



UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA
GESTIÓN DE BIBLIOTECAS



CARTA DE AUTORIZACIÓN

CÓDIGO

AP-BIB-FO-06

VERSIÓN

1

VIGENCIA

2014

PÁGINA

1 de 2

Neiva, 30 de agosto de 2024

Señores

CENTRO DE INFORMACIÓN Y DOCUMENTACIÓN

UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA

Ciudad: Neiva

El (Los) suscrito(s):

María Valentina Aya Bustos, con C.C. No. 1193073394,

Juan Manuel Castro Zambrano, con C.C. No. 1005096426,

_____, con C.C. No. _____,

_____, con C.C. No. _____,

Autor(es) de la tesis y/o trabajo de grado o _____

titulado Evaluación de las propiedades acústicas del mortero con reemplazo parcial de ceniza de cascarilla de arroz.

presentado y aprobado en el año 2024 como requisito para optar al título de

Ingeniero Civil;

Autorizo (amos) al CENTRO DE INFORMACIÓN Y DOCUMENTACIÓN de la Universidad Surcolombiana para que, con fines académicos, muestre al país y el exterior la producción intelectual de la Universidad Surcolombiana, a través de la visibilidad de su contenido de la siguiente manera:

- Los usuarios puedan consultar el contenido de este trabajo de grado en los sitios web que administra la Universidad, en bases de datos, repositorio digital, catálogos y en otros sitios web, redes y sistemas de información nacionales e internacionales "open access" y en las redes de información con las cuales tenga convenio la Institución.
- Permita la consulta, la reproducción y préstamo a los usuarios interesados en el contenido de este trabajo, para todos los usos que tengan finalidad académica, ya sea en formato Cd-Rom o digital desde internet, intranet, etc., y en general para cualquier formato conocido o por conocer, dentro de los términos establecidos en la Ley 23 de 1982, Ley 44 de 1993, Decisión Andina 351 de 1993, Decreto 460 de 1995 y demás normas generales sobre la materia.
- Continúo conservando los correspondientes derechos sin modificación o restricción alguna; puesto que, de acuerdo con la legislación colombiana aplicable, el presente es un acuerdo jurídico que en ningún caso conlleva la enajenación del derecho de autor y sus conexos.

Vigilada Mineducación

La versión vigente y controlada de este documento, solo podrá ser consultada a través del sitio web Institucional www.usco.edu.co, link Sistema Gestión de Calidad. La copia o impresión diferente a la publicada, será considerada como documento no controlado y su uso indebido no es de responsabilidad de la Universidad Surcolombiana.



UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA GESTIÓN DE BIBLIOTECAS



CARTA DE AUTORIZACIÓN

CÓDIGO

AP-BIB-FO-06

VERSIÓN

1

VIGENCIA

2014

PÁGINA

2 de 2

De conformidad con lo establecido en el artículo 30 de la Ley 23 de 1982 y el artículo 11 de la Decisión Andina 351 de 1993, “Los derechos morales sobre el trabajo son propiedad de los autores”, los cuales son irrenunciables, imprescriptibles, inembargables e inalienables.

EL AUTOR/ESTUDIANTE:

María Valentina Aya Bustos

Firma: Valentina Aya B.

EL AUTOR/ESTUDIANTE:

Juan Manuel Castro Zambrano

Firma: JMCZ

EL AUTOR/ESTUDIANTE:

Firma: _____

EL AUTOR/ESTUDIANTE:

Firma: _____

Vigilada Mineducación

La versión vigente y controlada de este documento, solo podrá ser consultada a través del sitio web Institucional www.usco.edu.co, link Sistema Gestión de Calidad. La copia o impresión diferente a la publicada, será considerada como documento no controlado y su uso indebido no es de responsabilidad de la Universidad Surcolombiana.

	UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA GESTIÓN DE BIBLIOTECAS					   	
	DESCRIPCIÓN DE LA TESIS Y/O TRABAJOS DE GRADO						
CÓDIGO	AP-BIB-FO-07	VERSIÓN	1	VIGENCIA	2014	PÁGINA	1 de 3

TÍTULO COMPLETO DEL TRABAJO: Evaluación de las propiedades acústicas del mortero con reemplazo parcial de ceniza de cascarilla de arroz.

AUTOR O AUTORES:

Primero y Segundo Apellido	Primero y Segundo Nombre
Aya Bustos	María Valentina
Castro Zambrano	Juan Manuel

DIRECTOR Y CODIRECTOR TESIS:

Primero y Segundo Apellido	Primero y Segundo Nombre
Andrade Martínez	William Javier

ASESOR (ES):

Primero y Segundo Apellido	Primero y Segundo Nombre

PARA OPTAR AL TÍTULO DE: Ingeniero Civil

FACULTAD: Ingeniería

PROGRAMA O POSGRADO: Ingeniería Civil

CIUDAD: Neiva **AÑO DE PRESENTACIÓN:** 2024 **NÚMERO DE PÁGINAS:** 108 (Sin anexos incluidos)

TIPO DE ILUSTRACIONES (Marcar con una X):

Vigilada Mineducación

La versión vigente y controlada de este documento, solo podrá ser consultada a través del sitio web Institucional www.usco.edu.co, link Sistema Gestión de Calidad. La copia o impresión diferente a la publicada, será considerada como documento no controlado y su uso indebido no es de responsabilidad de la Universidad Surcolombiana.

	UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA GESTIÓN DE BIBLIOTECAS					   	
	DESCRIPCIÓN DE LA TESIS Y/O TRABAJOS DE GRADO						
CÓDIGO	AP-BIB-FO-07	VERSIÓN	1	VIGENCIA	2014	PÁGINA	2 de 3

Diagramas X Fotografías X Grabaciones en discos Ilustraciones en general X Grabados
Láminas Litografías Mapas Música impresa Planos Retratos Sin ilustraciones Tablas
o Cuadros X

SOFTWARE requerido y/o especializado para la lectura del documento:

MATERIAL ANEXO:

- A. Complemento del Marco Teórico
- B. Registro Fotográfico
- C. Parámetros de diseño del equipo de prueba según la ISO 10534-2
- D. Recolección Bibliográfica de reemplazo de cemento por RHA
- E. Datos de la Muestra: Resistencia a la Compresión
- F. Informes de Análisis Estadísticos por Statgraphics
- G. Datos de la Muestra: Sortividad
- H. Hojas de Cálculo para la obtención de propiedades acústicas
- I. Análisis de Precios Unitarios (APU's)

PREMIO O DISTINCIÓN *(En caso de ser LAUREADAS o Meritoria):*

PALABRAS CLAVES EN ESPAÑOL E INGLÉS:

<u>Español</u>	<u>Inglés</u>	<u>Español</u>	<u>Inglés</u>
1. <u>Ceniza</u>	<u>Ash</u>	6. <u>Arroz</u>	<u>Rice</u>
2. <u>Reemplazo</u>	<u>Replacement</u>	7. <u>Acústica</u>	<u>Acoustic</u>
3. <u>Compresión</u>	<u>Compression</u>	8. <u> </u>	<u> </u>
4. <u>Sortividad</u>	<u>Sorptivity</u>	9. <u> </u>	<u> </u>
5. <u>Impedancia</u>	<u>Impedance</u>	10. <u> </u>	<u> </u>

RESUMEN DEL CONTENIDO: (Máximo 250 palabras)

La contaminación por medio de residuos y de sonido resultan perjudicial para el bienestar y la salud de las personas, es por ello por lo que conceptos como aprovechamiento de



DESCRIPCIÓN DE LA TESIS Y/O TRABAJOS DE GRADO

CÓDIGO

AP-BIB-FO-07

VERSIÓN

1

VIGENCIA

2014

PÁGINA

3 de 3

residuos y confort acústico resuenan en la sociedad actual. La ceniza de cascarilla de arroz (RHA) ha pasado de ser un residuo a ser un material utilizado en diferentes sectores industriales, dentro de los principales se encuentra el reemplazo de material cementante debido a las propiedades que es capaz de otorgarle a las mezclas de concreto y mortero. En este estudio se evaluaron propiedades de resistencia a la compresión, sortividad e impedancia acústica en mezclas de mortero, analizando estadísticamente 228 muestras divididas en diferentes ensayos para determinar un porcentaje de reemplazo parcial de cemento por RHA que mostrara un comportamiento similar o favorable respecto a los morteros de alta resistencia, obteniendo como resultado más favorable el 10% de reemplazo con una resistencia a la compresión de 24.935 MPa y un coeficiente de absorción acústica en los picos de resonancia (495 y 1445 Hz) de 0.9173 y 0.0549 respectivamente.

ABSTRACT: (Máximo 250 palabras)

Pollution through waste and sound is detrimental to people's well-being and health, which is why concepts such as waste utilization and acoustic comfort resonate in today's society. Rice husk ash (RHA) has gone from being a waste to being a material used in different industrial sectors, among the main ones is the replacement of cementitious material due to the properties it is capable of giving to concrete and mortar mixtures. In this study, properties of compression resistance, sorptivity and acoustic impedance in mortar mixtures are evaluated, statistically analyzing 228 samples divided into different tests to determine a percentage of partial replacement of cement by RHA that will show a similar or favorable behavior with respect to the high resistance mortars, obtaining as the most favorable result 10% replacement with a compressive strength of 24.935 MPa and an acoustic absorption coefficient in the resonance peaks (495 and 1445 Hz) of 0.9173 and 0.0549 respectively.

APROBACION DE LA TESIS

Nombre Presidente Jurado: Carlos Rodolfo Marín Uribe, Dr.

Firma:

Nombre Jurado: Mauricio Duarte Toro, Mg.

Firma:

Nombre Jurado: Henry Mauricio Castillo Salgado, Ing.

Firma:



Evaluación de las propiedades acústicas del mortero con reemplazo parcial de ceniza de cascarilla de arroz.

