenes de concreto utilizados en la primera muestra

VOLUMEN REQUERIDO						
Tipo	Sección (m2)	Altura (m)	Volumen (m3)	Cantidad	Volumen total (m3)	Volumen preparado (m3)
Probeta de 6"x12"	0.0182	0.3048	0.0056	3	0.0167	
TOTALES					0.0167	0.017

Nota: Elaboración propia.

Tabla 27

Pesos de materiales utilizados en la primera muestra

PESOS DE MATERIALES PARA MEZCLA		
MATERIAL	Peso (kg/m ³)	Peso solicitado (kg)
Cemento	320.33	5.45
Arena	931.74	15.84
Piedra	803.44	13.66
Agua	227.52	3.87
Aire		0

Nota: Elaboración propia.

4.2.2.4. Ensayo de concreto fresco

4.2.2.4.1. Asentamiento

Este ensayo se realizó para determinar la fluidez de la mezcla, para lo cual se utilizó el cono de Abrams bajo la norma ASTM C143, en la cual se comprueba lo especificado en el diseño de mezcla, siendo el rango +/- 1.5 plg. Para lo cual, el resultado final fue de 3", ver informe en el anexo 15.

4.2.2.5. Ensayos de concreto endurecido

4.2.2.5.1. Resistencia a la compresión

El presente ensayo tiene la finalidad de determinar la resistencia del concreto, el cual determina la capacidad de soportar cargas y esfuerzos. En la cual se ensayó 8 probetas de 4"x8" y se analizaron a los 7, 14 y 28 días, estas probetas se realizaron bajo las normas ASTM C192 y NTP 339.033, ver informe en el anexo 15. Asimismo, el ensayo realizado se hizo bajo la norma NTP 339.034, obteniéndose los siguientes resultados. Véase la tabla

28

Tabla 28

Medida de las probetas

ÁREA DE PROBETA		
	D1	D2
Pulgadas	4	6

Centímetros	10.16	15.24
Área (cm2)	81.07	182.42

Nota: Elaboración propia.

- Ensayo de compresión a los 7 días:

Para este ensayo se utilizó 3 probetas, de los cuales los resultados obtenidos fueron los siguientes, véase la tabla 29:

Tabla 29

Ensayos de compresión a los 7 días

ENSAYO DE COMPRESIÓN A LOS 7 DÍAS			
N° PRUEBA	ESFUERZO MAX (Kg)	ESFUERZO MAX. (Kg/cm2)	%
P1D7	14560	179.60	86%
P2D7	12375	152.65	73%
P3D7	15620	192.67	92%
PROMEDIO		174.97	84%

Nota: Elaboración propia.

Se pudo comprobar que la resistencia del concreto a los 7 días de vaciado llega a un valor promedio de 174.97 kg/cm2, así mismo cumple con el 84% de la resistencia solicitada de 210 kg/cm2.

- Ensayo de compresión a los 14 días:

Para este ensayo se utilizó 3 probetas, de los cuales los resultados obtenidos fueron los siguientes, véase la tabla 30:

Tabla 30

Ensayos de compresión a los 14 días

ENSAYO DE COMPRESIÓN A LOS 14 DÍAS			
N° PRUEBA	ESFUERZO MAX (Kg)	ESFUERZO MAX. (Kg/cm2)	%
P1D14	18145	223.82	106%
P2D14	17545	216.42	103%
P3D14	16470	203.16	97%
PROMEDIO		214.47	102%

Nota: Elaboración propia.

Se pudo comprobar que la resistencia del concreto a los 14 días de vaciado llega a un valor promedio de 214.47 kg/cm², así mismo cumple con el 102% de la resistencia solicitada de 210 kg/cm².

- Ensayo de compresión a los 28 días:

Para este ensayo se utilizaron 2 probetas, de los cuales los resultados obtenidos fueron los siguientes, véase la tabla 31:

Tabla 31

Ensayos de compresión a los 28 días

ENSAYO DE COMPRESIÓN A LOS 28 DÍAS			
N° PRUEBA	ESFUERZO MAX (Kg)	ESFUERZO MAX. (Kg/cm ²)	%
P1D28	19130	235.97	112%
P2D28	18425	227.27	108%
PROMEDIO		231.62	110%

Nota: Elaboración propia.

Se pudo comprobar que la resistencia del concreto a los 28 días de vaciado llega a un valor promedio de 231.62 kg/cm², así mismo cumple con el 110% de la resistencia solicitada de 210 kg/cm².

- Observación:

Los resultados obtenidos, tienen una variación al diseño por lo siguiente: debido al fraguado la altura de la probeta no alcanzó el standard para la medición. Por consiguiente, se colocó una platea de goma, para alcanzar la altura standard del equipo de la prensa, originando que la resistencia tenga una desviación.

4.2.3. Diseño de concreto con agregados de aserrín y viruta

Para la presente tesis, el concreto a utilizar tendrá como agregados principales al aserrín y la viruta, agregados ligeros de aserrín y viruta, los cuales provienen del desperdicio de aserraderos locales.

Las cantidades de los materiales se obtendrán de manera experimental realizados en el laboratorio de la UPC.

Cabe mencionar, que estos agregados son denominados ligeros, y para efectos de la presente tesis se requiere un material que sea absorbente de sonido, y esta característica de materiales absorbentes lo poseen los materiales porosos, siendo uno de ellos la viruta. Asimismo, este material al ser reciclado de aserraderos locales, estos no cuentan con un sistema de control medioambiental, y por ello es muchas veces desperdiciado y eliminado como desperdicio, mas no reciclado, es por ello que, la importancia de reciclar este material de estos aserradores y transformarlo a un material que tenga un uso aceptable y que mejore la calidad de vida de los habitantes.

Para lo cual, los ensayos y procedimientos realizados para tal motivo son los siguientes:

4.2.3.1. *Pesos específico de los agregados livianos compactado.*

Para poder determinar los pesos unitarios compactado del aserrín y la viruta, de forma experimental se procedió de la siguiente manera:

4.2.3.1.1. *Aserrín*

- Paso 1: Peso del recipiente con volumen conocido, se utiliza un recipiente de 4"x8"; por consiguiente, el volumen del recipiente es de 0.00163m³, asimismo el recipiente se lleva a la balanza para obtener el peso, siendo 0.1134 kg.
- Paso 2: Se procede a llenar el recipiente en 5 capas y compactar con una varilla de 3/8" en cada capa con 50 golpes.

- Paso 3: Se lleva el recipiente utilizado, con aserrín compactado dentro de ella, a la balanza y se obtiene un peso de 0.5367 kg.
- Paso 4: Una vez obtenido los pesos del material compactado sin considerar el peso del recipiente se procede a calcular el peso unitario compactado de la siguiente manera:

$$PUC = \frac{(PMC - PR)}{VR} \quad (10)$$

PUC: Peso unitario compactado

PR: Peso del recipiente

PMC: Peso de muestra con recipiente

VR: Volumen del recipiente

El resultado obtenido es de 260.011 kg/m³

4.2.3.1.2. Viruta

- Paso 1: Peso del recipiente con volumen conocido, se utiliza un recipiente de volumen 0.00136m³, asimismo el recipiente se lleva a la balanza para obtener el peso, siendo 0.1123 kg.
- Paso 2: Se procede a llenar el recipiente en 5 capas y compactar con una varilla de 3/8” en cada capa con 50 golpes.
- Paso 3: Se lleva el recipiente utilizado, con aserrín compactado dentro de ella, a la balanza y se obtiene un peso de 0.3845kg
- Paso 4: Una vez obtenido los pesos del material compactado sin considerar el peso del recipiente se procede a calcular el peso unitario compactado de la siguiente manera:

$$PUC = \frac{(PMC - PR)}{VR} \quad (10)$$

PUC: Peso unitario compactado

PR: Peso del recipiente

PMC: Peso de muestra con recipiente

VR: Volumen del recipiente

El resultado obtenido es de 199.616 kg/m³

4.2.3.2. *Diseño de mezcla*

Para continuar con la misma consistencia de la mezcla en el concreto ligero, se toma como base la relación de agua cemento para un concreto estructural de 210 kg/cm², a/c= 0.674.

En primer lugar, se toma las proporciones de los volúmenes de cemento y agua para 1 m³ de mezcla, de acuerdo con el diseño de mezcla del concreto estructural, véase la tabla 32:

Tabla 32

Volúmenes de concreto y pesos de materiales utilizados en la primera muestra

CÁLCULO DE VOLUMENES DE MATERIAL (a/c=0.674) al 40% y 60%	VOL (m³)
Cemento	0.103
Agua	0.216
Aire	0.02

Nota: Elaboración propia.

En segundo lugar, para el volumen faltante a 1 m³ de mezcla, se procede a considerar 40% y 60% en volumen de viruta y aserrín, respectivamente, y como resultado se obtiene, véase la tabla 33:

Tabla 33

Volúmenes de concreto y pesos de materiales utilizados en la primera muestra

CÁLCULO DE VOLUMENES DE MATERIAL (a/c=0.674) al 40% y 60%	VOL (m3)
Cemento	0.103
Agua	0.216
Viruta (40%)	0.264
Aserrín (60%)	0.397
Aire	0.020
TOTALES	1.000

Nota: Elaboración propia.

En tercer lugar, con los datos de pesos unitarios compactados de viruta y aserrín y los pesos específicos de agua y cemento se calcula los pesos de los materiales requeridos para 1m3 de mezcla, véase la tabla 34:

Tabla 34

Volúmenes de concreto y pesos de materiales requeridos

CÁLCULO DE VOLUMENES DE MATERIAL (a/c=0.674) al 40% y 60%	VOL (m3)	Pesos específicos	Pesos (kg/m3)
Cemento	0.103	3110.0000	320.3300
Agua	0.216	1000.0000	216.0000
Viruta (40%)	0.264	199.6163	52.7785
Aserrín (60%)	0.397	260.0111	103.1204
Aire	0.020		
TOTALES	1.000		692.2290

Nota: Elaboración propia.

En cuarto lugar, se realiza una mezcla de concreto para un volumen de 0.0227m3, sin embargo, se verifica visualmente las características de la mezcla y esta no cuenta con lo requerido en agua para una mezcla. Por consiguiente, se procede a verter y verificar el agua de mezcla visualmente hasta alcanzar una mezcla con características optimas de una mezcla, asimismo se adiciona cemento para no alterar la relación agua/cemento. Teniendo como resultados, véase la tabla 35:

Tabla 35

Volúmenes de concreto y pesos de materiales

CÁLCULO DE VOLUMENES DE MATERIAL (a/c=0.674)	VOL (m3)	Pesos específicos (kg/m3)	Pesos (kg)	Peso requerido (kg)	Peso requerido (gr)	Adición de agua y cemento	Pesos finales obtenidos (kg)	Volúmenes finales obtenidos (m3)
				0.0227	0.674304623			
Cemento	0.103	3110.0000	320.3300	7.2716	7271.65	2.22	9.4962	0.0031
Agua	0.216	1000.0000	216.0000	4.9033	4903.31	1.50	6.4033	0.0064
Viruta (40%)	0.264	199.6163	52.7785	1.1981	1198.10		1.1981	0.0060
Aserrín (60%)	0.397	260.0111	103.1204	2.3409	2340.88		2.3409	0.0090
Aire	0.020							
TOTALES	1.000		692.2290				19.4385	0.0245

Nota: Elaboración propia.

Finalmente, el peso específico que se obtiene de concreto es 794.65 kg/m³ y la proporción de materiales en pesos es:

Cemento: 1.00

Agua: 28.66 lt/bls

Viruta: 0.126

Aserrín: 0.247

4.2.3.3. Preparación de mezcla y secado

Una vez obtenido los pesos requeridos se vierten en una mezcladora, la cual convierte los materiales usados (cemento, agua, viruta y aserrín) en una mezcla homogénea que se utiliza según lo requerido.

Luego, para el secado, la mezcla según el molde requerido se fragua a temperatura ambiente por 24 horas, una vez pasado las 24 horas se introduce al horno por un lapso de 72 horas a una temperatura de 40 grados, y así obtener una mezcla compacta.

4.2.3.3.1. Panel de barrera acústica

Se realiza un molde de dimensiones 1.50x0.40x0.15m. El cual permite vaciar dentro de ello los dos tipos de concreto.

En primer lugar, se vierte la mezcla de concreto con agregados de aserrín y viruta hasta una altura de 7cm. Luego, de 3 horas de fraguado, se coloca una malla de acero de Ø3/8” @0.25. Por último, se vierte el concreto estructural. Obteniendo así un panel de doble capa de concreto, con dimensiones de 1.50x0.40x0.15m. véase la figura 31

Figura 31. Panel acústico de medidas 1.50m x 0.40m x 0.15m fabricado en el laboratorio de materiales de la UPC. Elaboración propia.

4.2.4. Ensayo de absorción acústica

El ensayo de absorción acústica se realizó mediante un dispositivo denominado Tubo de Impedancia, el cual fue diseñado y fabricado mediante la norma ISO 10534. Con la finalidad de obtener el coeficiente de absorción del material propuesto (Concreto poroso con agregados ligeros de aserrín y viruta), Utilizando la norma ISO 10534-2:2001 para método de función de transferencia (dos micrófonos fijos). Véase la figura 32.

Este ensayo fue realizado con ayuda del laboratorio de Acústica perteneciente a la Pontificia Universidad Católica del Perú (PUCP) y bajo la supervisión del ingeniero Richard Alberto Rivera Campos. (Ver anexos)

Figura 32. Arreglo de instrumentación en laboratorio de Acústica de la PUCP. Elaboración propia.

4.2.4.1. Materiales Utilizados

Los materiales utilizados para este ensayo son los siguientes:

- Tubo de Impedancia:

Es el conductor de las ondas sonoras desde los parlantes en un extremo del tubo hasta la muestra a ensayar al otro extremo de este. El diámetro de este es de 4" (interior) y la longitud es de 0.60m. Véase la figura 33

Figura 33. Tubo de Impedancia perteneciente al laboratorio de Acústica de la PUCP. Elaboración propia.

- Amplificador:

Es el que libera las ondas sonoras a un extremo de tubo de impedancia. Para este ensayo se utilizó 1 amplificador Harman/Kardon HK. Véase la figura 34.

Figura 34. Amplificador perteneciente al laboratorio de Acústica de la PUCP. Elaboración propia.

- Preamplificador:

Se utilizaron 2 preamplificador 980Bruel & Kjaer 2670.

- Analizador:

Se utilizó 1 analizador Bruel & Kjaer 3160 – A - 042

- Micrófonos:

Estos son los que captan las medidas del nivel de sonido inicial (salida del amplificador) y posteriormente las medidas del sonido luego de interactuar con la muestra ensayada. Para este ensayo se utilizó 2 micrófonos Bruel & Kjaer 4187. Véase la figura 35

Figura 35. Ubicación de micrófonos pertenecientes al laboratorio de Acústica de la PUCP. Elaboración propia.

- Porta Muestra:

Es un accesorio que permite guardar la muestra y ensayarla en el tubo de impedancia. Esta tiene un diámetro de 4" y una longitud de 8cm. Véase la figura 36.

Figura 36. Porta muestra adecuada para fines de este ensayo. Elaboración propia.

- Muestra:

Las muestras son una representación del material propuesto para construir las barreras acústicas. Estas muestras fueron fabricadas en laboratorio de materiales perteneciente a la universidad Peruana de Ciencias Aplicadas (UPC) y se colocan en el tubo de impedancia para ensayar y conocer el coeficiente de absorción. Así mismo, los espesores de las muestras son los siguientes: M1:0.07m, M2:0.064m y M3:0.067m. Véase la figura 37 y anexos.

Figura 37. Muestra elaborada para fines de esta tesis en el laboratorio de materiales perteneciente a la UPC. Elaboración propia.

- Software:

Para este ensayo se utilizó el software Pulse LabShop Versión 22.2.0.98, el cual es utilizada para transmitir la información y procesarla.

4.2.4.2. Ensayo

4.2.4.2.1. Procedimiento de ensayo

- Se tienen las muestras de diámetro de 4", las cuales se colocan en un molde de tubo para ser acopladas al Tubo de Impedancia. Se tiene que adosar y sujetar
- Mediante el amplificador se procede a emitir el ruido, las cuales generan vibraciones.
- Estas vibraciones, tendrán frecuencias desde los 400 Hz hasta los 1600Hz.
- Dentro del tubo de impedancia las ondas son transmitidas desde el amplificador hasta la muestra, en este primer tramo las ondas son leídas por el primer micrófono. Así mismo, parte de las ondas son absorbidas por el material y lo restante reflectadas en dirección de retorno, en este segundo tramo las ondas son leídas por el segundo micrófono.
- Estas lecturas de los micrófonos se transmiten al Software Pulse LabShop mediante 1 analizador, siendo este software el que genera gráficas de medición de las vibraciones y con ello obtener el coeficiente de nivel de absorción.

- Estos resultados de las diferentes muestras de coeficiente de nivel de absorción, se muestra en la siguiente tabla, véase la tabla 36:

Tabla 36

Coefficientes de absorción sonora de muestras ensayadas

COEFICIENTE DE ABSORCIÓN			
Frecuencia	M1	M2	M3
400	0.26	0.15	0.15
500	0.24	0.14	0.15
630	0.22	0.16	0.2
800	0.2	0.13	0.17
1000	0.18	0.11	0.17
1250	0.21	0.13	0.2
1600	0.29	0.23	0.29
NRC	0.23	0.15	0.19

Nota: Elaboración propia, leyenda:

M1: Muestra 1

M2: Muestra 2

M3: Muestra 3

- Siendo el índice NRC el resultado final máximo de coeficiente de absorción equivalente, siendo el valor 0.23.