María Valentina Aya Bustos

Juan Manuel Castro Zambrano

Universidad Surcolombiana

Facultad de Ingeniería, Departamento de Ingeniería Civil

Neiva, Colombia

2024

Evaluación de las propiedades acústicas del mortero con reemplazo parcial de ceniza de cascarilla de arroz.

María Valentina Aya Bustos

Juan Manuel Castro Zambrano

Proyecto de grado presentada(o) como requisito parcial para optar al título de:

Ingeniero Civil

Director (a):

William Javier Andrade Martínez

Línea de Investigación:

Materiales de construcción, tecnología del concreto y gestión ambiental

Universidad Surcolombiana

Facultad de Ingeniería, Departamento de Ingeniería Civil

Neiva, Colombia

2024

*A nuestros padres, nuestras familias, nuestros
profesores y nuestros amigos 🍷*

Agradecimientos

A nuestros padres por su apoyo incondicional a lo largo de nuestra vida académica, este logro es en honor a los sacrificios constantes que han hecho por nosotros, a sus palabras de aliento en los momentos difíciles y a su confianza en cada paso que hemos dado en esta etapa de nuestras vidas. A nuestro director de tesis el Ing. William Javier Andrade Martínez por su guía, sus conocimientos, su disposición y su confianza en nosotros. A nuestros respetados profesores, por su orientación, paciencia y colaboración, a través de sus respuestas han ayudado a la realización de este proyecto. A los estudiantes, egresados, amigos y demás personas que generosamente colaboraron y se involucraron en este estudio. Nuestros amigos profesionales que solventaron nuestra ignorancia en otras disciplinas del conocimiento. Por último, agradecemos a nuestros amigos y seres queridos por su constante ánimo, comprensión y alegría compartida durante este emocionante viaje, por cada una de esas palabras que nos sirvieron de apoyo cuando más lo necesitamos. Este logro no habría sido posible sin el apoyo incondicional de todas estas personas. Nos sentimos profundamente agradecidos y honrados por haber contado con su presencia en este camino académico.

Resumen

La contaminación por medio de residuos y de sonido resultan perjudicial para el bienestar y la salud de las personas, es por ello por lo que conceptos como aprovechamiento de residuos y confort acústico resuenan en la sociedad actual. La ceniza de cascarilla de arroz (RHA) ha pasado de ser un residuo a ser un material utilizado en diferentes sectores industriales, dentro de los principales se encuentra el reemplazo de material cementante debido a las propiedades que es capaz de otorgarle a las mezclas de concreto y mortero. En este estudio se evaluaron propiedades de resistencia a la compresión, sortividad e impedancia acústica en mezclas de mortero, analizando estadísticamente 228 muestras divididas en diferentes ensayos para determinar un porcentaje de reemplazo parcial de cemento por RHA que mostrara un comportamiento similar o favorable respecto a los morteros de alta resistencia, obteniendo como resultado más favorable el 10% de reemplazo con una resistencia a la compresión de 24.935 MPa y un coeficiente de absorción acústica en los picos de resonancia (495 y 1445 Hz) de 0.9173 y 0.0549 respectivamente.

Palabras clave: (Ceniza, Reemplazo, Compresión, Sortividad, Impedancia, Acústica, Arroz).

Abstract

Pollution through waste and sound is detrimental to people's well-being and health, which is why concepts such as waste utilization and acoustic comfort resonate in today's society. Rice husk ash (RHA) has gone from being a waste to being a material used in different industrial sectors, among the main ones is the replacement of cementitious material due to the properties it is capable of giving to concrete and mortar mixtures. In this study, properties of compression resistance, sorptivity and acoustic impedance in mortar mixtures are evaluated, statistically analyzing 228 samples divided into different tests to determine a percentage of partial replacement of cement by RHA that will show a similar or favorable behavior with respect to the high resistance mortars, obtaining as the most favorable result 10% replacement with a compressive strength of 24.935 MPa and an acoustic absorption coefficient in the resonance peaks (495 and 1445 Hz) of 0.9173 and 0.0549 respectively.

Keywords: (Ash, Replacement, Compression, Sorptivity, Impedance, Acoustic, Rice).

Contenido

	Pág.
Agradecimientos	VII
Resumen	VIII
Lista de figuras	XIII
Lista de tablas	XV
Lista de Símbolos y abreviaturas.....	XVII
Capítulo 1.....	19
1. Introducción	19
1.1 Antecedentes	20
1.2 Justificación	23
1.3 Objetivos	27
1.3.1 Objetivo general	27
1.3.2 Objetivos específicos	27
1.4 Estructura del documento	27
Capítulo 2.....	29
2. Marco teórico	29
2.1 Etapa 1: Desempeño mecánico y durabilidad.....	29
2.1.1 Morteros	29
2.1.2 Ceniza de cascarilla de arroz (RHA)	30
2.2 Etapa 2: Desempeño acústico.....	30
2.2.1 Fundamentos de ensayo de impedancia acústica	30
2.2.2 Principios de las ondas de sonido	31
2.3 Etapa 3: Definición de porcentaje óptimo	35

2.3.1	Análisis estadístico.....	35
2.3.2	Análisis descriptivo.....	35
2.3.3	Análisis de Varianza (ANOVA)	37
2.3.4	Regresión Lineal	37
2.3.5	Análisis comparativo	38
2.4	Etapla 4: Análisis económico.....	38
2.4.1	Arroz en el Huila	38
2.4.2	Cascarilla de arroz	39
2.4.3	Ceniza de cascarilla de arroz (RHA)	39
2.4.4	Análisis de precios unitario.....	39
Capítulo 3.....		41
3.	Metodología.....	41
3.1	Diseño de investigación	41
3.1.1	Nivel de investigación	41
3.1.2	Variables.....	41
3.1.3	Operacionalización de la variable	42
3.1.4	Población y muestra	43
3.1.5	Técnicas e instrumentos de recolección de datos	43
3.1.6	Método de análisis de datos.....	44
3.2	Etapla 1: Desempeño mecánico y durabilidad.....	44
3.2.1	Definición de los porcentajes de reemplazo de RHA.....	44
3.2.2	Abreviaturas	44
3.2.3	Diseño de mezcla	44
3.2.4	Muestras	45
3.2.5	Resistencia a la compresión	47
3.2.6	Análisis estadístico: Resistencia a la compresión	47
3.2.7	Sortividad	48
3.2.8	Análisis estadístico: Sortividad	48
3.3	Etapla 2: Desempeño acústico.....	49
3.3.1	Principio del ensayo.....	49
3.3.2	Elementos del equipo de prueba	50
3.3.3	Mediciones preliminares.....	52
3.3.4	Procedimiento de prueba	53
3.3.5	Equipo de prueba empleado.....	57
3.4	Etapla 3: Definición de porcentaje óptimo	63
3.5	Etapla 4: Análisis económico.....	63

Capítulo 4.....	65
4. Análisis de resultados	65
4.1 Etapa 1: Desempeño mecánico y durabilidad.....	65
4.1.1 Definición de los porcentajes de reemplazo de RHA.....	65
4.1.1 Resistencia a la compresión	70
4.1.2 Análisis estadístico: Resistencia a la compresión.	72
4.1.3 Sortividad	81
4.1.4 Análisis estadístico: Sortividad	82
4.2 Etapa 2: Desempeño acústico.....	88
4.3 Etapa 3: Definición de porcentaje óptimo	96
4.3.1 Análisis de grupos.....	97
4.4 Etapa 4: Análisis económico.....	98
4.4.1 Análisis de precios unitarios	98
4.4.2 Disponibilidad.....	98
4.4.3 Fabricación	100
Capítulo 5.....	101
5. Conclusiones y recomendaciones	101
5.1 Conclusiones.....	101
5.2 Recomendaciones.....	103
Bibliografía	104

Lista de figuras

	Pág.
Figura 3-1: Formas de las muestras. Fuente: Elaboración propia.	46
Figura 3-2: Información del marcador de las muestras. Fuente: Elaboración propia.	47
Figura 3-3: Ejemplo de montaje para equipos de prueba. Tomado de: Organización Internacional de normalización [ISO] (1998)	52
Figura 3-4: Configuración estándar (configuración I). Tomado de: Organización Internacional de normalización [ISO] (1998)	54
Figura 3-5: Configuración con micrófonos intercambiados (configuración II). Tomado de: Organización Internacional de normalización [ISO] (1998)	54
Figura 3-6: Tubo de impedancia. Fuente: Elaboración propia.	58
Figura 3-7: Soporte de muestra o portamuestras de prueba. Fuente: Elaboración propia.	58
Figura 3-8: Micrófonos. Fuente: Elaboración propia.	58
Figura 3-9: Equipo de procesamiento de señales acústicas. Fuente: Elaboración propia....	59
Figura 3-10: Altavoz y generador de señales acústicas. Fuente: Elaboración propia.	59
Figura 4-1: Columnas apiladas de registros de casos según el porcentaje de adición. Fuente: Elaboración propia.	66
Figura 4-2: Curva granulométrica. Fuente: Elaboración propia.....	68
Figura 4-3: Gráfico de dispersión por grupos de estudio del índice de absorción. Fuente: Elaboración propia.	83
Figura 4-4: Gráfica de absorción grupo de estudio Pt, regresión lineal. Fuente: Elaboración propia.	84
Figura 4-5: Gráfica de absorción grupo de estudio 10R, regresión lineal. Fuente: Elaboración propia.	84
Figura 4-6: Gráfica de absorción grupo de estudio R15, regresión lineal. Fuente: Elaboración propia.	85
Figura 4-7: Gráfica de absorción grupo de estudio R20, regresión lineal. Fuente: Elaboración propia.	85
Figura 4-8: Coeficiente de reflexión r (Patrón). Fuente: Elaboración propia.	89