4.2.4.3. Interpretación de resultados

La tabla anterior, muestra los coeficientes de nivel de absorción por cada frecuencia emitida y el índice NRC como promedio aritmético de cada resultado por muestra en las diferentes frecuencias. Siendo su interpretación:

- Para la primera muestra, el coeficiente de absorción máximo es de 0.23, quiere decir que, por ejemplo, si se tiene un nivel de presión de 100dB, la cantidad de decibelios que se logra absorber es del 23dB, el 23% del nivel de presión sonora incidente
- Para la segunda muestra, el coeficiente de absorción máximo es de 0.15, quiere decir que, por ejemplo, si se tiene un nivel de presión de 100dB, la cantidad de

decibelios que se logra absorber es del 15dB, el 15% del nivel de presión sonora incidente

- Para la tercera muestra, el coeficiente de absorción máximo es de 0.19, quiere decir que, por ejemplo, si se tiene un nivel de presión de 100dB, la cantidad de decibelios que se logra absorber es del 19dB, el 19% del nivel de presión sonora incidente

4.2.5. Diseño de barreras acústicas de concreto

El diseño de barreras acústicas de concreto se realiza tomando como referencia la guía de diseño de barreras acústicas de Nueva Zelanda denominada “NZTA State Highway Noise Barrier Design Guide”, propuesta por NZ Transport Agency. Puesto que en Perú no se cuenta con una norma de diseño para este fin.

4.2.5.1. *Parámetros de las barreras:*

En las siguientes líneas se detallan los aspectos de diseño necesarios para la construcción de las barreras acústicas de concreto.

- Ubicación:

Se tiene en consideración que la sección vial, ubicada en el tramo de la carretera Panamericana Norte en estudio (entre los kilómetros 31 y 35), tiene dos tipos. La sección vial tipo 1, cuenta con dos vías principales de tres carriles separadas por una berma de 1.50m en promedio y dos vías auxiliares de 6.00m separadas por bermas de 1.50m en promedio con las vías principales. Véase la figura 38. La sección vial tipo 2, también cuenta con dos vías principales de tres carriles separadas por una berma de 1.50m en promedio y dos bermas de 8.00m en promedio, con proyecciones a ejecutar vías auxiliares. Véase la figura 39. Así mismo, para este cálculo se despreció la contaminación acústica que ejercen los

autos que transitan por las vías auxiliares porque son vías poco transitadas y no existe el espacio suficiente para colocar las barreras acústicas.

Las barreras acústicas se ubican entre 0.00m y 0.50m de la sección vial, en las bermas laterales. En las zonas donde existan muros perimetrales y se reemplacen por estas.

Figura 38. Ubicación de las barreras acústicas en la sección vial tipo 1. Elaboración propia.

Figura 39. Ubicación de las barreras acústicas en la sección vial tipo 2. Elaboración propia.

- **Altura:**

Según los parámetros urbanísticos del distrito de Puente Piedra, la zona debe tener como máximo 4 niveles. Sin embargo, en la investigación en campo realizada los edificios tienen una altura promedio de 2 pisos. Para efectos de cálculo de la

presente tesis, se considera una edificación de 3 pisos, siendo este la máxima altura encontrada en la zona, asimismo las alturas consideradas por cada piso son: 1er piso de 2.50m y los pisos superiores de 2.40m.

Para calcular la altura de las barreras acústicas se tomó como referencia la guía de diseño de barreras de ruido (NZ Transport Agency, 2010), para ello se proyectó una línea imaginaria desde la parte más alejada de la vía a 1.00m de altura hasta 1.50m de altura desde el piso más alto de la edificación (3er nivel). Teniendo como resultado barreras de 3.90m en los extremos y barreras de 2.90m en el centro de la sección vial. Véase la figura 40.

Figura 40. Altura de las barreras acústicas en la sección vial en estudio. Elaboración propia.

- Reflexiones:

Para mitigar el campo sonoro que generan estos muros por medio de las reflexiones. Se propone que las barreras acústicas absorbentes laterales se inclinen 7° hacia las edificaciones, con la finalidad de que las ondas sonoras reflectadas por estas barreras se desvíen hacia el cielo y reduzcan el campo sonoro que la sección vial. Véase la figura 41.

Figura 41. Inclinación de barreras acústicas para reducción de reflexiones. Elaboración propia.

- Longitud:

Para garantizar la reducción de contaminación acústica en el receptor (edificaciones), cada uno de los predios debe tener un ángulo de protección de 160° hacia la fuente incidente. Sin embargo; en las zonas como intersecciones vehiculares, parques, grifos, etc, y no tenga espacio para cumplir con esta solicitud se tendrá que hacer un doblado a la barrera hacia las edificaciones.

- Continuidad:

Con la finalidad de conservar los accesos y salidas de las vías principales de la carretera, acceso a paraderos, para ciclistas, etc se propone instalar muros superpuestos. La longitud de las barreras superpuestas es entre 3 y 4 veces el ancho de la abertura de acceso o salida.

4.2.5.2. Procedimiento de instalación

Con las barreras de concreto de dos capas, con dimensiones de $1.50 \times 0.40 \times 0.15$ m con un peso de 150 kg aproximadamente, se diseñó con la finalidad de tener facilidad de instalación, transporte y manipulación. Por otro lado, la capa de concreto estructural

necesita un espesor mínimo de 0.08m, y en conjunto con el concreto liviano, el panel llega a tener un espesor total de 0.15m, siendo así la volumetría conformada no posee una vista muy brusca y la estética de la ciudad se mantiene, véase la figura 42. A continuación, se muestra el procedimiento y las características para la instalación:

- Soporte:

Dado la altura de la barrera acústica, se decidió colocar como soporte columnas de acero tipo “H”, las cuales tendrán que ser cimentadas y tener un ángulo de inclinación de acuerdo al diseño requerido.

- Instalación del panel:

Se requiere paneles de 1.50x0.40x0.15m, las cuales se apilan hasta la altura del diseño realizado. Y las juntas generadas se sellan con material elastomérico.

Figura 42. Barrera acústica típica. Elaboración Propia.

4.2.5.3. Seguridad por instalación de barreras

La construcción de barreras acústicas en la sección vial de la carretera Panamericana Norte, puede generar inseguridad por la división de la vía principal con las alternas o edificaciones, como robos, graffitis, colapsos de vehículos con la estructura, entre otros.

- Delincuencia:

Las barreras generaran zonas oscuras y con poca visibilidad, esto puede generar que los delincuentes se adueñen de dichos lugares. Como solución para estos casos se recomienda instalar un sistema de alumbrado y de cámaras de vigilancia, con la finalidad de monitorear las zonas con mayor probabilidad de delincuencia. También se recomienda coordinar con la municipalidad a cargo para asignar mayor patrullaje de policías y serenos para reducir la delincuencia.

- Graffiti:

Las barreras acústicas pueden generar opción para un comportamiento delictivo en las personas como la elaboración de *graffitis*. Para ello, se recomienda instalar plantas trepadoras adosadas en las barreras, de esta manera los delincuentes dejan de ejecutar las pinturas ilegales. En segundo lugar, se puede aplicar *graffitis* prediseñado o arte urbano, con la finalidad que con estas pinturas urbanas se ganen el respeto de la comunidad y así evitar el comportamiento delictivo de *graffitis*. Finalmente, se puede colocar una pintura especial, como esmalte, para que los *graffitis* pueden eliminarse con menos esfuerzo y costo.

- Colapsos de vehículos con las barreras:

Se ha analizado la posibilidad de colisiones de los vehículos en las barreras acústicas, que pueden dañar la integridad de los conductores, pasajeros y población aledaña, así como el deterioro de las barreras. Como solución ante esta situación, se

recomienda instalar guardavías por delante de las barreras y evitar el impacto directo hacia las barreras acústicas.

5. DISCUSIÓN Y RESULTADOS

5.1. Verificación de resultados

5.1.1. Análisis de la reducción de la contaminación acústica

Los resultados obtenidos en la medición del ruido en la zona de estudio, Carretera Panamericana Norte entre los 31 y 35 km, indican la existencia de contaminación acústica, valores por encima a lo especificado en el Decreto Supremo N°085. Por lo que, es necesario ejecutar una alternativa para el control del ruido y con ello reducir la contaminación acústica. Este análisis conlleva a presentar una alternativa del diseño de barreras acústicas.

5.1.1.1. Datos obtenidos

5.1.1.1.1. Medición del ruido

Se obtiene dos resultados de niveles de presión sonora con ponderación A, tanto para el horario diurno y nocturno. Y con ello se compara con los niveles de presión sonora permitidos por el ECA, resultando valores por encima de lo permitido, véase la tabla 5.

5.1.1.1.2. Medición del coeficiente de absorción acústica

Mediante el ensayo del tubo de impedancia, se obtuvo un promedio del coeficiente de absorción acústica del sistema presentado para el control del ruido (concreto de agregados ligeros aserrín y viruta). Siendo el resultado un NRC de 0.19.

5.2. Discusión

La presente tesis, muestra en el siguiente cuadro el nivel de presión sonora que se reduce por la colocación de las barreras acústicas, teniendo a la capa rígida de concreto estructural expuesta al ruido y el concreto con agregados ligeros viruta y aserrín por el lado opuesto. Asimismo, la instalación de estas barreras acústicas debe ser ejecutada con un Angulo de 7°, con respecto a la horizontal de la carretera.

De acuerdo con el NRC obtenido, la reducción del nivel de presión sonora trae consigo la reducción de contaminación acústica en la zona de estudio, por consiguiente, se reduce los problemas y enfermedades generadas a los habitantes y transeúntes de la zona, producto del ruido del parque automotor.

5.3. Análisis de costo unitario de la fabricación de barreras acústicas

5.3.1. Materiales utilizados

Para la fabricación de Barreras acústicas con una capa de concreto estructural y otra capa de concreto con agregados ligeros aserrín y viruta, se utilizaron los siguientes materiales.

5.3.1.1. *Concreto estructural*

El concreto estructural que tiene como referencia el costo indicado en la Revista de Costos del mes de Setiembre, indica un costo de S/. 325.00 x m³.

5.3.1.2. *Concreto con agregados ligeros aserrín y viruta*

- Cemento, el costo por bolsa de cemento de 42.5kg es de S/. 20.00
- Agua, el costo de un metro cúbico es de S/. 1.26, en referencia al agua doméstica emitidos en recibos de SEDAPAL.
- Viruta, dado que este material proviene del desperdicio de las madereras, las cuales se pueden reciclar, el costo por un kilogramo es de S/. 0.50, dependiendo de la maderera. Para la presente tesis, este material se adquirió en la Maderera Central ubicada en el cruce de la Av. Canta Callao con Av. Izaguirre
- Aserrín, así como la viruta, este material proviene del desperdicio de las madereras, las cuales se pueden reciclar, siendo el costo por un kilogramo S/.0.25, aproximadamente, dependiendo de la maderera. Para la presente tesis, este material se adquirió en la Maderera Central ubicada en el cruce de la Av. Canta Callao con Av. Izaguirre.

5.3.2. Análisis de costo para un panel de 1.50x0.40x0.07

En la siguiente tabla se muestra la cantidad de material utilizado para un panel con dimensiones de 1.50x0.40x0.07 (largo x ancho x espesor); y los costos que contribuye cada uno de ellos. Véase la tabla 37

Tabla 37

Costos de panel de concreto con agregados de aserrín y viruta

PANEL DE 1.50x0.40x0.07				
Materiales	Pesos	Unidad	P.U. (S/.)	Parcial (S/.)
Cemento	16.30	kg	0.47	7.67
Agua	10.99	kg	1.26	13.85
Viruta	2.06	kg	0.50	1.03
Aserrín	4.02	kg	0.25	1.00
Total				23.56

Nota: Elaboración propia.

Por último, un panel de concreto estructural con las mismas dimensiones tiene el siguiente costo, véase la tabla 38

Tabla 38

Costos de un panel de concreto estructural

PANEL DE 1.50x0.40x0.07				
Materiales	Volumen	Unidad	P.U. (S/.)	Parcial (S/.)
Concreto premezclado f'c= 210 kg/cm2	0.042	m3	237.00	9.95
Total				9.95

Nota: Elaboración propia.

CONCLUSIONES

- Se demostró que el ruido emitido por el parque automotor alcanza a exceder los límites del ECA en 16.48 y 24.76 decibelios en promedio para los horarios diurno y nocturno respectivamente.
- Ante la evidente contaminación acústica y la geografía de la zona, las barreras acústicas deben ser ubicadas en las bermas laterales, a 0.00m y 0.50m de la vía principal, y al eje de la berma central.
- Se diseñó las dimensiones de la Barrera Acústica, obteniendo como resultado una altura de 3.90m en los extremos y de 2.90m en la parte central, de la sección vial. Asu vez, estos deben ser instalados a 7ª de inclinación con respecto a la vertical y con dirección al receptor.
- El análisis realizado para la ubicación de la capa absorbente demuestra que esta debe encontrarse en la cara posterior de donde se producen las ondas sonoras, con la finalidad de no generar un campo acústico en la zona protegida.
- En el ensayo de absorción acústica se demostró que el concreto con agregados ligeros de aserrín y viruta, tiene la capacidad de absorber el 23% del nivel de presión sonora emitido por el parque automotor.
- El análisis de los resultados determina que, al usar del sistema de barreras acústicas, el nivel de presión sonora se encontrará dentro de los parámetros del ECA en el horario diurno. Por lo tanto, se reducirá el riesgo a contraer enfermedades y evitar muertes producto de la contaminación acústica.
- Se determina que la fabricación del panel de la barrera acústica tendrá un costo de 40.14 nuevos soles por m².

RECOMENDACIONES

- Se recomienda que se realice un estudio del nivel de energía calorífica que ha sido transformada por el material absorbente, con la finalidad de que esta energía pueda ser transformada a una fuente de energía eléctrica.
- Se recomienda que se evalúe la colocación de los paneles de la barrera acústica en celosías, para aprovechar la atenuación de este sistema en la reducción de la contaminación acústica.
- Se recomienda que, se evalúe al material absorbente de concreto con agregados de aserrín y viruta como un mortero de revestimiento de muros convencionales para las edificaciones aledañas, con la finalidad de reducir las ondas sonoras emitidas por el transporte en las vías auxiliares.
- Se recomienda cambiar la dosificación de concreto con agregados ligeros de aserrín y viruta, con la finalidad de obtener un coeficiente de absorción mayor que el hallado en esta investigación y, por consiguiente, aumentar la capacidad de absorción de nivel de presión sonora.
- Se recomienda evaluar la instalación de plantas trepadoras en las barreas acústicas, con la finalidad de evitar actos vandálicos como inscripción de pinturas ilegales.
- Para reducir costos, se recomienda que, los agregados aserrín y viruta se encuentren saturados antes de la mezcla con el cemento y agua.

REFERENCIAS

Arnay, H. (2014). *Estudio de ola Precisión de la Determinación del Coeficiente de Absorción Acústica en Tubo de Impedancia*. (Tesis de maestría, Universidad Politécnica de Madrid, Escuela Técnica Superior de Ingeniería y Sistemas de

- Telecomunicación, Madrid, España). Recuperado de <http://oa.upm.es/32511/>
[Consulta: 10 de noviembre de 2017]
- Beranek, L. (1969). *Acustica*. Buenos Aires: Hispano Americana S.A.
- Carbajo, J., Esquerdo-Lloret, T., Ramis, J., Nadal-Gisbert, A., & Denia, F. (2016). Acoustic modeling of perforated concrete using the dual porosity theory. *Applied Acoustics*. 115(3). 150-157. <https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2016.09.005>
- Colque, E. W. (2017). Mapa de ruidos del distrito de Cercado de Arequipa; locales de la Universidad Nacional de San Agustín, 2017. (Tesis de maestría, Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, Unidad de Posgrado de la Facultad de Ciencias Biológicas, Arequipa, Perú). Recuperado de <http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/UNSA/2519> [Consulta: 10 de noviembre de 2017].
- Environmental Acoustics. (1989). *Jornadas Nacionales de Acústica, Absorción y Aislamiento Acústico*. Zaragoza: Environmental Acoustics.
- Grupo Quijada. (05 de Noviembre de 2017). *Grupo Quijada*. Obtenido de <http://grupoquijada.com/prefabricados-de-hormigon/pantalla-acustica-quijada>
[Consulta: 10 de noviembre de 2017].
- Harris, C.M. (1995). *Manual de Medidas Acústicas y Control del Ruido* (3ra ed., Vol. 2). España: Mc Graw-Hill.
- Harris, C. M. (1995). *Manual de medidas acústicas y control de ruido* (Vol. Tercera edición ed.). España: McGraw Hill / Interamericana de España S.A.
- Instituto del Cemento Portland Argentino. (2015). Barreras Sónicas de Hormigón. Argentina: Instituto del Cemento Portland Argentino.

- Instituto Nacional de Estadísticas e Informática. (10 de 11 de 2017). *Instituto Nacional de Estadísticas e Informática*. Obtenido de <http://www.inei.gob.pe/> [Consulta: 10 de noviembre de 2017].
- International Organization for Standardization [ISO]. (2008). ISO 9613-2, Acoustics- Attenuation of sound during propagation outdoors. Recuperado de https://thumpworks.files.wordpress.com/2013/09/11_99_22274.pdf. [Consulta: 10 de noviembre de 2017].
- Jiménez, H. (2011). Estudio y Plan de Mitigación del Nivel de Ruido Ambiental en la Zona urbana de la Ciudad de Puyo Ecuador. Riobamba, Ecuador: Escuela Politécnica de Chimborazo. Obtenido de <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/2009/1/236T0064.pdf>. [Consulta: 10 de noviembre de 2017].
- Jordá, S. (1997). *Audio digital y MIDI*. Madrid: Guías Monográficas Anaya Multimedia.
- Kim, A., Joo, h., Lee, J., Seung, W., Lee, J., Chang, S., & Sun Sim, C. (2017). Effects of self-reported sensitivity and road-traffic noise levels on the immune system. *Plos One*.
- Kjaer, B. (2000). *Ruido Ambiental*. Obtenido de <https://www.bksv.com/doc/br1630.pdf> [Consulta: 10 de noviembre de 2017].
- Kosmatka, S. K. (2011). *Diseño y control de mezclas de concreto*. Illinois: Portland Cement Association.
- Llorens, V. M. (2012). Hormigón ligero. *CEMEX*.
- Machimbarrena Gutiérrez, M. (2002). Estudio comparativo del aislamiento sonoro por lo métodos de presión y de intensidad. (Tesis doctoral, Universidad de Valladolid, Departamento de Óptica y Física Aplicada. Valladolid, España).

- Machuca, F. A. (2011). *Desarrollo de un Sistema de Medición de Aislamiento Sonoro en Incidencia Normal*. México, D.F.: Universidad Nacional Autónoma de México.
- Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento. (2009). Reglamento Nacional de Edificaciones. *Concreto Armado E.060*. Lima, Perú.
- Ministerio del Ambiente. (24 de Octubre de 2003). Decreto Supremo N° 085-2003-PCM. *Reglamento de Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Ruido*. Lima: Ministerio del Ambiente.
- Ministerio del Ambiente. (2014). *Protocolo Nacional de monitoreo de Ruido Ambiental*. Lima: Ministerio del Ambiente.
- Ministerio del Ambiente. (2015). *Informe de ruido ambiental en los cuarenta y tres (43) distritos que confirman la provincia de Lima*. Lima: Ministerio del Ambiente.
- Morales Pérez, J. (2009). Estudio de la influencia de determinadas variables en el ruido urbano producido por el tráfico de vehículos. Madrid, España: Universidad Politécnica de Madrid.
- Navas, G., & Santander, N. (2011). Diseño y Construcción de un Tubo de Impedancia, para la Absorción Sonora de los Materiales Utilizados en la Construcción. *Universidad de las Américas*.
- NZ Transport Agency. (2010). *NZTA State Highway Noise Barrier Design Guide*. Nueva Zelanda: NZ Transport Agency.
- Olmos, E. D. (2002). Evaluación de la pérdida de inserción de una barrera acústico aplicada en un proyecto lineal. (Tesis de Licenciatura, Universidad Austral de Chile, Escuela de Ingeniería Acústica. Valdivia, Chile).
- Organismo de Evaluación de Fiscalización Ambiental. (Junio de 2016). La Contaminación Sonora en Lima y Callao. Lima, Lima, Perú. Obtenido de

- (<https://www.oefa.gob.pe/noticias-institucionales/el-oefa-presenta-informe-sobre-contaminacion-sonora-en-lima-y-callao-2015>) [Consulta: 10 de noviembre de 2017].
- Pasquel, E. (1999). *Tópicos de tecnología del concreto*. Lima: Colegio de Ingenieros del Perú CIP.
- Real Academia Española. (15 de Enero de 2018). *Real Academia Española*. Obtenido de <http://dle.rae.es/?id=0gTxC5k> [Consulta: 10 de noviembre de 2017].
- Recio, A., Linares, C., José Ramón, B., & Díaz, J. (2017). Impact of road traffic noise on cause-specific mortality in Madrid (Spain). *Science of the Total Environment*.
- Sandoval, A. M. (2005). Ruido por tráfico urbano: concepto, medidas descriptivas y valoración económica. *Revista de Economía y Administración*, 49.
- Sanz, C. (2012). Técnicas para el ruido acústico en vehículos (Noise, Vibration and Harshness). (U. P. Valencia, Ed.) España.
- Serret, N. G. (2016). *Caracterización de aserrín de diferentes maderas*. Santiago de Cuba: Tecnología Química.
- TDM Grupo. (04 de Noviembre de 2017). *TDM Grupo*. Obtenido de <http://www.grupotdm.com/products-seguridad-barreras-acusticas.php> [Consulta: 10 de noviembre de 2017].
- Zicla. (11 de 02 de 2018). *Barreras acústicas, principios básicos*. Obtenido de <https://www.yumpu.com/es/document/view/43705897/barreras-acusticas-principios-basicos-zicla> [Consulta: 10 de noviembre de 2017].

ANEXOS 1

Certificado de calibración del sonómetro

INACAL
Instituto Nacional
de Calidad
Metrología

Laboratorio de Acústica

Certificado de Calibración

LAC - 138 - 2016

Página 1 de 9

Expediente	91320	<p>Este certificado de calibración documenta la trazabilidad a los patrones nacionales, que realizan las unidades de medida de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades (SI).</p> <p>La Dirección de Metrología custodia, conserva y mantiene los patrones nacionales de las unidades de medida, calibra patrones secundarios, realiza mediciones y certificaciones metrológicas a solicitud de los interesados, promueve el desarrollo de la metrología en el país y contribuye a la difusión del Sistema Legal de Unidades de Medida del Perú. (SLUMP).</p> <p>La Dirección de Metrología es miembro del Sistema Interamericano de Metrología (SIM) y participa activamente en las Intercomparaciones que éste realiza en la región.</p> <p>Con el fin de asegurar la calidad de sus mediciones el usuario está obligado a recalibrar sus instrumentos a intervalos apropiados.</p>
Solicitante	HIDROSAT Y MEDIO AMBIENTE S.A.C.	
Dirección	Berna 100 F 13 Urb. Los Portales de Javier Prado - 1ra Etapa - Ate	
Instrumento de Medición	Sonómetro	
Marca	BSWA TECH	
Modelo	BSWA 308	
Procedencia	CHINA	
Resolución	0,1 dB	
Clase	1	
Número de Serie	540032	
Micrófono	NO INDICA	
Serie del Micrófono	520959	
Fecha de Calibración	2016-10-10 al 2016-10-11	

Este certificado de calibración sólo puede ser difundido completamente y sin modificaciones. Los extractos o modificaciones requieren la autorización de la Dirección de Metrología del INACAL.
Certificados sin firma y sello carecen de validez.

Fecha	Responsable del Área de Electricidad y Termometría	Responsable del laboratorio
2016-10-11	EDWIN FRANCISCO GUILLEN MESTAS	HENRY DIAZ CHONATE

Certificado de Calibración LAC – 138 – 2016

Laboratorio de Acústica

Página 2 de 9

Método de Calibración

Segun la Norma Metrologica Peruana NMP-011-2007 "ELECTROACÚSTICA. Sonómetros. Parte 3: Ensayos periódicos" (Equivalente a la IEC 61672-3:2006)

Lugar de Calibración

Laboratorio de Acústica
Avenida Canadá 1542; San Borja, Lima.

Condiciones Ambientales

Temperatura	21,7 °C ± 0,4 °C
Presión	996,4 hPa ± 0,1 hPa
Humedad Relativa	65,3 % ± 1,6 %

Patrones de referencia

Trazabilidad	Patrón utilizado	Certificado de Calibración
Patrón de Referencia de CENAM Certificados CNM-CC-510-177/2015; CNM-CC-510-184/2015; CNM-CC-510-191/2015; CNM-CC-510-192/2015 y Certificado INDECOPI SNM LE-C-271-2014	Calibrador acústico multifunción B&K 4226	INACAL DM LAC-026-2016
Patrón de Referencia de la Dirección de Metrología Oscilador de Frecuencia de Cesio Symmetricom 5071A el cual pertenece a la red SIM Time Scale Comparisons via GPS Common-View http://gps.nist.gov/scripts/sim_rx_grid.exe y Certificado LE-C-271-2014	Generador de funciones Agilent 33220A	Indecopi SNM LTF-C-141-2015
Patrón de Referencia de CENAM Certificados CNM-CC-410-176/2014; CNM-CC-410-179/2014; CNM-CC-410-180/2014; CNM-CC-410-181/2014; CNM-CC-410-182/2014; CNM-CC-410-183/2014	Multímetro Agilent 34411A	Indecopi SNM LE-C-172-2014
Patrones de Referencia de la Dirección de Metrología Certificado Indecopi SNM LE-C-172-2014 y Certificado Indecopi SNM LTF-084-2012	Atenuador de 10 dB TRILITHIC RSA 3510-SMA-R	Indecopi SNM LE-177-2015
Patrones de Referencia de la Dirección de Metrología Certificado Indecopi SNM LE-C-172-2014 y Certificado Indecopi SNM LTF-084-2012	Atenuador de 10 dB TRILITHIC RSA 3510-SMA-R	Indecopi SNM LE-176-2015
Patrones de Referencia de la Dirección de Metrología Certificado Indecopi SNM LE-C-172-2014 y Certificado Indecopi SNM LTF-084-2012	Atenuador de 40 dB B&K WB 1099	Indecopi SNM LE-175-2015

Observaciones

Con fines de identificación se ha colocado una etiqueta autoadhesiva de la Dirección de Metrología - INACAL. El sonómetro ensayado de acuerdo a la norma NMP-011-2007 cumple con las tolerancias para la clase 1 establecidas en la norma IEC 61672-1:2002.

INACAL
Instituto Nacional
de Calidad
Metrología

Certificado de Calibración LAC – 138 – 2016

Laboratorio de Acústica

Página 3 de 9

Resultados de Medición

RUIDO INTRINSECO (dB)

Micrófono instalado (dB)	Límite max. en L_{Aeq}^1 (dB)	Micrófono retirado (dB)	Límite max. en L_{Aeq}^1 (dB)
14,7	18	7,9	11

Nota: la medición se realizó en el rango 22,0 dB a 137,0 dB; con un tiempo de integración de 30 seg.

La medición con micrófono instalado se realizó con pantalla antiviento.

La medición con micrófono retirado se realizó con su adaptador capacitivo.

¹⁾ Dato tomado del manual del instrumento.

ENSAYOS CON SEÑAL ACUSTICA

Ponderación frecuencial C con ponderación temporal F (L_{CF})

Señal de entrada: 1 kHz a 94 dB en el rango de referencia 22,0 dB a 137,0 dB; señal sinusoidal.

Antes de iniciar los ensayos el sonómetro fue ajustado al nivel de referencia dado en su manual: 94,0 dB y 1 kHz, con el calibrador acústico multifunción B&K 4226.

Frecuencia Hz	Desviación (dB)	Incertidumbre (dB)	Tolerancia* (dB)
125	0,0	0,3	$\pm 1,5$
1000	0,0	0,3	$\pm 1,1$
8000	-0,5	0,3	+ 2,1; - 3,1

Certificado de Calibración

LAC – 138 – 2016

Laboratorio de Acústica

Página 4 de 9

ENSAYOS CON SEÑAL ELECTRICA

Ponderaciones frecuenciales

Señal de referencia: 1kHz a 45 dB por debajo del límite superior del rango de referencia (92 dB).

Ponderación A

Frecuencia (Hz)	Ponderación temporal F		Nivel continuo equivalente de presión acústica (eq)		Tolerancia*
	Desviación (dB)	Incertidumbre (dB)	Desviación (dB)	Incertidumbre (dB)	
63	0,0	0,3	-0,1	0,3	± 1,5
125	-0,1	0,3	-0,1	0,3	± 1,5
250	-0,1	0,3	-0,1	0,3	± 1,4
500	0,0	0,3	0,0	0,3	± 1,4
2000	0,1	0,3	0,1	0,3	± 1,6
4000	0,3	0,3	0,3	0,3	± 1,6
8000	0,7	0,3	0,7	0,3	+ 2,1;- 3,1
16000	-3,1	0,3	-3,1	0,3	+ 3,5;- 17,0

Ponderación C

Frecuencia (Hz)	Ponderación temporal F		Nivel continuo equivalente de presión acústica (eq)		Tolerancia*
	Desviación (dB)	Incertidumbre (dB)	Desviación (dB)	Incertidumbre (dB)	
63	0,0	0,3	0,0	0,3	± 1,5
125	0,0	0,3	0,0	0,3	± 1,5
250	0,0	0,3	0,0	0,3	± 1,4
500	0,0	0,3	0,0	0,3	± 1,4
2000	0,1	0,3	0,1	0,3	± 1,6
4000	0,3	0,3	0,3	0,3	± 1,6
8000	0,6	0,3	0,6	0,3	+ 2,1;- 3,1
16000	-3,1	0,3	-3,1	0,3	+ 3,5;- 17,0

INACAL
Instituto Nacional
de Calidad
Metrología

Certificado de Calibración LAC – 138 – 2016

Laboratorio de Acústica

Página 5 de 9

Ponderación Z

Frecuencia (Hz)	Ponderación temporal F		Nivel continuo equivalente de presión acústica (eq)		Tolerancia*
	Desviación (dB)	Incertidumbre (dB)	Desviación (dB)	Incertidumbre (dB)	
63	0,0	0,3	0,0	0,3	± 1,5
125	0,0	0,3	0,0	0,3	± 1,5
250	0,0	0,3	0,0	0,3	± 1,4
500	0,0	0,3	0,0	0,3	± 1,4
2000	0,0	0,3	0,0	0,3	± 1,6
4000	0,0	0,3	0,0	0,3	± 1,6
8000	0,0	0,3	0,0	0,3	+ 2,1/- 3,1
16000	0,0	0,3	0,0	0,3	+ 3,5/- 17,0

Nota: Para este ensayo se utilizó un atenuador.

Ponderaciones de frecuencia y tiempo a 1 kHz

- Señal de referencia: 1 kHz, señal sinusoidal.
- Nivel de presión acústica de referencia: 94 dB en el rango de referencia; función L_{AF}
- Desviación con relación a la función L_{AF}

Nivel de referencia (dB)	Función L_{CF}	Función L_{ZF}	Función L_{AS}	Función L_{Aeq}
94	94,0	94,0	94,0	94,0
Desviación (dB)	0,0	0,0	0,0	0,0
Incertidumbre (dB)	0,3	0,3	0,3	0,3
Tolerancia* (dB)	± 0,4	± 0,4	± 0,3	± 0,3

Certificado de Calibración LAC – 138 – 2016

Laboratorio de Acústica

Página 6 de 9

Linealidad de nivel en el rango de nivel de referencia

- Señal de referencia: 8 kHz, señal sinusoidal
- Nivel de presión acústica de partida: 94 dB en el rango de referencia; función L_{AF}
- Nivel de referencia para todo el rango de funcionamiento lineal:
Nivel de partida incrementado en 5 dB y luego en 1 dB hasta indicación de sobrecarga sin incluirla.
Nivel de partida disminuido en 5 dB y luego en 1 dB hasta indicación de insuficiencia sin incluirla.

Nivel de referencia (dB)	Medido (dB)	Desviación (dB)	Incertidumbre (dB)	Tolerancia* (dB)
135	135,0	0,0	0,3	± 1,1
134	134,0	0,0	0,3	± 1,1
129	129,0	0,0	0,3	± 1,1
124	124,0	0,0	0,3	± 1,1
119	119,0	0,0	0,3	± 1,1
114	114,0	0,0	0,3	± 1,1
109	109,0	0,0	0,3	± 1,1
104	104,0	0,0	0,3	± 1,1
99	99,0	0,0	0,3	± 1,1
94	94,0	0,0	0,3	± 1,1
89	89,0	0,0	0,3	± 1,1
84	84,0	0,0	0,3	± 1,1
79	79,0	0,0	0,3	± 1,1
74	74,0	0,0	0,3	± 1,1
69	69,0	0,0	0,3	± 1,1
64	64,0	0,0	0,3	± 1,1
59	59,0	0,0	0,3	± 1,1
54	54,0	0,0	0,3	± 1,1
49	49,0	0,0	0,3	± 1,1
44	44,0	0,0	0,3	± 1,1
39	39,0	0,0	0,3	± 1,1
34	34,0	0,0	0,3	± 1,1
29	29,1	0,1	0,3	± 1,1
24	24,1	0,1	0,3	± 1,1
23	23,1	0,1	0,3	± 1,1
22	22,1	0,1	0,3	± 1,1

Nota 1: Para los niveles de 79 dB hasta 22 dB se utilizaron atenuadores.

Nota 2: Sólo se midió hasta 22 dB debido a que el ensayo se realizó en el rango de 22 dB a 137 dB.

INACAL
Instituto Nacional
de Calidad
Metrología

Certificado de Calibración LAC – 138 – 2016

Laboratorio de Acústica

Página 7 de 9

Linealidad de nivel incluyendo el control de rango de nivel

Nota: No se aplica debido a que el sonómetro tiene un rango único.

Respuesta a un tren de ondas

- Señal de referencia: 4 kHz, señal sinusoidal permanente.
- Nivel de referencia: 3 dB por debajo del límite superior en el rango de referencia; función: L_{AF}

Función: L_{AFmax} (para la indicación del nivel correspondiente al tren de ondas)

Duración del tren de ondas (ms)	Nivel leído L_{AF} (dB)	Nivel leído L_{AFmax} (dB)	Desviación (D) (dB)	Rpts. Ref.* δ_{ref} (dB)	Diferencia (D - δ_{ref}) (dB)	Incertidumbre (dB)	Tolerancia* (dB)
200	134,0	133,0	-1,0	-1,0	0,0	0,3	$\pm 0,8$
2	134,0	115,9	-18,1	-18,0	-0,1	0,3	+ 1,3; - 1,8
0,25	134,0	106,8	-27,2	-27,0	-0,2	0,3	+ 1,3; - 3,3

Función: L_{ASmax} (para la indicación del nivel correspondiente al tren de ondas)

Duración del tren de ondas (ms)	Nivel leído L_{AF} (dB)	Nivel leído L_{ASmax} (dB)	Desviación (D) (dB)	Rpts. Ref.* δ_{ref} (dB)	Diferencia (D - δ_{ref}) (dB)	Incertidumbre (dB)	Tolerancia* (dB)
200	134,0	126,5	-7,5	-7,4	-0,1	0,3	$\pm 0,8$
2	134,0	106,9	-27,1	-27,0	-0,1	0,3	+ 1,3; - 3,3

Función: L_{AE} (para la indicación del nivel correspondiente al tren de ondas)

Duración del tren de ondas (ms)	Nivel leído L_{AF} (dB)	Nivel leído L_{AE} (dB)	Desviación (D) (dB)	Rpts. Ref.* δ_{ref} (dB)	Diferencia (D - δ_{ref}) (dB)	Incertidumbre (dB)	Tolerancia* (dB)
200	134,0	126,9	-7,1	-7,0	-0,1	0,3	$\pm 0,8$
2	134,0	106,9	-27,1	-27,0	-0,1	0,3	+ 1,3; - 1,8
0,25	134,0	97,8	-36,2	-36,0	-0,2	0,3	+ 1,3; - 3,3

Nota: La medición se realizó en la función SEL (Nivel de exposición al ruido según manual del instrumento).