Figura 4-9:	Coeficiente de absorción α (Patrón). Fuente: Elaboración propia.	89
Figura 4-10:	Coeficiente de Impedancia Acústica Z (Patrón). Fuente Elaboración propia..	89
Figura 4-11:	Coeficiente de reflexión r (Reemplazo 10 %). Fuente: Elaboración propia.	90
Figura 4-12:	Coeficiente de reflexión α (Reemplazo 10 %). Fuente: Elaboración propia.	90
Figura 4-13:	Coeficiente de Impedancia Acústica Z (Reemplazo 10 %). Fuente: Elaboración propia.	90
Figura 4-14:	Coeficiente reflexión r (Reemplazo 15 %). Fuente: Elaboración propia.	91
Figura 4-15:	Coeficiente de absorción α (Reemplazo 15 %). Fuente: Elaboración propia.	91
Figura 4-16:	Coeficiente de Impedancia Acústica Z (Reemplazo 15 %). Fuente: Elaboración propia.	91
Figura 4-17:	Coeficiente de reflexión r (Reemplazo 20 %). Fuente: Elaboración propia.	92
Figura 4-18	Coeficiente de absorción α Z (Reemplazo 20 %). Fuente: Elaboración propia.....	92
Figura 4-19:	Coeficiente de Impedancia Acústica Z (Reemplazo 20 %). Fuente: Elaboración propia.	92
Figura 4-20:	Coeficiente de reflexión (Gráfica de Dispersión) Fuente: Elaboración propia.	94
Figura 4-21:	Coeficiente de absorción (Gráfica de Dispersión) Fuente: Elaboración.....	94
Figura 4-22:	Proceso de producción del arroz y la ceniza de cascarilla de arroz RHA según lo recopilado de Ramírez & Trinidad (2021) y Puerta et al. (2021). Fuente: Elaboración propia.	100

Lista de tablas

Pág.

Tabla 3-1:	Operacionalización de las variables involucradas en el estudio. Fuente: Elaboración propia.	42
Tabla 3-2:	Número de probetas según el grupo de estudio y su ensayo correspondiente. Fuente: Elaboración propia.	43
Tabla 3-3:	Materiales empleados para el montaje. Fuente: Elaboración propia.....	57
Tabla 4-1:	Frecuencia de casos aprobados y reprobados según el porcentaje de adición. Fuente: Elaboración propia.	65
Tabla 4-2:	Diseño de mezclas calculados para cada grupo de estudio para 6 cubos basado en la dosificación de la NTC 220. Fuente: Elaboración propia.	67
Tabla 4-3:	Análisis granulométrico de la arena. Fuente: Elaboración propia.	68
Tabla 4-4:	Resumen de datos por mezclas. Fuente: Elaboración propia.....	69
Tabla 4-5:	Resumen resistencia temprana a la compresión RHA. Fuente Elaboración propia	70
Tabla 4-6:	Resumen resistencia última a la compresión RHA. Fuente: Elaboración propia. ..	71
Tabla 4-7:	Análisis descriptivo por grupos de estudio ensayo de resistencia temprana a la compresión. Fuente: Elaboración propia.	72
Tabla 4-8:	Resumen estadístico para Pt ^u por Statgraphics. Fuente: Anexo F	74
Tabla 4-9:	Resumen estadístico para R10 ^u por Statgraphics. Fuente: Anexo F	74
Tabla 4-10:	Resumen estadístico para R15 ^u por Statgraphics. Fuente Anexo F	75
Tabla 4-11:	Resumen estadístico para R20 ^u por Statgraphics. Fuente: Anexo F	76
Tabla 4-12:	Porcentaje de desarrollo de resistencia temprana. Fuente: Elaboración propia. 79	
Tabla 4-13:	Resumen apartado de compresión del estudio. Fuente: Elaboración propia....	80
Tabla 4-14:	Resultados promedio de sortividad Parte 1. Fuente: Elaboración propia.....	81
Tabla 4-15:	Resultados promedio de sortividad Parte 2. Fuente: Elaboración propia.....	81
Tabla 4-16:	Formato de identificación del ensayo de sortividad del proyecto. Fuente: Elaboración propia.	82
Tabla 4-17:	Estado de regresión lineal. Fuente: Elaboración propia.....	86

Tabla 4-18:	Tasas de absorción por grupo de estudio. Fuente: Elaboración propia.....	87
Tabla 4-19:	Datos comparativos para el coeficiente de reflexión r . Fuente: Elaboración propia.	95
Tabla 4-20:	Datos comparativos para el coeficiente de absorción α . Fuente: Elaboración propia.	95
Tabla 4-21:	Recolección propiedades analizadas en las etapas 1 y 2. Fuente elaboración propia	96
Tabla 4-22:	Recolección de precios de análisis de precios unitarios. Fuente: Elaboración propia.	98
Tabla 4-23:	Recopilación datos respecto al departamento del Huila según el Boletín del DANE: Encuesta nacional de arroz mecanizado (ENAM) primer semestre 2023. Fuente: Elaboración propia.	99