INACAL
Instituto Nacional
de Calidad
Metrología

Certificado de Calibración LAC – 138 – 2016

Laboratorio de Acústica

Página 8 de 9

Nivel de presión acústica de pico con ponderación C

- Señales de referencia: 8 kHz y 500 Hz, señal sinusoidal permanente.
- Nivel de referencia: 8 dB por debajo del límite superior en el rango de nivel menos sensible (22,0 dB a 137,0 dB);
función: L_{CF}

Función: L_{Cpeak} , para la indicación del nivel correspondiente a 1 ciclo de la señal de 8 kHz;
1 semiciclo positivo* y 1 semiciclo negativo* de la señal de 500 Hz.

Señal de ensayo	Nivel leído L_{CF} (dB)	Nivel leído L_{Cpeak} (dB)	Desviación (D) (dB)	$L_{Cpeak} - L_{C-}$ (L) (dB)	Diferencia (D - L) (dB)	Incertidumbre (dB)	Tolerancia*
8 kHz	129,0	131,6	2,6	3,4	-0,8	0,3	± 2,4
500 Hz ⁺	129,0	131,1	2,1	2,4	-0,3	0,3	± 1,4
500 Hz ⁻	129,0	131,1	2,1	2,4	-0,3	0,3	± 1,4

Indicación de sobrecarga

- Señal de referencia: 4 kHz, señal sinusoidal permanente.
- Nivel de referencia: 1 dB por debajo del límite superior en el rango de nivel menos sensible (22,0 dB a 137,0 dB);
función: L_{Aeq}

Función: L_{Aeq} , para la indicación del nivel correspondiente a 1 semiciclo positivo* y 1 semiciclo negativo*. Indicación de sobrecarga a los niveles leídos.

Nivel leído semiciclo + L_{Aeq} (dB)	Nivel leído semiciclo - L_{Aeq} (dB)	Diferencia (dB)	Incertidumbre (dB)	Tolerancia*
134,8	134,8	0,0	0,3	1,8

Nota:

Los ensayos se realizaron con su preamplificador BSWA MA231T 540036.

Se utilizó el manual de usuario del equipo proporcionado en inglés, BSWA TECH, BSWA 308, Sound Level Meter, User Manual, No.BSWA-III-C021-03-0115, Version: V1.00, Sep. 2010.

El sonómetro tiene grabado en la placa las designaciones: IEC 61672-1:2013 Class 1; IEC 61260-1:2014 Class 1; IEC 60551:1997 Type 1; IEC 60804:2000 Type 1.

* Tolerancias tomadas de la norma IEC 61672-1:2002 para sonómetros clase 1.

Certificado de Calibración LAC – 138 – 2016

Laboratorio de Acústica

Página 9 de 9

Incertidumbre

La incertidumbre reportada en el presente certificado es la incertidumbre expandida de medición que resulta de multiplicar la incertidumbre estándar combinada por el factor de cobertura $k=2$. La incertidumbre fue determinada según la "Guía para la Expresión de la Incertidumbre en la Medición", segunda edición, julio del 2001 (Traducción al castellano efectuada por Indecopi, con autorización de ISO, de la GUM, "Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement", corrected and reprinted in 1995, equivalente a la publicación del BIPM JCGM:100 2008, GUM 1995 with minor corrections "Evaluation of Measurement Data - Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement").

La incertidumbre expandida de medición fue calculada a partir de los componentes de incertidumbre de los factores de influencia en la calibración. La incertidumbre indicada no incluye una estimación de variaciones a largo plazo.

Recalibración

Los resultados son válidos en el momento de la calibración. Al solicitante le corresponde disponer en su momento la ejecución de una recalibración, la cual está en función del uso, conservación y mantenimiento del instrumento de medición o a reglamentaciones vigentes.

DIRECCION DE METROLOGIA

El Servicio Nacional de Metrología (actualmente la Dirección de Metrología del INACAL), fue creado mediante Ley N° 23560 el 6 enero de 1983 y fue encomendado al INDECOPI mediante Decreto Supremo DS-024-93 ITINCI.

El 11 de julio 2014 fue aprobada la Ley N° 30224 la cual crea el Sistema Nacional de Calidad, y tiene como objetivo promover y garantizar el cumplimiento de la Política Nacional de Calidad para el desarrollo y la competitividad de las actividades económicas y la protección del consumidor.

El Instituto Nacional de Calidad (INACAL) es un organismo público técnico especializado adscrito al Ministerio de Producción, es el cuerpo rector y autoridad técnica máxima en la normativa del Sistema Nacional de la Calidad y el responsable de la operación del sistema bajo las disposiciones de la ley, y tiene en el ámbito de sus competencias: Metrología, Normalización y Acreditación.

La Dirección de Metrología del INACAL cuenta con diversos Laboratorios Metrológicos debidamente acondicionados, instrumentos de medición de alta exactitud y personal calificado. Cuenta con un Sistema de Gestión de la Calidad basado en las Normas ISO Guía 34 e ISO/IEC 17025 con lo cual se constituye en una entidad capaz de brindar un servicio integral, confiable y eficaz de aseguramiento metrológico para la industria, la ciencia y el comercio.

La Dirección de Metrología del INACAL cuenta con la cooperación técnica de organismos metrológicos internacionales de alto prestigio tales como: el Physikalisch-Technische Bundesanstalt (PTB) de Alemania; el Centro Nacional de Metrología (CENAM) de México; el National Institute of Standards and Technology (NIST) de USA; el Centro Español de Metrología (CEM) de España; el Instituto Nacional de Tecnología Industrial (INTI) de Argentina; el Instituto Nacional de Metrología (INMETRO) de Brasil; entre otros.

SISTEMA INTERAMERICANO DE METROLOGIA- SIM

El Sistema Interamericano de Metrología (SIM) es una organización regional auspiciado por la Organización de Estados Americanos (OEA), cuya finalidad es promover y fomentar el desarrollo de la metrología en los países americanos. La Dirección de Metrología del INACAL es miembro del SIM a través de la subregión ANDIMET (Bolivia, Colombia, Ecuador, Perú y Venezuela) y participa activamente en las Intercomparaciones realizadas por el SIM.

ANEXO 2:

Plano de zonificación de Lima Metropolitana Puente Piedra.

ANEXO 3:

Reporte fotográfico del monitoreo, punto 1

MONITOREO DE RUIDO AMBIENTAL EN LA PANAMERICANA NORTE ENTRE EL KM 31 Y KM35, PUENTE PIEDRA

I.- DATOS DEL PROYECTO:

PUNTO:	PUNTO 1			Fecha:	02/02/2018
Referencia:	A 50 metros del giro "Norteño".	Distrito:	PUENTE PIEDRA	Provincia:	LIMA
Departamento:	LIMA	Norte	8 688 473	Estado:	0 273899

II.- INFORME FOTOGRAFICO:

ITEM	DESCRIPCION
1.00	VISTA PANORÁMICA 1

ITEM	DESCRIPCION
2.00	VISTA PANORÁMICA 2

ITEM	DESCRIPCION
3.00	VISTA PANORÁMICA 3

ITEM	DESCRIPCION
4.00	VISTA PANORÁMICA 4

ITEM	DESCRIPCION
5.00	VISTA PANORÁMICA 5

ITEM	DESCRIPCION
6.00	VISTA PANORÁMICA 6

MONITOREO DE RUIDO AMBIENTAL EN LA PANAMERICANA NORTE ENTRE EL KM 31 Y KM35, PUENTE PIEDRA

I - DATOS DEL PROYECTO:

PUNTO:	PUNTO 1	Fecha:	02/02/2018
Referencia:	A 50 metros del giro "Noraflo".	DISTRITO:	PUENTE PIEDRA
Departamento:	LIMA	Provincia:	LIMA
		Calle:	8 688 473
		Edificio:	0 272899

ITEM	DESCRIPCION
7.00	VISTA PANORÁMICA 7

ITEM	DESCRIPCION
9.00	RESULTADOS DEL MONITOREO - HORARIO DIURNO

ITEM	DESCRIPCION
8.00	VISTA PANORÁMICA 8

ITEM	DESCRIPCION
10.00	RESULTADOS DEL MONITOREO - HORARIO NOCTURNO

ANEXO 4:

Reporte fotográfico del monitoreo, punto 2

MONITOREO DE RUIDO AMBIENTAL EN LA PANAMERICANA NORTE ENTRE EL KM 31 Y KM35, PUENTE PIEDRA

I.- DATOS DEL PROYECTO:

PUNTO:	PUNTO 2			Fecha:	02/02/2018
Referencia:	A 100 metros del mercado "Tres Regiones".	Distrito:	PUENTE PIEDRA	Provincia:	LIMA
Departamento:	LIMA	Norte:	8 689 569	Este:	0 271 531

II.- INFORME FOTOGRAFICO:

ITEM	DESCRIPCION
1.00	VISTA PANORÁMICA 1

ITEM	DESCRIPCION
2.00	VISTA PANORÁMICA 2

ITEM	DESCRIPCION
3.00	VISTA PANORÁMICA 3

ITEM	DESCRIPCION
4.00	VISTA PANORÁMICA 4

ITEM	DESCRIPCION
5.00	VISTA PANORÁMICA 5

ITEM	DESCRIPCION
6.00	VISTA PANORÁMICA 6

		MONITOREO DE RUIDO AMBIENTAL EN LA PANAMERICANA NORTE ENTRE EL KM 31 Y KM35, PUENTE PIEDRA				
I.- DATOS DEL PROYECTO:						
PUNTO:	PUNTO 2			Fecha:	02/02/2018	
Referencia:	A 100 metros del mercado "Tres Regiones".		Distrib:	PUENTE PIEDRA	Provincia:	LIMA
Departamento	LIMA		Norte	8 889 569	Este	0 271 531
ITEM	DESCRIPCION					
7.00	VISTA PANORÁMICA 7					
ITEM	DESCRIPCION					
9.00	RESULTADOS DEL MONITOREO - HORARIO NOCTURNO					
ITEM	DESCRIPCION					

ANEXO 5:

Reporte fotográfico del monitoreo, punto 3

MONITOREO DE RUIDO AMBIENTAL EN LA PANAMERICANA NORTE ENTRE EL KM 31 Y KM35, PUENTE PIEDRA			
L - DATOS DEL PROYECTO:					
PUNTO:	PUNTO 3			Fecha:	02/02/2018
Referencia:	A 200 metros aproximado del cruce de Ventanilla (km 35 Panamericana Norte)		Distrito:	PUENTE PIEDRA	Provincia: LIMA
Departamento:	LIMA	Norte	8 690 317	Este	0 270543

ITEM	DESCRIPCION
1.00	VISTA PANORÁMICA 1

ITEM	DESCRIPCION
2.00	VISTA PANORÁMICA 2

ITEM	DESCRIPCION
3.00	VISTA PANORÁMICA 3

ITEM	DESCRIPCION
4.00	VISTA PANORÁMICA 4

ITEM	DESCRIPCION
5.00	VISTA PANORÁMICA 5

ITEM	DESCRIPCION
6.00	VISTA PANORÁMICA 6

MONITOREO DE RUIDO AMBIENTAL EN LA PANAMERICANA NORTE ENTRE EL KM 31 Y KM35, PUENTE PIEDRA

I - DATOS DEL PROYECTO:

PUNTO:	PUNTO 3			Fecha:	02/02/2018
Referencia:	A 200 metros aproximado del cruce de Ventanilla (km 35 Panamericana Norte)	Distrito:	PUENTE PIEDRA	Provincia:	LIMA
Departamento:	LIMA	Norte:	8 690 317	Este:	0 270543

ITEM	DESCRIPCION
7.00	VISTA PANORÁMICA 7

ITEM	DESCRIPCION
9.00	RESULTADOS DEL MONITOREO - HORARIO DIURNO

ITEM	DESCRIPCION
8.00	VISTA PANORÁMICA 8

ITEM	DESCRIPCION
10.00	RESULTADOS DEL MONITOREO - HORARIO NOCTURNO

ANEXO 6:

Reporte fotográfico del monitoreo, punto 4

MONITOREO DE RUIDO AMBIENTAL EN LA PANAMERICANA NORTE ENTRE EL KM 31 Y KM35, PUENTE PIEDRA			
I.- DATOS DEL PROYECTO:					
PUNTO:	PUNTO 4			Fecha:	02/02/2018
Referencia:	Km 33 de la Panamericana Norte	Distrito:	PUENTE PIEDRA	Provincia:	LIMA
Departamento	LIMA	Norte	8 689 100	Este	0 272066

ITEM	DESCRIPCION
1.00	VISTA PANORÁMICA 1

ITEM	DESCRIPCION
2.00	VISTA PANORÁMICA 2

ITEM	DESCRIPCION
3.00	VISTA PANORÁMICA 3

ITEM	DESCRIPCION
4.00	VISTA PANORÁMICA 4

ITEM	DESCRIPCION
5.00	VISTA PANORÁMICA 5

ITEM	DESCRIPCION
6.00	VISTA PANORÁMICA 6

MONITOREO DE RUIDO AMBIENTAL EN LA PANAMERICANA NORTE ENTRE EL KM 31 Y KM35, PUENTE PIEDRA

I. - DATOS DEL PROYECTO:

PUNTO:	PUNTO 4	Fecha:	02/02/2018
Referencia:	Km 33 de la Panamericana Norte	Distrito:	PUENTE PIEDRA
Departamento:	LIMA	Provincia:	LIMA
	Norte	Estado:	0 27266

ITEM	DESCRIPCION
7.00	VISTA PANORÁMICA 7

ITEM	DESCRIPCION
9.00	RESULTADOS DEL MONITOREO - HORARIO DIURNO

ITEM	DESCRIPCION
8.00	VISTA PANORÁMICA 8

ITEM	DESCRIPCION
10.00	RESULTADOS DEL MONITOREO - HORARIO NOCTURNO

ANEXO 7:

Reporte fotográfico del monitoreo, punto 5

MONITOREO DE RUIDO AMBIENTAL EN LA PANAMERICANA NORTE ENTRE EL KM 31 Y KM35, PUENTE PIEDRA

I - DATOS DEL PROYECTO:

PUNTO:	PUNTO 4			Fecha:	02/02/2018
Referencia:	A 200 metros a de la bajada del bypass.	Distrito:	PUENTE PIEDRA	Provincia:	LIMA
Departamento	LIMA	Norte	8 687 935	Estado	0 273518

ITEM	DESCRIPCION
1.00	VISTA PANORÁMICA 1

ITEM	DESCRIPCION
2.00	VISTA PANORÁMICA 2

ITEM	DESCRIPCION
3.00	VISTA PANORÁMICA 3

ITEM	DESCRIPCION
4.00	VISTA PANORÁMICA 4

ITEM	DESCRIPCION
5.00	VISTA PANORÁMICA 5

ITEM	DESCRIPCION
6.00	VISTA PANORÁMICA 6

MONITOREO DE RUIDO AMBIENTAL EN LA PANAMERICANA NORTE ENTRE EL KM 31 Y KM35, PUENTE PIEDRA			
L - DATOS DEL PROYECTO:					
PUNTO:	PUNTO 4			Fecha:	02/02/2018
Referencia:	A 200 metros a de la bajada del bypass.	Distrito:	PUENTE PIEDRA	Provincia:	LIMA
Departamento:	LIMA	Norte:	8 687 935	Este:	0 273518

ITEM	DESCRIPCION				
7.00	VISTA PANORÁMICA 7

ITEM	DESCRIPCION				
9.00	RESULTADOS DEL MONITOREO - HORARIO DIURNO				
ITEM	DESCRIPCION				
10.00	RESULTADOS DEL MONITOREO - HORARIO NOCTURNO				

ANEXO 8:

Protocolo nacional de monitoreo de ruido ambiental

PROTOCOLO NACIONAL DE MONITOREO DE RUIDO AMBIENTAL

ANEXO 9:

Decreto Supremo N°085-2003-PCM

Aprueban el Reglamento de Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Ruido

DECRETO SUPREMO Nº 085-2003-PCM

CONCORDANCIAS: R.PRESIDENCIAL. Nº 062-2004-CONAM-PDC, Num. III

EL PRESIDENTE DE LA REPÚBLICA

CONSIDERANDO:

Que, el Artículo 2 inciso 22) de la Constitución Política del Perú establece que es deber primordial del Estado garantizar el derecho de toda persona a gozar de un ambiente equilibrado y adecuado al desarrollo de su vida; constituyendo un derecho humano fundamental y exigible de conformidad con los compromisos internacionales suscritos por el Estado;

Que, el Artículo 67 de la Constitución Política del Perú señala que el Estado determina la política nacional del ambiente;

Que, el Decreto Legislativo Nº 613, Código del Medio Ambiente y los Recursos Naturales, en su Artículo I del Título Preliminar, establece que es obligación de todos la conservación del ambiente y consagra la obligación del Estado de prevenir y controlar cualquier proceso de deterioro o depredación de los recursos naturales que puedan interferir con el normal desarrollo de toda forma de vida y de la sociedad;

Que, el Artículo 105 de la Ley General de Salud, Ley Nº 26842, establece que corresponde a la Autoridad de Salud competente dictar las medidas para minimizar y controlar los riesgos para la salud de las personas derivados de elementos, factores y agentes ambientales, de conformidad con lo que establece, en cada caso, la ley de la materia;

Que, los estándares de calidad ambiental del ruido son un instrumento de gestión ambiental prioritario para prevenir y planificar el control de la contaminación sonora sobre la base de una estrategia destinada a proteger la salud, mejorar la competitividad del país y promover el desarrollo sostenible;

Que, de conformidad con el Reglamento Nacional para la Aprobación de Estándares de Calidad Ambiental y Límites Máximos Permisibles, Decreto Supremo Nº 044-98-PCM, se aprobó el Programa Anual 1999, para estándares de calidad ambiental y límites máximos permisibles, conformándose el Grupo de Estudio Técnico Ambiental "Estándares de Calidad del Ruido" - GESTA RUIDO, con la participación de 18 instituciones públicas y privadas que han cumplido con proponer los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Ruido bajo la coordinación de la Dirección General de Salud Ambiental del Ministerio de Salud;

Que, con fecha 31 de enero de 2003 fue publicado en el Diario Oficial El Peruano el proyecto conteniendo la propuesta del Reglamento de Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Ruido, acompañada de la justificación correspondiente, habiéndose recibido observaciones y sugerencias las que se han incorporado en el proyecto definitivo, el que ha sido remitido a la Presidencia de Consejo de Ministros;

De conformidad con lo dispuesto en el inciso 8) del Artículo 118 de la Constitución Política del Perú y el inciso 2) del Artículo 3 Decreto Legislativo Nº 560, Ley del Poder Ejecutivo;

Con el voto aprobatorio del Consejo de Ministros;

DECRETA:

Artículo 1.- Apruébese el "Reglamento de Estándares Nacionales de Calidad Ambiental

ANEXO 10:

Normatividad ASTM International. ASTM C29, C127, C128, C136, C143, C192, C231,
C232 y C469.