Lista de Símbolos y abreviaturas

Símbolos con letras latinas

Símbolo	Término	Unidad SI	Definición
c_o	Velocidad del sonido en el medio (aire)	m/s	Sección 2.2.2
d	Diámetro del tubo de impedancia	m	Ec. 3.2 y 3.3
d_m	Diámetro de los micrófonos	m	Sección 3.3.5
f	Frecuencia de trabajo	Hz	Sección 2.2.2
f_l	Frecuencia de trabajo inferior	Hz	Sección 2.2.2
f_u	Frecuencia de trabajo superior	Hz	Sección 2.2.2
H_{l2}	Función de transferencia	–	Ec. 3.12
H_c	Factor de calibración	–	Ec. 3.9
H_I	F. de transferencia de la onda incidente	–	Ec. 3.20
H_R	F. de transferencia de la onda reflejada	–	Ec. 3.21
I	Absorción de agua	-	Sección 3.2.8.
k_o	Número de onda en campo libre	Rad/m	Sección 2.2.2
P	Presión acústica	Pa	Sección 2.2.2
P_o	Presión atmosférica de referencia	kPa	Ec. 3.8
P_I	Presión acústica de la onda incidente	Pa	Ec. 3.16
P_R	Presión acústica de la onda reflejada	Pa	Ec. 3.17
R	Factor de reflexión de sonido	–	Ec. 3.21
s	Separación entre los micrófonos	m	Ec. 3.4
S_{ll}	Espectro automático	Pa ²	Sección 2.2.2
S_{l2}	Espectro cruzado	Pa ²	Sección 2.2.2
T	Temperatura en el tubo de impedancia	K	Ec. 3.5
T_o	Temperatura de referencia	K	Ec. 3.5
v	Velocidad del sonido	m/s	Sección 2.2.2
$X(f)$	Transformada de Fourier	Hz	Sección 2.2.2

Símbolo	Término	Unidad SI	Definición
Z	Impedancia superficial normal	$\text{Pa} \cdot \text{s}/\text{m}^3$	Sección 2.2.2
z	Impedancia normalizada	–	Ec. 3.23
Z_0	Impedancia característica	$\text{Pa} \cdot \text{s}/\text{m}^3$	Sección 2.2.2

Símbolos con letras griegas

Símbolo	Término	Unidad SI	Definición
α	Coefficiente de absorción de sonido	–	Ec. 3.22
λ_o	Longitud de onda	m	Ec. 2.5
ρ_o	Densidad del medio (aire)	kg/m^3	Sección 2.2.2
ϕ	Fase de reflexión	$\text{Rad} - ^\circ$	Sección 2.2.2

Superíndices

Superíndice	Término
I	Primero
II	Segundo
t	Resistencia temprana a la compresión
u	Resistencia última a la compresión

Abreviaturas

Abreviatura	Término
Pt	Grupo de estudio patrón (de control)
R10	Grupo de estudio 10% de reemplazo por RHA
R15	Grupo de estudio 15% de reemplazo por RHA
R20	Grupo de estudio 20% de reemplazo por RHA
RHA	Ceniza de cascarilla de arroz
Mn	Minutos
H	Horas
D	Días

Capítulo 1

1. Introducción

En el ámbito de la ingeniería civil y la ciencia de los materiales, el desarrollo de morteros y concretos con propiedades mejoradas respecto a los ejemplares convencionales, es un área de investigación que día tras día gana relevancia. La incorporación de aditivos y la optimización de mezclas son prácticas ya comunes actualmente, que buscan no solo mejorar sus características inherentes, sino también solucionar problemáticas que afectan tanto al sector constructivo como a otros campos y áreas de interés general, dando como resultado materiales más eficientes y sostenibles.

El presente proyecto se realiza con el propósito de analizar cómo varían las propiedades acústicas, mecánicas (resistencia a la compresión) y de durabilidad de los morteros en función de los diferentes porcentajes de ceniza de cascarilla de arroz (RHA, por sus siglas en inglés) añadidos; subproducto escogido como aditivo debido a las diversas investigaciones (revisar la sección Antecedentes) que han demostrado su efectivo desempeño en la mejora de la resistencia y durabilidad del concreto y el mortero, así como en la reducción del impacto ambiental asociado con la producción de cemento.

Para llevar a cabo esta investigación, se realizan una serie de ensayos experimentales que incluirán pruebas de resistencia a la compresión, durabilidad y aislamiento acústico. Los resultados obtenidos permiten comparar y evaluar la efectividad técnica y económica de cada mezcla, proporcionando una base sólida para recomendaciones prácticas en la industria de la construcción principalmente en Colombia, pues a pesar del avance que ha experimentado esta área a nivel global, en el país se observa una brecha significativa y una falta de estudios exhaustivos al respecto.