Standard Test Method for Bulk Density ("Unit Weight") and Voids in Aggregate¹

This standard is issued under the fixed designation C 29/C 29M; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reapproval. A superscript epsilon (ϵ) indicates an editorial change since the last revision or reapproval.

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

1. Scope

1.1 This test method covers the determination of bulk density ("unit weight") of aggregate in a compacted or loose condition, and calculated voids between particles in fine, coarse, or mixed aggregates based on the same determination. This test method is applicable to aggregates not exceeding 5 in. [125 mm] in nominal maximum size.

NOTE 1—Unit weight is the traditional terminology used to describe the property determined by this test method, which is weight per unit volume (more correctly, mass per unit volume or density).

1.2 The values stated in either inch-pound units or SI units are to be regarded separately as standard, as appropriate for a specification with which this test method is used. An exception is with regard to sieve sizes and nominal size of aggregate, in which the SI values are the standard as stated in Specification E 11. Within the text, SI units are shown in brackets. The values stated in each system may not be exact equivalents; therefore each system must be used independently of the other, without combining values in any way.

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

2. Referenced Documents

2.1 ASTM Standards:

- C 125 Terminology Relating to Concrete and Concrete Aggregates²
- C 127 Test Method for Density, Relative Density (Specific Gravity), and Absorption of Coarse Aggregate²
- C 128 Test Method for Density, Relative Density (Specific Gravity), and Absorption of Fine Aggregate²
- C 138/C 138M Test Method for Density (Unit Weight), Yield, and Air Content (Gravimetric) of Concrete²
- C 670 Practice for Preparing Precision and Bias Statements

for Test Methods for Construction Materials²

C 702 Practice for Reducing Samples of Aggregate to Testing Size²

D 75 Practice for Sampling Aggregates³

D 123 Terminology Relating to Textiles⁴

E 11 Specification for Wire Cloth and Sieves for Testing Purposes⁵

2.2 AASHTO Standard:

T19/T19M Method of Test for Unit Weight and Voids in Aggregate⁶

3. Terminology

3.1 **Definitions**—Definitions are in accordance with Terminology C 125 unless otherwise indicated.

3.1.1 **bulk density, n** —of aggregate, the mass of a unit volume of bulk aggregate material, in which the volume includes the volume of the individual particles and the volume of the voids between the particles. Expressed in lb/ft³ [kg/m³].

3.1.2 **unit weight, n** —weight (mass) per unit volume. (Deprecated term used—preferred term **bulk density**.)

3.1.2.1 **Discussion**—Weight is equal to the mass of the body multiplied by the acceleration due to gravity. Weight may be expressed in absolute units (newtons, poundals) or in gravitational units (kgf, lbf), for example: on the surface of the earth, a body with a mass of 1 kg has a weight of 1 kgf (approximately 9.81 N), or a body with a mass of 1 lb has a weight of 1 lbf (approximately 4.45 N or 32.2 poundals). Since weight is equal to mass times the acceleration due to gravity, the weight of a body will vary with the location where the weight is determined, while the mass of the body remains constant. On the surface of the earth, the force of gravity imparts to a body that is free to fall an acceleration of approximately 9.81 m/s² (32.2 ft/s²). **D 123.**

3.2 **Definitions of Terms Specific to This Standard:**

3.2.1 **voids, n** —in unit volume of aggregate, the space between particles in an aggregate mass not occupied by solid mineral matter.

¹ This test method is under the jurisdiction of ASTM Committee C09 on Concrete and Concrete Aggregates and is the direct responsibility of Subcommittee C09.20 on Normal Weight Aggregates.

Current edition approved July 10, 1997. Published September 1997. Originally approved in 1920. Last previous edition approved in 1991 as C 29/C 29M – 91a.

² Annual Book of ASTM Standards, Vol 04.02.

³ Annual Book of ASTM Standards, Vol 04.03.

⁴ Annual Book of ASTM Standards, Vol 07.01.

⁵ Annual Book of ASTM Standards, Vol 14.02.

⁶ Available from American Association of State Highway and Transportation Officials, 444 N. Capitol St. NW, Suite 225, Washington, DC 20001.

Standard Test Method for Density, Relative Density (Specific Gravity), and Absorption of Coarse Aggregate¹

This standard is issued under the fixed designation C 127; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reapproval. A superscript epsilon (ϵ) indicates an editorial change since the last revision or reapproval.

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

1. Scope *

1.1 This test method covers the determination of the average density of a quantity of coarse aggregate particles (not including the volume of voids between the particles), the relative density (specific gravity), and the absorption of the coarse aggregate. Depending on the procedure used, the density (kg/m^3 (lb/ft^3)) is expressed as oven-dry (OD), saturated-surface-dry (SSD), or as apparent density. Likewise, relative density (specific gravity), a dimensionless quantity, is expressed as OD, SSD, or as apparent relative density (apparent specific gravity). The OD density and OD relative density are determined after drying the aggregate. The SSD density, SSD relative density, and absorption are determined after soaking the aggregate in water for a prescribed duration.

1.2 This test method is used to determine the density of the essentially solid portion of a large number of aggregate particles and provides an average value representing the sample. Distinction is made between the density of aggregate particles as determined by this test method, and the bulk density of aggregates as determined by Test Method C 29/C 29M, which includes the volume of voids between the particles of aggregates.

1.3 This test method is not intended to be used with lightweight aggregates.

1.4 The values stated in SI units are to be regarded as the standard for conducting the tests. The test results for density shall be reported in either SI units or inch-pound units, as appropriate for the use to be made of the results.

1.5 The text of this test method references notes and footnotes which provide explanatory material. These notes and footnotes (excluding those in tables and figures) shall not be considered as requirements of this test method.

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

bility of regulatory limitations prior to use.

2. Referenced Documents

2.1 ASTM Standards:

- C 29/C 29M Test Method for Bulk Density ("Unit Weight") and Voids in Aggregate²
- C 125 Terminology Relating to Concrete and Concrete Aggregates²
- C 128 Test Method for Density, Relative Density (Specific Gravity), and Absorption of Fine Aggregate²
- C 136 Test Method for Sieve Analysis of Fine and Coarse Aggregates²
- C 566 Test Method for Total Evaporable Moisture Content of Aggregate by Drying²
- C 670 Practice for Preparing Precision and Bias Statements for Test Methods for Construction Materials²
- C 702 Practice for Reducing Samples of Aggregate to Testing Size²
- D 75 Practice for Sampling Aggregates³
- D 448 Classification for Sizes of Aggregate for Road and Bridge Construction³
- E 11 Specification for Wire Cloth and Sieves for Testing Purposes⁴
- 2.2 AASHTO Standard:
- AASHTO No. T 85 Specific Gravity and Absorption of Coarse Aggregate⁵

3. Terminology

3.1 Definitions:

3.1.1 *absorption, n*—the increase in mass of aggregate due to water penetration into the pores of the particles during a prescribed period of time, but not including water adhering to the outside surface of the particles, expressed as a percentage of the dry mass.

3.1.2 *oven-dry (OD), adj*—related to aggregate particles, the condition in which the aggregates have been dried by

¹ This test method is under the jurisdiction of ASTM Committee C09 on Concrete and Concrete Aggregates and is the direct responsibility of Subcommittee C09.20 on Normal Weight Aggregates.

Current edition approved Aug. 10, 2001. Published October 2001. Originally published as C 127 – 36 T. Last previous edition C 127 – 88 (2001).

² *Annual Book of ASTM Standards*, Vol. 04.02.

³ *Annual Book of ASTM Standards*, Vol. 04.03.

⁴ *Annual Book of ASTM Standards*, Vol. 14.02.

⁵ Available from American Association of State Highway and Transportation Officials, 444 North Capitol St. N.W., Suite 225, Washington, DC 20001.

*A Summary of Changes section appears at the end of this standard.

Designation: C 128 – 01¹

Standard Test Method for Density, Relative Density (Specific Gravity), and Absorption of Fine Aggregate¹

This standard is issued under the fixed designation C 128; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reapproval. A superscript epsilon (ϵ) indicates an editorial change since the last revision or reapproval.

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

¹ *NOTE*—Table 1 was revised editorially in August 2003 to correct a typographical error in a value.

1. Scope^a

1.1 This test method covers the determination of the average density of a quantity of fine aggregate particles (not including the volume of voids between the particles), the relative density (specific gravity), and the absorption of the fine aggregate. Depending on the procedure used, the density, in kg/m³ (lb/ft³) is expressed as oven-dry (OD), saturated-surface-dry (SSD), or as apparent density. Likewise, relative density (specific gravity), a dimensionless quality, is expressed as OD, SSD, or as apparent relative density (apparent specific gravity). The OD density and OD relative density are determined after drying the aggregate. The SSD density, SSD relative density, and absorption are determined after soaking the aggregate in water for a prescribed duration.

1.2 This test method is used to determine the density of the essentially solid portion of a large number of aggregate particles and provides an average value representing the sample. Distinction is made between the density of aggregate particles as determined by this test method, and the bulk density of aggregates as determined by Test Method C 29/ C 29M, which includes the volume of voids between the particles of aggregates.

1.3 This test method is not intended to be used for light-weight aggregates.

1.4 The values stated in SI units are to be regarded as the standard for conducting the tests. The test results for density shall be reported in either SI units or inch-pound units, as appropriate for the use to be made of the results.

1.5 The text of this test method references notes and footnotes which provide explanatory material. These notes and footnotes (excluding those in tables and figures) shall not be considered as requirements of this test method.

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

2. Referenced Documents

2.1 ASTM Standards:

- C 29/C 29M Test Method for Bulk Density ("Unit Weight") and Voids in Aggregate²
- C 70 Test Method for Surface Moisture in Fine Aggregate²
- C 125 Terminology Relating to Concrete and Concrete Aggregates²
- C 127 Test Method for Density, Relative Density (Specific Gravity) and Absorption of Coarse Aggregate²
- C 188 Test Method for Density of Hydraulic Cement³
- C 566 Test Method for Total Evaporable Moisture Content of Aggregate by Drying²
- C 670 Practice for Preparing Precision and Bias Statements for Test Methods for Construction Materials²
- C 702 Practice for Reducing Samples of Aggregate to Testing Size²
- D 75 Practice for Sampling Aggregates⁴

2.2 AASHTO Standard:

- AASHTO No. T 84 Specific Gravity and Absorption of Fine Aggregates⁵

3. Terminology

3.1 Definitions:

¹ This test method is under the jurisdiction of ASTM Committee C09 on Concrete and Concrete Aggregates and is the direct responsibility of Subcommittee C09.20 on Normal Weight Aggregates.

Current edition approved Aug. 10, 2001. Published October 2001. Originally published as C 128–36. Last previous edition C 128–97.

² *Annual Book of ASTM Standards*, Vol 04.02.

³ *Annual Book of ASTM Standards*, Vol 04.01.

⁴ *Annual Book of ASTM Standards*, Vol 04.03.

⁵ Available from American Association of State Highway and Transportation Officials, 444 North Capitol St. N.W., Suite 225, Washington, DC 20001.

^aA Summary of Changes section appears at the end of this standard.

Copyright © ASTM International, 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19428-2959, United States.

Designation: C 136 – 01

Standard Test Method for Sieve Analysis of Fine and Coarse Aggregates¹

This standard is issued under the fixed designation C 136; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reapproval. A superscript epsilon (ϵ) indicates an editorial change since the last revision or reapproval.

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

1. Scope^a

1.1 This test method covers the determination of the particle size distribution of fine and coarse aggregates by sieving.

1.2 Some specifications for aggregates which reference this method contain grading requirements including both coarse and fine fractions. Instructions are included for sieve analysis of such aggregates.

1.3 The values stated in SI units are to be regarded as the standard. The values in parentheses are provided for information purposes only. Specification E 11 designates the size of sieve frames with inch units as standard, but in this test method the frame size is designated in SI units exactly equivalent to the inch units.

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

2. Referenced Documents

2.1 *ASTM Standards:*

C 117 Test Method for Materials Finer Than 75- μ m (No. 200) Sieve in Mineral Aggregates by Washing²

C 125 Terminology Relating to Concrete and Concrete Aggregates²

C 670 Practice for Preparing Precision and Bias Statements for Test Methods for Construction Materials²

C 702 Practice for Reducing Field Samples of Aggregate to Testing Size²

D 75 Practice for Sampling Aggregates³

E 11 Specification for Wire-Cloth and Sieves for Testing Purposes⁴

2.2 *AASHTO Standard:*

AASHTO No. T 27 Sieve Analysis of Fine and Coarse Aggregates⁵

3. Terminology

3.1 *Definitions*—For definitions of terms used in this standard, refer to Terminology C 125.

4. Summary of Test Method

4.1 A sample of dry aggregate of known mass is separated through a series of sieves of progressively smaller openings for determination of particle size distribution.

5. Significance and Use

5.1 This test method is used primarily to determine the grading of materials proposed for use as aggregates or being used as aggregates. The results are used to determine compliance of the particle size distribution with applicable specification requirements and to provide necessary data for control of the production of various aggregate products and mixtures containing aggregates. The data may also be useful in developing relationships concerning porosity and packing.

5.2 Accurate determination of material finer than the 75- μ m (No. 200) sieve cannot be achieved by use of this method alone. Test Method C 117 for material finer than 75- μ m sieve by washing should be employed.

6. Apparatus

6.1 *Balances*—Balances or scales used in testing fine and coarse aggregate shall have readability and accuracy as follows:

6.1.1 For fine aggregate, readable to 0.1 g and accurate to 0.1 g or 0.1 % of the test load, whichever is greater, at any point within the range of use.

6.1.2 For coarse aggregate, or mixtures of fine and coarse aggregate, readable and accurate to 0.5 g or 0.1 % of the test load, whichever is greater, at any point within the range of use.

6.2 *Sieves*—The sieve cloth shall be mounted on substantial frames constructed in a manner that will prevent loss of material during sieving. The sieve cloth and standard sieve

¹ This test method is under the jurisdiction of ASTM Committee C09 on Concrete and Concrete Aggregates and is the direct responsibility of Subcommittee C09.20 on Normal Weight Aggregates.

Current edition approved June 10, 2001. Published August 2001. Originally published as C 136 – 38 T. Last previous edition C 136 – 96a.

² *Annual Book of ASTM Standards*, Vol 04.02.

³ *Annual Book of ASTM Standards*, Vol 04.03.

⁴ *Annual Book of ASTM Standards*, Vol 14.02.

⁵ Available from American Association of State Highway and Transportation Officials, 444 North Capitol St. N.W., Suite 225, Washington, DC 20001.

^aA Summary of Changes section appears at the end of this standard.

Copyright © ASTM International, 100 Bar Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19428-2959, United States.

Designation: C 143/C 143M – 03

Standard Test Method for Slump of Hydraulic-Cement Concrete¹

This standard is issued under the fixed designation C 143/C 143M; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reapproval. A superscript epsilon (ϵ) indicates an editorial change since the last revision or reapproval.

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

1. Scope*

1.1 This test method covers determination of slump of hydraulic-cement concrete, both in the laboratory and in the field.

1.2 The values stated in either inch-pound units or SI units are to be regarded separately as standard. Within the text, the SI units are shown in brackets. The values stated in each system are not exact equivalents; therefore, each system shall be used independently of the other. Combining values from the two systems may result in nonconformance with the standard.

1.3 The text of this standard references notes and footnotes which provide explanatory material. These notes and footnotes (excluding those in tables and figures) shall not be considered as requirements of the standard.

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

2. Referenced Documents

2.1 ASTM Standards:

- C 172 Practice for Sampling Freshly Mixed Concrete²
- C 670 Practice for Preparing Precision and Bias Statements for Test Methods for Construction Materials²

3. Summary of Test Method

3.1 A sample of freshly mixed concrete is placed and compacted by rodding in a mold shaped as the frustum of a cone. The mold is raised, and the concrete allowed to subside. The vertical distance between the original and displaced position of the center of the top surface of the concrete is measured and reported as the slump of the concrete.

4. Significance and Use

4.1 This test method is intended to provide the user with a procedure to determine slump of plastic hydraulic-cement concretes.

NOTE 1—This test method was originally developed to provide a technique to monitor the consistency of unhardened concrete. Under laboratory conditions, with strict control of all concrete materials, the slump is generally found to increase proportionally with the water content of a given concrete mixture, and thus to be inversely related to concrete strength. Under field conditions, however, such a strength relationship is not clearly and consistently shown. Care should therefore be taken in relating slump results obtained under field conditions to strength.

4.2 This test method is considered applicable to plastic concrete having coarse aggregate up to 1½ in. [37.5 mm] in size. If the coarse aggregate is larger than 1½ in. [37.5 mm] in size, the test method is applicable when it is performed on the fraction of concrete passing a 1½-in. [37.5-mm] sieve, with the larger aggregate being removed in accordance with the section titled “Additional Procedure for Large Maximum Size Aggregate Concrete” in Practice C 172.

4.3 This test method is not considered applicable to non-plastic and non-cohesive concrete.

NOTE 2—Concretes having slumps less than ½ in. [15 mm] may not be adequately plastic and concretes having slumps greater than about 9 in. [230 mm] may not be adequately cohesive for this test to have significance. Caution should be exercised in interpreting such results.

5. Apparatus

5.1 *Mold*—The test specimen shall be formed in a mold made of metal not readily attacked by the cement paste. The metal shall not be thinner than 0.060 in. [1.5 mm] and if formed by the spinning process, there shall be no point on the mold at which the thickness is less than 0.045 in. [1.15 mm]. The mold shall be in the form of the lateral surface of the frustum of a cone with the base 8 in. [200 mm] in diameter, the top 4 in. [100 mm] in diameter, and the height 12 in. [300 mm]. Individual diameters and heights shall be within $\pm 1/16$ in. [3 mm] of the prescribed dimensions. The base and the top shall be open and parallel to each other and at right angles to the axis of the cone. The mold shall be provided with foot pieces and

¹ This test method is under the jurisdiction of ASTM Committee C09 on Concrete and Concrete Aggregates and is the direct responsibility of Subcommittee C09.60 on Fresh Concrete Testing.

Current edition approved July 10, 2003. Published September 2003. Originally approved in 1922. Last previous edition approved in 2000 as C 143/C 143M – 00.

² Annual Book of ASTM Standards, Vol 04.02.

*A Summary of Changes section appears at the end of this standard.

Copyright © ASTM International, 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19428-2959, United States.

Designation: C 192/C 192M – 02

Standard Practice for Making and Curing Concrete Test Specimens in the Laboratory¹

This standard is issued under the fixed designation C 192/C 192M; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reapproval. A superscript epsilon (ϵ) indicates an editorial change since the last revision or reapproval.

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

1. Scope

1.1 This practice covers procedures for making and curing test specimens of concrete in the laboratory under accurate control of materials and test conditions using concrete that can be consolidated by rodding or vibration as described herein.

1.2 The values stated in either inch-pound units or SI units shall be regarded separately as standard. The SI units are shown in brackets. The values stated in each system are not exact equivalents; therefore, each system shall be used independently of each other. Combining values from the two systems may result in nonconformance.

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

2. Referenced Documents

2.1 ASTM Standards:

- C 31/C 31M Practice for Making and Curing Concrete Test Specimens in the Field²
- C 70 Test Method for Surface Moisture in Fine Aggregate²
- C 125 Terminology Relating to Concrete and Concrete Aggregates²
- C 127 Test Method for Density, Relative Density (Specific Gravity) and Absorption of Coarse Aggregate²
- C 128 Test Method for Density, Relative Density (Specific Gravity) and Absorption of Fine Aggregate²
- C 138 Test Method for Unit Weight, Yield, and Air Content (Gravimetric) of Concrete²
- C 143/C 143M Test Method for Slump of Hydraulic Cement Concrete²
- C 172 Practice for Sampling Freshly Mixed Concrete²
- C 173 Test Method for Air Content of Freshly Mixed Concrete by the Volumetric Method²

C 231 Test Method for Air Content of Freshly Mixed Concrete by the Pressure Method²

C 330 Specification for Lightweight Aggregates for Structural Concrete²

C 403/C 403M Test Method for Time of Setting of Concrete Mixtures by Penetration Resistance²

C 470/C 470M Specification for Molds for Forming Concrete Test Cylinders Vertically²

C 511 Specification for Moist Cabinets, Moist Rooms, and Water Storage Tanks Used in the Testing of Hydraulic Cements and Concretes³

C 566 Test Method for Total Moisture Content of Aggregate by Drying²

C 617 Practice for Capping Cylindrical Concrete Specimens²

C 1064 Test Method for Temperature of Freshly Mixed Portland-Cement Concrete²

C 1077 Practice for Laboratories Testing Concrete and Concrete Aggregates for Use in Construction and Criteria for Laboratory Evaluation²

2.2 American Concrete Institute Publications: ⁴

- 211.3 Practice for Selecting Proportions for No-Slump Concrete
- 309 Guide for Concrete Consolidation

3. Significance and Use

3.1 This practice provides standardized requirements for preparation of materials, mixing concrete, and making and curing concrete test specimens under laboratory conditions.

3.2 If specimen preparation is controlled as stipulated herein, the specimens may be used to develop information for the following purposes:

- 3.2.1 Mixture proportioning for project concrete,
- 3.2.2 Evaluation of different mixtures and materials,
- 3.2.3 Correlation with nondestructive tests, and
- 3.2.4 Providing specimens for research purposes.

NOTE 1—The concrete test results for concrete specimens made and cured using this practice are widely used. They may be the basis for

¹ This practice is under the jurisdiction of ASTM Committee C09 on Concrete and Concrete Aggregates and is the direct responsibility of Subcommittee C09.61 on Testing for Strength.

Current edition approved Aug. 10, 2002. Published October 2002. Originally published as C 192 – 44 T. Last previous edition C 192 – 00.

² Annual Book of ASTM Standards, Vol 04.02.

³ Annual Book of ASTM Standards, Vol 04.01.

⁴ Available from the American Concrete Institute, P.O. Box 9094, Farmington Hills, MI 48333-9094.

Designation: C 231 – 03

Standard Test Method for Air Content of Freshly Mixed Concrete by the Pressure Method¹

This standard is issued under the fixed designation C 231; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reapproval. A superscript epsilon (ϵ) indicates an editorial change since the last revision or reapproval.

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

1. Scope^{*}

1.1 This test method covers determination of the air content of freshly mixed concrete from observation of the change in volume of concrete with a change in pressure.

1.2 This test method is intended for use with concretes and mortars made with relatively dense aggregates for which the aggregate correction factor can be satisfactorily determined by the technique described in Section 6. It is not applicable to concretes made with lightweight aggregates, air-cooled blast-furnace slag, or aggregates of high porosity. In these cases, Test Method C 173/C 173M should be used. This test method is also not applicable to nonplastic concrete such as is commonly used in the manufacture of pipe and concrete masonry units.

1.3 The text of this test method references notes and footnotes that provide explanatory information. These notes and footnotes (excluding those in tables and figures) shall not be considered as requirements of this standard.

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

1.5 *This standard does not purport to address all of the safety concerns, if any, associated with its use. It is the responsibility of the user of this standard to establish appropriate safety and health practices and determine the applicability of regulatory limitations prior to use. (Warning—Fresh hydraulic cementitious mixtures are caustic and may cause chemical burns to skin and tissue upon prolonged exposure.)*²

2. Referenced Documents

2.1 ASTM Standards:

- C 138/C 138M Test Method for Density (Unit Weight), Yield, and Air Content (Gravimetric) of Concrete³
- C 172 Practice for Sampling Freshly Mixed Concrete³

¹ This test method is under the jurisdiction of ASTM Committee C09 on Concrete and Concrete Aggregates, and is the direct responsibility of Subcommittee C09.60 on Testing Fresh Concrete.

Current edition approved July 10, 2003. Published September 2003. Originally approved in 1949. Last previous edition approved in 1997 as C 231 – 97¹.

² Section on Safety Precautions, Manual of Aggregate and Concrete Testing, Annual Book of ASTM Standards, Vol 04.02.

³ Annual Book of ASTM Standards, Vol 04.02.

C 173/C 173M Test Method for Air Content of Freshly Mixed Concrete by the Volumetric Method³

C 192/C 192M Practice for Making and Curing Concrete Test Specimens in the Laboratory³

C 670 Practice for Preparing Precision and Bias Statements for Test Methods for Construction Materials³

E 177 Practice for Use of the Terms Precision and Bias in ASTM Test Methods⁴

3. Significance and Use

3.1 This test method covers the determination of the air content of freshly mixed concrete. The test determines the air content of freshly mixed concrete exclusive of any air that may exist inside voids within aggregate particles. For this reason, it is applicable to concrete made with relatively dense aggregate particles and requires determination of the aggregate correction factor (see 6.1 and 9.1).

3.2 This test method and Test Method C 138/C 138M and C 173/C 173M provide pressure, gravimetric, and volumetric procedures, respectively, for determining the air content of freshly mixed concrete. The pressure procedure of this test method gives substantially the same air contents as the other two test methods for concretes made with dense aggregates.

3.3 The air content of hardened concrete may be either higher or lower than that determined by this test method. This depends upon the methods and amount of consolidation effort applied to the concrete from which the hardened concrete specimen is taken; uniformity and stability of the air bubbles in the fresh and hardened concrete; accuracy of the microscopic examination, if used; time of comparison; environmental exposure; stage in the delivery, placement and consolidation processes at which the air content of the unhardened concrete is determined, that is, before or after the concrete goes through a pump; and other factors.

4. Apparatus

4.1 *Air Meters*—There are available satisfactory apparatus of two basic operational designs employing the principle of Boyle's law. For purposes of reference herein these are designated Meter Type A and Meter Type B.

⁴ Annual Book of ASTM Standards, Vol 14.02.

^{*}A Summary of Changes section appears at the end of this standard.

Copyright © ASTM International, 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19380-2959, United States.

Standard Test Methods for Bleeding of Concrete¹

This standard is issued under the fixed designation C 232; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reapproval. A superscript epsilon (ϵ) indicates an editorial change since the last revision or reapproval.

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

1. Scope

1.1 These test methods cover the determination of the relative quantity of mixing water that will bleed from a sample of freshly mixed concrete. Two test methods, that differ primarily in the degree of vibration to which the concrete sample is subjected, are included.

1.2 The two test methods are not expected to yield the same test results when samples of concrete from the same batch are tested by each method. When various concretes are to be compared, all the tests must be conducted using the same method, and if the batches are of similar unit weight, the sample masses shall not differ by more than 1 kg (2 lb).

1.3 The values stated in SI units are to be regarded as standard. The values in parentheses are provided for information purposes only.

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

2. Referenced Documents

2.1 ASTM Standards:

- C 138 Test Method for Unit Weight, Yield, and Air Content (Gravimetric) of Concrete²
- C 172 Practice for Sampling Freshly Mixed Concrete²
- C 192 Practice for Making and Curing Concrete Test Specimens in the Laboratory²
- C 670 Practice for Preparing Precision and Bias Statements for Test Methods for Construction Materials²

3. Significance and Use

3.1 This test method provides procedures to be used for determining the effect of variables of composition, treatment, environment, or other factors in the bleeding of concrete. It is also permitted to be used to determine the conformance of a product or treatment with a requirement relating to its effect on bleeding of concrete.

¹ These test methods are under the jurisdiction of ASTM Committee C-9 on Concrete and Concrete Aggregates and are the direct responsibility of Subcommittee C09.60 on Fresh Concrete Testing.

Current edition approved July 10, 1999. Published September 1999. Originally published as C 232 – 1949. Last previous edition C 232 – 92.

² Annual Book of ASTM Standards, Vol 04.02.

3.2 *Method A*—For a sample consolidated by rodding only and tested without further disturbance, thus simulating conditions in which the concrete, after placement, is not subjected to intermittent vibration.

3.3 *Method B*—For a sample consolidated by vibration and tested with further intermittent periods of vibration, thus simulating conditions in which concrete, after being placed, is subjected to intermittent vibration.

METHOD A—SAMPLE CONSOLIDATED BY TAMPING

4. Apparatus

4.1 *Container*—A cylindrical container of approximately 14L ($\frac{1}{2}$ -ft³) capacity, having an inside diameter of 255 ± 5 mm ($10 \pm \frac{1}{4}$ in.) and an inside height of 280 ± 5 mm ($11 \pm \frac{1}{4}$ in.). The container shall be made of metal having a thickness of 2.67 to 3.40 mm (0.105 to 0.134 in.) and shall be externally reinforced around the top with a 2.67 to 3.40 mm (0.105 to 0.134 in.) metal band, 40 mm ($1\frac{1}{2}$ in.) wide. The inside shall be smooth and free of corrosion, coatings, or lubricants.

4.2 *Scale*, of sufficient capacity to determine the mass of the load required with an accuracy of 0.5 %.

4.3 *Pipet*, or similar instrument, for drawing off free water from the surface of the test specimen.

4.4 *Glass Graduate*, 100-mL capacity for collecting and measuring the quantity of water withdrawn.

4.5 *Tamping Rod*—A round, straight steel rod, 16 mm ($\frac{5}{8}$ in.) in diameter and approximately 610 mm (24 in.) in length, having the tamping end rounded to a hemispherical tip, the diameter of which is 16 mm ($\frac{5}{8}$ in.).

4.6 *Metal Beaker (Optional)*—A 1000-mL metal beaker for collecting the decanted supernatant water and sludge (Note 1).

4.7 *Balance (Optional)*—A balance sensitive to 1 g for determining the mass of the decanted water and sludge (Note 1).

4.8 *Hot Plate (Optional)*—A small electric hot plate or other source of heat for evaporating decanted water (Note 1).

NOTE 1—The apparatus listed in 4.6, 4.7, and 4.8 will be required if the procedure of measuring the amount of bleeding water recovered is one involving weighing, evaporation, and reweighing.

5. Test Specimen

5.1 For concrete made in the laboratory prepare the concrete

Designation: C 469 – 02

Standard Test Method for Static Modulus of Elasticity and Poisson's Ratio of Concrete in Compression¹

This standard is issued under the fixed designation C 469; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reapproval. A superscript epsilon (ϵ) indicates an editorial change since the last revision or reapproval.

1. Scope

1.1 This test method covers determination of (1) chord modulus of elasticity (Young's) and (2) Poisson's ratio of molded concrete cylinders and diamond-drilled concrete cores when under longitudinal compressive stress. Chord modulus of elasticity and Poisson's ratio are defined in Terminology E 6.

1.2 The values stated in inch-pound units are to be regarded as the standard.

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

2. Referenced Documents

2.1 ASTM Standards:

C 31/C 31M Practice for Making and Curing Concrete Test Specimens in the Field²

C 39/C 39M Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens²

C 42/C 42M Test Method for Obtaining and Testing Drilled Cores and Sawed Beams of Concrete²

C 174/C 174M Test Method for Measuring Thickness of Concrete Elements Using Drilled Concrete Cores²

C 192/C 192M Practice for Making and Curing Concrete Test Specimens in the Laboratory²

C 617 Practice for Capping Cylindrical Concrete Specimens²

E 4 Practices for Force Verification of Testing Machines³

E 6 Terminology Relating to Methods of Mechanical Testing³

E 83 Practice for Verification and Classification of Extensometer³

E 177 Practice for Use of the Terms Precision and Bias in ASTM Test Methods⁴

3. Significance and Use

3.1 This test method provides a stress to strain ratio value and a ratio of lateral to longitudinal strain for hardened concrete at whatever age and curing conditions may be designated.

3.2 The modulus of elasticity and Poisson's ratio values, applicable within the customary working stress range (0 to 40 % of ultimate concrete strength), are used in sizing of reinforced and nonreinforced structural members, establishing the quantity of reinforcement, and computing stress for observed strains.

3.3 The modulus of elasticity values obtained will usually be less than moduli derived under rapid load application (dynamic or seismic rates, for example), and will usually be greater than values under slow load application or extended load duration, given other test conditions being the same.

4. Apparatus

4.1 *Testing Machine*—Use a testing machine capable of imposing a load at the rate and of the magnitude prescribed in 6.4. The machine shall conform to the requirements of Practices E 4 (Constant-Rate-of-Traverse CRT-Type Testing Machines section). The spherical head and bearing blocks shall conform to the Apparatus Section of Test Method C 39/C 39M.

4.2 *Compressometer*⁵—For determining the modulus of elasticity use a bonded (Note 1) or unbonded sensing device that measures to the nearest 5 millionths the average deformation of two diametrically opposite gage lines, each parallel to the axis, and each centered about midheight of the specimen. The effective length of each gage line shall be not less than three times the maximum size of the aggregate in the concrete nor more than two thirds the height of the specimen; the preferred length of the gage line is one half the height of the specimen. Either use gage points embedded in or cemented to the specimen, and read deformation of the two lines independently; or use a compressometer (such as is shown in Fig. 1) consisting of two yokes, one of which (see B, Fig. 1) is rigidly attached to the specimen and the other (see C, Fig. 1) attached at two diametrically opposite points so that it is free to rotate.

¹ This test method is under the jurisdiction of ASTM Committee C09 on Concrete and Concrete Aggregates and is the direct responsibility of Subcommittee C09.61 on Testing for Strength.

Current edition approved Aug. 10, 2002. Published October 2002. Originally published as C 469 – 61. Last previous edition C 469 – 94¹.

² Annual Book of ASTM Standards, Vol 04.02.

³ Annual Book of ASTM Standards, Vol 03.01.

⁴ Annual Book of ASTM Standards, Vol 14.02.

⁵ Copies of working drawings of strain measuring apparatus are available from ASTM International Headquarters, 100 Barr Harbor Drive, West Conshohocken, PA 19428. Request adjunct No. AD/C0469.