La importancia de este estudio radica en la necesidad de desarrollar materiales de construcción que no solo cumplan con los estándares ya existentes, sino que también contribuyan a la reducción de la contaminación acústica y a la disminución del impacto ambiental de los gases de efecto invernadero

1.1 Antecedentes

A medida que se profundiza en el análisis de las propiedades acústicas y mecánicas de morteros hidráulicos adicionados con ceniza de cascarilla de arroz (o Rice Husk Ash), se evidencia un interés cada vez más creciente en el área por parte de la comunidad científica y de la industria, lo que impulsa la realización de numerosos estudios. En este contexto, resulta relevante examinar algunas de las investigaciones más destacadas que lideran este estado del arte, las cuales proporcionan una visión integral y actualizada de las tendencias y avances en el campo.

En lo que a propiedades mecánicas se refiere, son extensos los ejemplares que demuestran la viabilidad del uso del RHA en materiales constructivos, como el realizado por Águila y Sosa (2008), quienes concluyeron que “la factibilidad técnica de la utilización de cenizas de cascarilla de arroz y de hoja de maíz como materiales puzolánicos, no así del bagazo de caña que queda momentáneamente descartado de ser utilizado” (párr. 1). Su trabajo, denominado ‘Evaluación físico químico de cenizas de cascarilla de arroz, bagazo de caña y hoja de maíz y su influencia en mezclas de mortero, como materiales puzolánicos’, les permitió comprender que tanto la ceniza de cascarilla de arroz como la hoja de maíz pueden ser, sin problema, elementos sustitutos para la elaboración de concreto, siendo la cascarilla de arroz el material de mayor potencial pues la producción de sílice en la cascarilla es mayor que en la hoja de maíz. Vale la pena indicar que la sílice es el que precisamente genera mayor resistencia, durabilidad e impermeabilidad en la mezcla, radicando en ese aspecto, su idoneidad. Además, “se pudo apreciar una mejoría en la estabilidad química y la durabilidad del cemento cuando se le añade ceniza, lo cual aumenta la factibilidad del empleo de ésta en elementos que estarán sometidos a ambientes agresivos” (Águila y Sosa, 2008, Conclusiones).

También se encuentra Mafla (2009) con el proyecto de investigación de su autoría, titulado “Uso de la cascarilla de arroz como material alternativo en la construcción”, donde buscó establecer las propiedades de este insumo como material cementante el cual ha dotado de gran valor algunas mezclas de cemento elaborado por empresas especializadas en esta producción. En dicho estudio, “se indican las características más importantes del dióxido de sílice (SiO_2) que se obtuvo en el laboratorio de la Universidad del Cauca y las curvas de resistencia a la compresión de muestras de mortero” (p. 74), cuyo resultado fue una gran compatibilidad en la acción con el cemento y el agua pues la reacción al calcio se dio de forma muy amigable. Esto permite concluir que la cascarilla de arroz, más concretamente su ceniza, es ideal para aplicarse en la industria del cemento y del ladrillo pues presentan muy buena sujeción y reactividad en contacto con el agua. De hecho, indica textualmente el artículo que:

Este deshecho, como se demostró, se puede utilizar para la obtención de dióxido de silicio para el cemento y mejorar sus características mecánicas lo cual ha sido investigado por especialistas en distintas partes del mundo, los cuales han notado el enorme potencial de este material como fuente alternativa en el campo de la construcción (Mafla, 2009).

Finalmente, en la obra “cuantificación de la resistencia mecánica de morteros de cemento al añadir cenizas de cascara de arroz ricas en nanopartículas de sílice” (Orrabalis et al., 2020), se aborda a profundidad el uso de la ceniza de cascarilla de arroz como recurso ideal para la elaboración de morteros pues la obtención de nanopartículas amorfas de dióxido de silicio y su influencia en las propiedades mecánicas son ideales dada la densidad y la resistencia que otorgan.

Por otra parte, en cuanto al repertorio investigativo en el tema de propiedades acústicas en elementos constructivos como concretos y morteros, se encontró en la mayoría de casos el uso de materiales sintéticos, como el estudio realizado por Herrero del Cura (2016) llamado ‘Influencia de la dosificación y granulometría del caucho de neumáticos fuera de uso (NFU) y de las dimensiones físicas en las propiedades térmicas, acústicas y mecánicas de placas de mortero de yeso-caucho’. En este caso, cuyo elemento de adhesión es el caucho (a diferencia de la propuesta aquí formulada que es la cascarilla de arroz), la investigadora logró establecer que al adicionar más caucho se reducen las resistencias mecánicas de la edificación. Asimismo, de la unión de tres aspectos como la dosificación, la granulometría

del caucho y del grosor de las placas o morteros, “se propone un nuevo material con mejoras en la densidad, tenacidad y en el comportamiento térmico, acústico y frente al agua manteniendo la resistencia dentro de unos límites aceptables” (Herrero del Cura, 2016, p. i)

También se tiene el estudio realizado por Paulino Fierro y Espino Almeyda (2017), donde al incorporar perlas de poliestireno bajo diferentes porcentajes con respecto al volumen del concreto en diversas mezclas del mismo y al compararlo con la mezcla de concreto simple, luego de ser sometidos a diversos ensayos a bloques elaborados con cada una de ellas, se encontró que el bloque de concreto liviano ofrece un mayor aislamiento acústico en comparación con el bloque de concreto simple; destacando además que el aislamiento acústico del concreto liviano puede variar dependiendo de las dimensiones de los bloques que se evalúen, lo que sugiere que el tamaño y diseño de los bloques pueden influir en su capacidad para reducir el ruido.