ANEXO 11:

Normas Técnicas Peruanas (NTP). NTP 339.033 y NTP 400.012

**NORMA TÉCNICA
PERUANA**

**NTP 339.033
2009**

Comisión de Normalización y de Fiscalización de Barreras Comerciales No Arancelarias - INDECOPI
Calle de La Prosa 138, San Borja (Lima 41) Apartado 145
Lima, Perú

**HORMIGÓN (CONCRETO). Práctica normalizada para la
elaboración y curado de especímenes de concreto en campo**

CONCRETE. Standard practice for making and curing concrete test specimens in the field

Esta Norma Técnica Peruana adoptada por el INDECOPI está basada en la Norma ASTM C 31/C 31M-2008b Standard Practice for Making and Curing Concrete Test Specimens in the Field, Derecho de autor de ASTM International, 100 Barr Harbor Drive, West Conshohocken, PA 19428, USA. -Reimpreso por autorización de ASTM International

**2009-08-26
3ª Edición**

R.026-2009/INDECOPI-CNB. Publicada el 2009-09-13

Precio basado en 17 páginas

I.C.S.: 91.100.30

ESTA NORMA ES RECOMENDABLE

Descriptores: Hormigón, concreto, práctica normalizada, elaboración, curado, especímenes de concreto

**NORMA TÉCNICA
PERUANA**

**NTP 400.012
2001**

Comisión de Reglamentos Técnicos y Comerciales-INDECOPI
Calle de La Prosa 138, San Borja (Lima 41) Apartado 145

Lima, Perú

AGREGADOS. Análisis granulométrico del agregado fino, grueso y global

AGGREGATES. Standard test method for sieve analysis of fine, coarse and global aggregates

**2001-05-31
2ª Edición**

R.0071-2001/INDECOPI-CRT. Publicada el 2001-06-17

Precio basado en 14 páginas

I.C.S.: 91.100.30

ESTA NORMA ES RECOMENDABLE

Descriptores: Agregado, agregado grueso, agregado fino, serie, gradación, análisis por tamizado, análisis granulométrico

ANEXO 12:

Normas ACI. ACI 211.1-91

Standard Practice for Selecting Proportions for Normal, Heavyweight, and Mass Concrete (ACI 211.1-91)

(Reapproved 2002)

Reported by ACI Committee 211

Donald E. Dixon,
Chairman

Jack R. Prestrera,
Secretary

George R. U. Burg,*
Chairman, Subcommittee A

Edward A. Abdun-Nur*
Stanley G. Barton
Leonard W. Bell*
Stanley J. Blas, Jr.
Ramon L. Carrasquillo
Peggy M. Carrasquillo
Alan C. Carter
Martyn T. Conrey
James E. Cook
Russell A. Cook*
William A. Cordon
Wayne J. Costa

David A. Crocker
Kenneth W. Day
Calvin L. Dodl
Thomas A. Fox
Donald A. Graham
George W. Hollon
William W. Hotaling, Jr.
Robert S. Jenkins
Paul Klieger
Frank J. Lahm
Stanley H. Lee
Gary R. Mass*

Mark A. Mearing
Richard C. Meininger*
Richard W. Narva
Leo P. Nicholson
James E. Oliverson
James S. Pierce
Sandor Popovics*
Steven A. Ragan
Harry C. Robinson
Jere H. Rose*
James A. Scherocman
James M. Shilstone*

George B. Southworth
Alfred B. Spamer
Paul R. Stodola
Michael A. Taylor
Stanley J. Vigalitte
William H. Voelker
Jack W. Weber*
Dean J. White II
Milton H. Willis, Jr.
Francis C. Wilson
Robert Yuan

Committee Members Voting on 1991 Revision

Gary R. Mass†
Chairman

George R. U. Burg†
Chairman, Subcommittee A

Edward A. Abdun-Nur†
William L. Barringer†
Stanley G. Barton
Leonard W. Bell†
James E. Bennett, Jr.
J. Floyd Best
Ramon L. Carrasquillo
James E. Cook†
Russell A. Cook

David A. Crocker
Luis H. Diaz
Donald E. Dixon†
Calvin L. Dodl
Thomas A. Fox
George W. Hollon
Tarif M. Jaher
Stephen M. Lane
Stanley H. Lee

Richard C. Meininger†
James E. Oliverson
James S. Pierce
Sandor Popovics
Steven A. Ragan
Jere H. Rose†
Donald L. Schlegel
James M. Shilstone, Sr.
Paul R. Stodola

William S. Sypher
Ava Scypula
Jimmie L. Thompson†
Stanley J. Vigalitte
Woodward L. Vogt
Jack W. Weber
Dean J. White, III
Marshall S. Williams
John R. Wilson

Describes, with examples, two methods for selecting and adjusting proportions for normal weight concrete, both with and without chemical admixtures pozzolanic, and slag materials. One method is based on an estimated weight of the concrete per unit volume; the other is based on calculations of the absolute volume occupied by the concrete ingredients. The procedures take into consideration the requirements for placeability, consistency, strength, and durability. Example calculations are shown for both methods, including adjustments based on the characteristics of the first trial batch.

The proportioning of heavyweight concrete for such purposes as radiation shielding and bridge counterweight structures is described in an appendix. This appendix uses the absolute volume method, which is generally accepted and is more convenient for heavyweight concrete.

There is also an appendix that provides information on the proportioning of mass concrete. The absolute volume method is used because of its general acceptance.

Keywords: absorption; admixtures; aggregates; blast-furnace slag; cementitious materials; concrete durability; concretes; consistency; durability; exposure; fine aggregates; fly ash; heavyweight aggregate; heavy weight concrete; mass concrete; proportioning; pozzolans; quality control; radiation shielding; silica fume; slump tests; volume; water-cement ratio; water-cementitious ratio; workability.

ACI Committee Reports, Guides, Standard Practices, and Commentaries are intended for guidance in designing, planning, executing, or inspecting construction and in preparing specifications. Reference to these documents shall not be made in the Project Documents. If items found in these documents are desired to be part of the Project Documents they should be phrased in mandatory language and incorporated into the Project Documents.

CONTENTS

Chapter 1-Scope, p. 211.1-2

Chapter 2-Introduction, p. 211.1-2

Chapter 3-Basic relationship, p. 211.1-2

Chapter 4-Effects of chemical admixtures, pozzolanic, and other materials on concrete proportions, p. 211.1-4

* Members of Subcommittee A who prepared this standard. The committee acknowledges the significant contribution of William L. Barringer to the work of the subcommittee.

† Members of Subcommittee A who prepared the 1991 revision.

This standard supersedes ACI 211.1-89. It was revised by the Expedited Standardization procedure, effective Nov. 1, 1991. This revision incorporates provisions related to the use of the mineral admixture silica fume in concrete. Chapter 4 has been expanded to cover in detail the effects of the use of silica fume on the proportions of concrete mixtures. Editorial changes have also been made in Chapters 2 through 4, and Chapters 6 through 8.

Copyright © 1991, American Concrete Institute.

All rights reserved including rights of reproduction and use in any form or by any means, including the making of copies by any photo process, or by any electronic or mechanical device, printed, written, or oral, or recording for sound or visual reproduction or for use in any knowledge or retrieval system or device, unless permission in writing is obtained from the copyright proprietors.

ANEXO 13:

Norma UNE-EN ISO 10534-1

Julio 2002

TÍTULO	<p>Acústica</p> <p>Determinación del coeficiente de absorción acústica y de la impedancia acústica en tubos de impedancia</p> <p>Parte 1: Método del rango de onda estacionaria</p> <p>(ISO 10534-1:1996)</p> <p><i>Acoustics. Determination of sound absorption coefficient and impedance in impedances tubes. Part 1: Method using standing wave ratio. (ISO 10534-1:1996)</i></p> <p><i>Acoustique. Détermination du facteur d'absorption acoustique et de l'impédance acoustique à l'aide du tube d'impédance. Partie 1 : Méthode du taux d'ondes stationnaires (ISO 10534-1:1996)</i></p>
CORRESPONDENCIA	<p>Esta norma es la versión oficial, en español, de la Norma Europea EN ISO 10534-1 de junio de 2001, que a su vez adopta íntegramente la Norma Internacional ISO 10534-1:1996.</p>
OBSERVACIONES	<p>En esta norma UNE se han incorporado las correcciones a la Norma EN 10534-1 recibidas mediante escrito de CEN de fecha 25 de julio de 2001.</p>
ANTECEDENTES	<p>Esta norma ha sido elaborada por el comité técnico AEN/CTN 74 <i>Acústica</i> cuya Secretaría desempeña AENOR.</p>

Editada e impresa por AENOR
Depósito legal: M 33427-2002

© AENOR 2002
Reproducción prohibida

LAS OBSERVACIONES A ESTE DOCUMENTO HAN DE DIRIGIRSE A:

AENOR

Asociación Española de
Normalización y Certificación

C Génova, 6
28004 MADRID-España

Teléfono 91 432 60 00
Fax 91 310 40 32

35 Páginas

Grupo 22

ANEXO 14:

ISO 10534-2

INTERNATIONAL STANDARD

**ISO
10534-2**

First edition
1998-11-15

Acoustics — Determination of sound absorption coefficient and impedance in impedance tubes —

Part 2: Transfer-function method

*Acoustique — Détermination du facteur d'absorption acoustique
et de l'impédance des tubes d'impédance —*

Partie 2: Méthode de la fonction de transfert

Reference number
ISO 10534-2:1998(E)

ANEXO 15

Informe fotográfico del concreto estructural

INFORME FOTOGRÁFICO DE DISEÑO DE MEZCLA Y ENSAYOS DEL CONCRETO ESTRUCTURAL			
I.- DATOS DEL PROYECTO:					
Detalle:	CONCRETO ESTRUCTURAL	Fecha Inicio:	19/07/2018	Fecha Final:	08/11/2018
Laboratorio:	UPC - HUB	Distrito:	SAN MIGUEL	Provincia:	LIMA
Departamento:	LIMA	SIAM:	3°-4°	RESISTENCIA:	210 kg/cm ²
II.- GRANULOMETRÍA DE LOS AGREGADOS:

ITEM	DESCRIPCION				
1.00	GRANULOMETRIA DE AGREGADOS

ITEM	DESCRIPCION				
3.00	AGREGADO FINO

ITEM	DESCRIPCION				
4.00	TAMISES DE AGREGADO FINO				
III.- CONTENIDO DE HUMEDAD DE LOS AGREGADOS:

ITEM	DESCRIPCION				
5.00	CONTENIDO DE HUMEDAD

ITEM	DESCRIPCION				
6.00	CONTENIDO DE HUMEDAD - PESO EN ESTADO NATURAL AGREGADOS

INFORME FOTOGRÁFICO DE DISEÑO DE MEZCLA Y ENSAYOS DEL CONCRETO ESTRUCTURAL			
I.- DATOS DEL PROYECTO:					
Detalle:	CONCRETO ESTRUCTURAL	Fecha Inicio:	19/07/2018	Fecha final:	08/11/2018
Laboratorio:	UPC - HUB	Distribo:	SAN MIGUEL	Provincia:	LIMA
Departamento:	LIMA	SIAM:	3°-4°	RESISTENCIA:	21.0 kg/cm ²

ITEM	DESCRIPCION				
7.00	CONTENIDO DE HUMEDAD - PESO SECO AGREGADO GRUESO

ITEM	DESCRIPCION				
8.00	CONTENIDO DE HUMEDAD - PESO SECO AGREGADO FINO				
IV.- PESO UNITARIO DE LOS AGREGADOS:

ITEM	DESCRIPCION				
9.00	ENSAYO DE PESO UNITARIO DE LOS AGREGADOS

ITEM	DESCRIPCION				
11.00	PESO DEL AGREGADO FINO COMPACTADO

ITEM	DESCRIPCION				
12.00	PESO DEL RECIPIENTE PARA AGREGADO GRUESO

INFORME FOTOGRÁFICO DE DISEÑO DE MEZCLA Y ENSAYOS DEL CONCRETO ESTRUCTURAL			
I.- DATOS DEL PROYECTO:					
Detalle:	CONCRETO ESTRUCTURAL	Fecha Inicio:	19/07/2018	Fecha final:	08/11/2018
Laboratorio:	UPC - HUB	Distribo:	SAN MIGUEL	Provincia:	LIMA
Departamento	LIMA	SIAM:	3°-4°	RESISTENCIA:	210 kg/m ³

ITEM	DESCRIPCION				
13.00	PESO DEL AGREGADO GRUESO SUELTO				
ITEM	DESCRIPCION				
14.00	PESO DEL AGREGADO GRUESO COMPACTADO				
V.- PESO ESPECÍFICO DEL AGREGADO FINO:

ITEM	DESCRIPCION				
15.00	PESO ESPECIFICO DEL AGREGADO FINO - VERIFICACIÓN DE NIVEL DE SATURACIÓN				
ITEM	DESCRIPCION				
16.00	PESO ESPECIFICO DEL AGREGADO FINO EN LA FIOLA				
VI.- DISEÑO DE MEZCLA:

ITEM	DESCRIPCION				
17.00	EQUIPAMIENTO Y MATERIALES PARA EL DISEÑO DE MEZCLAS				
ITEM	DESCRIPCION				
18.00	MEZCLADORA DE 120L OLCLRAFT, PARA CONCLUIR LA DOSIFICAR EL CONCRETO DISEÑADO

INFORME FOTOGRÁFICO DE DISEÑO DE MEZCLA Y ENSAYOS DEL CONCRETO ESTRUCTURAL				
I.- DATOS DEL PROYECTO:						
Detalle:	CONCRETO ESTRUCTURAL	Fecha Inicio:	19/07/2018	Fecha final:	08/11/2018	
Laboratorio:	UPC - HUB	Distrito:	SAN MIGUEL	Provincia:	LIMA	
Departamento:	LIMA	SIAM:	3°-4°	RESISTENCIA:	210 kg/cm ²

ITEM	DESCRIPCION	ITEM	DESCRIPCION
19.00	KIT CONO ABRAMS PARA MEDIR LA CONSISTENCIA MEDIANTE EL ENSAYO "SLUMP"	20.00	PROBETAS ESTANDARIZADAS DE 4"x8" EL CONCRETO Y REALIZAR LAS PRUEBAS DE COMPRESIÓN SIMPLE

ITEM	DESCRIPCION	ITEM	DESCRIPCION
21.00	PESO DEL CEMENTO	22.00	PESO DEL AGUA POTABLE

ITEM	DESCRIPCION	ITEM	DESCRIPCION
23.00	PESO DEL AGREGADO GRUESO	24.00	PESO DEL AGREGADO FINO

INFORME FOTOGRÁFICO DE DISEÑO DE MEZCLA Y ENSAYOS DEL CONCRETO ESTRUCTURAL

I.- DATOS DEL PROYECTO:					
Detalle:	CONCRETO ESTRUCTURAL	Fecha Inicio:	19/07/2018	Fecha final:	08/11/2018
Laboratorio:	UPC - HUB	Distrito:	SAN MIGUEL	Provincia:	LIMA
Departamento:	LIMA	SIAM:	3"-4"	RESISTENCIA:	210 kg/cm ²

ITEM	DESCRIPCION	ITEM	DESCRIPCION
25.00	SE PROCEDIÓ A HECHAR LOS MATERIALES A LA MEZCLADORA	26.00	SE PROCEDIÓ CON LA MEZCLA SEGÚN DOSIFICACIÓN DISEÑADA

VII.- ENSAYO DE ASENTAMIENTO "SLUMP":

ITEM	DESCRIPCION	ITEM	DESCRIPCION
27.00	SE VACIO EL CONCRETO EN EL CONO DE ABRAMS, EN 3 CAPAS CON 25 GOLPES CON LA VARELLA	28.00	SE PROCEDIÓ A LIMPIAR LA SUPERFICIE Y LOS BORDES DEL CONO
ITEM	DESCRIPCION	ITEM	DESCRIPCION
29.00	SE PROCEDIÓ A RETIRAR EL CONO Y SE APRECIA EL ASENTAMIENTO	30.00	SE PROCEDIÓ A MEDIR EL ASENTAMIENTO, LO CUAL SALIÓ ENTRE 3" Y 4"

INFORME FOTOGRÁFICO DE DISEÑO DE MEZCLA Y ENSAYOS DEL CONCRETO ESTRUCTURAL				
I.- DATOS DEL PROYECTO:						
Detalle:	CONCRETO ESTRUCTURAL	Fecha Inicio:	19/07/2018	Fecha Final:	08/11/2018	
Laboratorio:	UPC - HUB	Distrito:	SAN MIGUEL	Provincia:	LIMA	
Departamento:	LIMA	SLAM:	3°-4°	RESISTENCIA:	210 kg/cm ²	
VIII.- ENSAYO DE COMPRESIÓN SIMPLE (A LOS 7 DÍAS):

ITEM	DESCRIPCION					
31.00	AL DÍA SIGUIENTE SE PROCEDIÓ A RETIRAR LOS TESTIGOS DE LAS PROBETAS

ITEM	DESCRIPCION					
32.00	TESTIGOS LISTOS, EN PROCESO DE CURADO. SIGUIENTE PASO SERÁ EL ENSAYO A COMPRESIÓN SIMPLE					
ITEM	DESCRIPCION					
33.00	ENSAYO DE COMPRESIÓN 1 A LOS 7 DÍAS (P1D7)

ITEM	DESCRIPCION					
35.00	ESTADO DEL ENSAYO P1D7					
ITEM	DESCRIPCION					
34.00	EL RESULTADO DEL ENSAYO P1D7 ES 14560 KG

ITEM	DESCRIPCION					
36.00	ENSAYO DE COMPRESIÓN 2 A LOS 7 DÍAS (P2D7)

INFORME FOTOGRÁFICO DE DISEÑO DE MEZCLA Y ENSAYOS DEL CONCRETO ESTRUCTURAL				
L- DATOS DEL PROYECTO:						
Detalle:	CONCRETO ESTRUCTURAL	Fecha Inicio:	19/07/2018	Fecha Final:	08/11/2018	
Laboratorio:	UPC - HUB	Distrito:	SAN MIGUEL	Provincia:	LIMA	
Departamento:	LIMA	SIAM:	3°-4°	RESISTENCIA:	210 kg/cm ²

ITEM	DESCRIPCION					
37.00	EL RESULTADO DEL ENSAYO P2D7 ES 1 2375 KG

ITEM	DESCRIPCION					
38.00	ESTADO DEL ENSAYO P2D7

ITEM	DESCRIPCION					
39.00	ENSAYO DE COMPRESIÓN 3 A LOS 7 DÍAS (P3D7)

ITEM	DESCRIPCION					
41.00	ESTADO DEL ENSAYO P3D7

ITEM	DESCRIPCION					
42.00

INFORME FOTOGRÁFICO DE DISEÑO DE MEZCLA Y ENSAYOS DEL CONCRETO ESTRUCTURAL							
I.- DATOS DEL PROYECTO:									
Detalle:	CONCRETO ESTRUCTURAL	Fecha Inicio:	19/07/2018	Fecha final:	08/11/2018				
Laboratorio:	UPC - HUB	Distrito:	SAW MIGUEL	Provincia:	LIMA				
Departamento	LIMA	SIAM:	3°-4°	RESISTENCIA:	210 kg/cm²				
VIII.- ENSAYO DE COMPRESIÓN SIMPLE (A LOS 14 DÍAS):

ITEM	DESCRIPCION								
43.00	ENSAYO DE COMPRESIÓN 1 A LOS 14 DÍAS (P1D14)

ITEM	DESCRIPCION								
45.00	ESTADO DEL ENSAYO P1D14

ITEM	DESCRIPCION								
47.00	EL RESULTADO DEL ENSAYO P2D 14 ES 17545 KG								
ITEM	DESCRIPCION								
48.00	ESTADO DEL ENSAYO P2D14								

		INFORME FOTOGRÁFICO DE DISEÑO DE MEZCLA Y ENSAYOS DEL CONCRETO ESTRUCTURAL			
I.- DATOS DEL PROYECTO:					
Detalle:	CONCRETO ESTRUCTURAL	Fecha Inicio:	19/07/2018	Fecha final:	08/11/2018
Laboratorio:	UPC - HUB	Distribto:	SAN MIGUEL	Provincia:	LIMA
Departamento:	LIMA	SIAM:	3°-4°	RESISTENCIA:	210 kg/cm ²
VIII.- ENSAYO DE COMPRESIÓN SIMPLE (A LOS 14 DÍAS):					
ITEM	DESCRIPCION				
49.00	ENSAYO DE COMPRESIÓN 3 A LOS 14 DÍAS (P3D14)				
ITEM	DESCRIPCION				
51.00	ESTADO DEL ENSAYO P3D14				
ITEM	DESCRIPCION				
52.00	ENSAYO DE COMPRESIÓN 1 A LOS 28 DÍAS (P1D28)				
ITEM	DESCRIPCION				
53.00	EL RESULTADO DEL ENSAYO P1D28 ES 19130 KG

INFORME FOTOGRÁFICO DE DISEÑO DE MEZCLA Y ENSAYOS DEL CONCRETO ESTRUCTURAL			
I.- DATOS DEL PROYECTO:					
Detalle:	CONCRETO ESTRUCTURAL	Fecha Inicio:	19/07/2018	Fecha final:	08/11/2018
Laboratorio:	UPC - HUB	Distrito:	SAN MIGUEL	Provincia:	LIMA
Departamento:	LIMA	SIAM:	3°-F	RESISTENCIA:	21.0 kg/cm²
VIII.- ENSAYO DE COMPRESIÓN SIMPLE (A LOS 14 DÍAS):

ITEM	DESCRIPCION				
54.00	ESTADO DEL ENSAYO P1D28

ITEM	DESCRIPCION				
57.00	EL RESULTADO DEL ENSAYO P1D28 ES 18425 KG				
ITEM					
ITEM

ITEM	DESCRIPCION				
55.00	ENSAYO DE COMPRESIÓN 2 A LOS 28 DÍAS (P2D28)

ITEM	DESCRIPCION				
58.00	ESTADO DEL ENSAYO P2D28				
ITEM					
ITEM					

ANEXO 16

Informe fotográfico del concreto ligero

ANEXO 16 - INFORME FOTOGRÁFICO DE DISEÑO DE MEZCLA Y ENSAYOS DEL CONCRETO LIGERO			
1.- DATOS DEL PROYECTO:					
Detalle:	CONCRETO LIGERO CON VIRUTA Y ASERRIN	Fecha Inicio:	20/06/2018	Fecha Fin:	22/11/2018
Dirección:	SAN PEQUEL - HUI	Distribuidor:	SAN PEQUEL	Provincia:	LIMA
Departamento:	LIMA				
11.- PRUEBA 1:

ITEM	DESCRIPCION				
1.00	AGREGADOS DEL CONCRETO LIGERO - VIRUTA Y ASERRIN RESPECTIVAMENTE

ITEM	DESCRIPCION				
2.00	PESO DEL AGREGADO 1 - VIRUTA

ITEM	DESCRIPCION				
3.00	PESO DEL AGREGADO 2 - ASERRIN

ITEM	DESCRIPCION				
4.00	PESO DEL AGUA POTABLE

ITEM	DESCRIPCION				
5.00	MEDICIÓN DEL RECIPIENTE PARA ENSAYO ACÚSTICO

ITEM	DESCRIPCION				
6.00	MEZCLA DEL CONCRETO LIGERO

ANEXO 16 - INFORME FOTOGRÁFICO DE DISEÑO DE MEZCLA Y ENSAYOS DEL CONCRETO LIGERO			
I.- DATOS DEL PROYECTO:					
Detalle:	CONCRETO LIGERO CON VIRUTA Y ASERRIN	Fecha inicio:	20/09/2018	Fecha final:	02/11/2018
Dirección:	SAN PEGUEL - RUB	Distribución:	SAN PEGUEL	Provincia:	LIPA
Departamento:	LIPA

ITEM	DESCRIPCION	ITEM	DESCRIPCION		
7.00	VACIADO EN RECIPIENTES PARA ENSAYOS ACUSTICOS	8.00	ESPECIMENES A LOS 7 DIAS

ITEM	DESCRIPCION	ITEM	DESCRIPCION		
7.00	ESPECIMENES SECADOS A HORNO	8.00	ESPECIMENES SECADOS A HORNO		
II.- PRUEBA 2:

ITEM	DESCRIPCION	ITEM	DESCRIPCION		
9.00	MATERIALES PARA LA SEGUNDA PRUEBA DEL CONCRETO LIGERO A BASE CON ASERRIN Y VIRUTA COMO AGREGADO	10.00	PESO DE LA VIRUTA SEGUN DISEÑO DE MEZCLA EMPÍRICO

ANEXO 16 - INFORME FOTOGRÁFICO DE DISEÑO DE MEZCLA Y ENSAYOS DEL CONCRETO LIGERO			
I.- DATOS DEL PROYECTO:					
Detalle:	CONCRETO LIGERO CON VIRUTA Y ASERRIN	Fecha Inicio:	20/09/2018	Fecha final:	20/11/2018
Dirección:	SAN PÉDRO DE MACORIS	Distribución:	SAN PÉDRO DE MACORIS	Provincia:	LIMA
Departamento:	LIMA

ITEM	DESCRIPCION	ITEM	DESCRIPCION		
11.00	PESO DEL ASERRIN SEGÚN DISEÑO DE MEZCLA EMPRICO	12.00	PESO DEL CEMENTO SEGÚN DISEÑO DE MEZCLA EMPRICO

ITEM	DESCRIPCION	ITEM	DESCRIPCION		
IV.- PRUEBA 3:					
13.00	PESO DEL AGUA SEGÚN DISEÑO DE MEZCLA EMPRICO, SE AGREGO 0.10 LITRO ADICIONAL DE AGUA	14.00	ESPECIMENES SECADO AL HORNO

ITEM	DESCRIPCION	ITEM	DESCRIPCION		
15.00	PESO DEL CEMENTO SEGÚN DISEÑO DE MEZCLA EMPRICO,	16.00	PESO DEL AGUA SEGÚN DISEÑO DE MEZCLA EMPRICO,

ANEXO 16 - INFORME FOTOGRÁFICO DE DISEÑO DE MEZCLA Y ENSAYOS DEL CONCRETO LIGERO			
I.- DATOS DEL PROYECTO:					
Detalle:	CONCRETO LIGERO CON VIRUTA Y ASERRIN	Fecha Inicio:	20/05/2018	Fecha Fin:	22/11/2018
Dirección:	SAN PEGUEL - HUB	Dirección:	SAN PEGUEL	Provincia:	LIPA
Departamento:	LIPA

ITEM	DESCRIPCION	ITEM	DESCRIPCION		
17.00	PESO DE LA VIRUTA SEGUN DISEÑO DE MEZCLA EMPIRICO,	18.00	PESO DEL ASERRIN SEGUN DISEÑO DE MEZCLA EMPIRICO,

ITEM	DESCRIPCION	ITEM	DESCRIPCION		
19.00	MEZCLA DE LOS MATERIALES	20.00	SLUMP DEL CONCRETO LIGERO (ENTRE 4" Y 5")

ITEM	DESCRIPCION	ITEM	DESCRIPCION		
21.00	PANEL DE 1.50m x 0.40m x 0.07m	22.00	ESPECIMENES SECADO AL HORNO

ANEXO 16 - INFORME FOTOGRÁFICO DE DISEÑO DE MEZCLA Y ENSAYOS DEL CONCRETO LIGERO			
I.- DATOS DEL PROYECTO:					
Detalle:	CONCRETO LIGERO CON VIRUTA Y AGERRON	Fecha Inicio:	20/05/2018	Fecha final:	20/11/2018
Dirección:	SAN PEGUEL - HUB	Distribo:	SAN PEGUEL	Provincia:	LIMA
Departamento:	LIMA				
V.- MUESTRAS

ITEM	DESCRIPCION				
23.00	PANEL DE 1.50X0.40X0.07M - VACIADO

ITEM	DESCRIPCION				
24.00	MUESTRAS PARA ENSAYO DE ABSORCIÓN ACUSTICAS A LOS 10 DÍAS

ITEM	DESCRIPCION				
25.00	MUESTRAS PARA ENSAYO DE ABSORCIÓN ACUSTICAS A LOS 10 DÍAS

ITEM	DESCRIPCION				
26.00	PANEL DE 1.50X0.40X0.07M - A LOS 7 DÍAS

ITEM	DESCRIPCION				
27.00	ESPESOR DE MUESTRA 1 A ENSAYAR: 0.07m

ITEM	DESCRIPCION				
28.00	ESPESOR DE MUESTRA 2 A ENSAYAR: 0.06m y ESPESOR DE MUESTRA 3 A ENSAYAR: 0.067m				

ANEXO 17

Ensayo de absorción

REPORTE TÉCNICO

MEDICION DE IMPEDANCIA ACÚSTICA

Solicitante: **Sr. Waldir Eduardo Gutierrez Anca**

Fecha: 5 de Diciembre de 2018

ANTECEDENTES

Como parte de un proyecto de investigación en las características de absorción de materiales constructivos, el Sr. Waldir Gutierrez contacta al laboratorio de Acústica de la Pontificia Universidad Católica del Perú solicitando la realización de mediciones de absorción acústica de un conjunto de muestras por realizarse con la técnica del Tubo de impedancia.

Los párrafos siguientes reportan los procedimientos y detalles de las mediciones realizadas por el laboratorio de Acústica.

1.- PROCEDIMIENTO DE MEDICIÓN

El método aplicado en la realización de este reporte para la medición de la impedancia acústica consiste en la ubicación de la muestra por analizar en un tubo de ondas estacionarias con dos micrófonos de registro.

El procedimiento implica la medición de los niveles de presión sonora de frentes de onda incidentes y reflejados de señales acústicas aleatorias. Las propiedades de los frentes de onda reflejados se ven afectadas por las propiedades de absorción de la muestra ubicada en un extremo del tubo.

Diagrama esquemático del sistema de medición

El coeficiente de absorción es calculado a partir de las respuestas de frecuencia de las señales obtenidas entre los micrófonos (H_i), entre las respuestas de frecuencias de las ondas incidentes (H_i) y de las ondas reflejadas (H_r) según las expresiones generales mostradas en la imagen siguiente:

$$R = \left(\frac{H_1 - H_i}{H_r - H_1} \right) e^{j2k(l+s)} \quad \frac{z}{\rho c} = \frac{1+R}{1-R} \quad \alpha = 1 - |R|^2$$

Coeficiente de absorción calculado a partir de la impedancia acústica

La forma, tamaño y ubicación correcta de la muestra es crítica para la obtención de las mediciones; idealmente dicha muestra debe tener el diámetro exacto del tubo de impedancia y su espesor debe ser uniforme en toda su superficie, además deberá ser construida de manera que su superficie sea perfectamente perpendicular al eje longitudinal del tubo.

Cabe indicar que la curva de absorción obtenida con este método corresponde a la incidencia normal solamente y en un ancho de banda definido entre los límites de **343 Hz y 1800 Hz**, límites impuestos por las dimensiones del tubo de impedancia disponible. Se debe indicar también que una curva de absorción para incidencia aleatoria solamente puede ser medida en cámara reverberante, ensayo que no está bajo los alcances del servicio prestado.

2.- INSTRUMENTACIÓN

Los instrumentos utilizados en la generación de este informe técnico se detallan a continuación:

Av. Universitaria 1801, San Miguel
Lima - Perú
Tel (511) 626 2506 / 6262000
Fax (511) 6262863

innovapucp@pucp.edu.pe
www.pucp.edu.pe/innovapucp

Instrumentos Utilizados

2 micrófonos Brüel & Kjaer 4187
2 preamplificador Brüel & Kjaer 2670
1 Amplificador Harman/Kardon HK 980
1 analizador Brüel & Kjaer 3160 – A - 042
1 Tubo de impedancia
1 computadora Lenovo 20FVA13H00
Software Pulse LabShop Version 22.2.0.98

3.- RESULTADOS

En seguida se muestra una imagen resumen de los resultados hallados en el análisis de las muestras provistas:

Arreglo de instrumentación y muestras evaluadas

Av. Universitaria 1801, San Miguel
Lima - Perú
Tel (511) 626 2506 / 6262000
Fax (511) 6262863

innovapucp@pucp.edu.pe
www.pucp.edu.pe/innovapucp

Como parte del procedimiento de calibración del dispositivo usado, la curva #4 reporta la absorción de una muestra de lana de vidrio de 1" de espesor, curva consistente con los datos de absorción esperados para este material.

En esta imagen se observan también las curvas de absorción de las muestras **#1, #2** y **#3** en banda angosta respectivamente, resultados cuyos detalles individuales se expondrán en las hojas de registro anexas a este documento.

La grafica anterior también muestra dos anomalías (encerradas en círculos punteados) las cuales aparecen por una discrepancia ligera de los diámetros de los elementos que portan las muestras y el diámetro del tubo de impedancia. Cabe indicar que la propuesta técnica de este servicio responsabilizaba totalmente al solicitante la construcción adecuada de dichos elementos. Se puede decir que aún con la presencia de estas anomalías, los resultados obtenidos pueden considerarse como fiables.

4.- CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos se presentan detalladamente en las hojas de registro anexos al presente documento.

Los resultados se presentan en la forma de curvas de absorción por tercios de octava en la banda de frecuencia del ancho de banda efectivo del tubo de impedancia disponible.

Se indica el índice NRC (Noise Reduction coefficient), el cual estrictamente tendría que ser calculado como el promedio aritmético de los valores de absorción por tercios de octava en un ancho de banda de 20 a 20kHz. En nuestro caso se calcula este índice en el ancho de banda disponible.

En forma resumida los índices NRC de las muestras provistas son:

Muestra	NRC
#1	0.23
#2	0.15
#3	0.19

5.- ANEXOS

- HOJA DE REGISTRO 1
- HOJA DE REGISTRO 2
- HOJA DE REGISTRO 3

Ing Richard Rivera Campos
Laboratorio de Acústica
Ingeniero - Jefe

Medida de Absorción Acústica en Tubo de Impedancia

Hoja de Registro #: 1
 Cliente: Sr. Waldir Eduardo Gutierrez Anca
 Espécimen: #1
 Condiciones de Medición:
 Temperatura: 23°C
 Humedad Relativa: 80%
 Excitación: Ruido Aleatorio Blanco
 Fecha de Medición: 30_Nov_2018

Frecuencia (Hz)	Absorción
400	0.26
500	0.24
630	0.22
800	0.2
1000	0.18
1250	0.21
1600	0.29

NRC	0.23
------------	-------------

Ingeniero Responsable:
	Richard Rivera Campos Laboratorio de Acústica Ingeniero Jefe

Medida de Absorción Acústica en Tubo de Impedancia

Hoja de Registro #: 2
 Cliente: Sr. Waldir Eduardo Gutierrez Anca
 Espécimen: #2
 Condiciones de Medición:
 Temperatura: 23°C
 Humedad Relativa: 80%
 Excitación: Ruido Aleatorio Blanco
 Fecha de Medición: 30_Nov_2018

Frecuencia (Hz)	Absorción
400	0.15
500	0.14
630	0.16
800	0.13
1000	0.11
1250	0.13
1600	0.23

NRC	0.15
------------	-------------

Ingeniero Responsable:
	Richard Rivera Campos Laboratorio de Acústica Ingeniero Jefe

Medida de Absorción Acústica en Tubo de Impedancia

Hoja de Registro #: 3
 Cliente: Sr. Waldir Eduardo Gutierrez Anca
 Espécimen: #3
 Condiciones de Medición:
 Temperatura 23°C
 Humedad Relativa 80%
 Excitación: Ruido Aleatorio Blanco
 Fecha de Medición: 30_Nov_2018

Frecuencia (Hz)	Absorción
400	0.15
500	0.15
630	0.2
800	0.17
1000	0.17
1250	0.2
1600	0.29

NRC	0.19
-----	------

Ingeniero Responsable:
	Richard Rivera Campos Laboratorio de Acústica Ingeniero Jefe