Sin embargo, aunque en menor proporción, también se lograron encontrar estudios que relacionen la adición del RHA con las propiedades acústicas del material, como es el caso de la investigación realizada en 2012 ‘morteros aligerados con cascarilla de arroz: diseño de mezclas y evaluación de propiedades’, donde se concluyó que las mezclas con cascarilla de arroz permiten la creación de “morteros de muy baja densidad y elevada porosidad que los convierten en candidatos para elaborar materiales de construcción para aislamiento térmico y acústico” (Payá Bernabeu et al., 2012, párr. 1). Esto posibilita deducir el alto potencial acústico de la cascarilla en la mezcla para morteros, siendo ideal para lugares de alta contaminación auditiva, así como para geografía de altas temperaturas en el caso de su capacidad térmica. En síntesis, los investigadores llegaron a la conclusión que la cascarilla de arroz con un tratamiento químico “con reactivos alcalinos y la adición de cloruro cálcico como acelerante del fraguado” (párr. 1), hace que estos dos tratamientos se conviertan en propuestas idóneas para el uso de este material desechado y, por tanto, de bajo costo pero que, en la actualidad, está tomando su valor en tanto se ha empezado a conocer su necesidad debido a sus propiedades y lo que ello implica para la creación de nuevas formas de construcción, amigables con el medio ambiente.

Pues bien, de las anteriores investigaciones se puede indicar que todas coinciden con el potencial de la ceniza de cascarilla de arroz para generar morteros muchos más sólidos, eficientes y con mayores y mejores propiedades. Desde luego se han desarrollado investigaciones con otros elementos como el caucho triturado, poliestireno y la hoja de maíz, y todos aportan propiedades significativas en las mezclas. Sin embargo, la ceniza de cascarilla de arroz, por su alto grado de sílice, es propicio para edificaciones que exigen, no solo mayor rigidez, sino también, impermeabilidad, buena acústica y funcionalidad térmica.

En resumen, este insumo resulta eficaz, eficiente y de múltiple utilidad que al incorporarse como elemento de construcción, aumenta la calidad de vida, no solo de las personas que lo implementen, sino también del medio ambiente en general. Esto, a su vez, promueve el alternativismo, una tendencia de gran importancia en un mundo que requiere, cada vez, nuevas formas de producción y fabricación que expandan la consideración de propiedades diferentes a las tradicionales, como las acústicas o las térmicas, en razón de mejorar el sector constructivo.

1.2 Justificación

Se entiende como afectación por ruido al ambiente, cuando estos ruidos trascienden la propiedad privada e impactan de manera negativa y extralimitando los estándares máximos permisibles según el uso del suelo. Motivo por el cual, para conocer su verdadero impacto en el ambiente y salud, se debe evaluar de manera metódica y según el marco normativo ambiental vigente (Secretaría Distrital de Ambiente, 2022). Aunque resulte un tema poco tratado e incluso pasado por alto, el asunto concerniente a los perjuicios ocasionados por la contaminación acústica ha suscitado una amplia denuncia por expertos; si bien no se hace pertinente profundizar en esta instancia en los aspectos médicos y las implicaciones del ruido en el organismo y el bienestar físico, resulta primordial resaltar que dichas consecuencias son ampliamente estudiadas, como es explicado por González Sánchez y Fernández Díaz (2014), donde menciona que “Los principales efectos a la salud provocados por el ruido pueden ser auditivos y no auditivos. Entre los primeros se encuentran el desplazamiento temporal o permanente del umbral de audición. Entre los segundos, la dilatación de las pupilas y parpadeo acelerado... fatiga, estrés, depresión, irritabilidad, agresividad, entre otras.”

Estos incidentes se hacen presentes en contextos cercanos como en la ciudad de Neiva, donde en constantes ocasiones, mediante diferentes medios de comunicación, se ha hecho visible la inconformidad de los habitantes por el exceso de contaminación acústica, manifestando una mayor concentración en el microcentro de la ciudad y los barrios o zonas donde se frecuenta la venta y consumo de licor; y durante las llamadas horas ‘pico’, después de las 12 del día y las 6 de la tarde (Galindo, 2021).

Por esta razón, la evaluación de las propiedades acústicas en los materiales adquiere un carácter esencial en el sector de la construcción, pues conlleva al uso de elementos que mejoren en el confort interior al reducir la transmisión de ruido entre áreas y aporten un valor agregado a la propiedad dentro del mercado inmobiliario al ofrecer una mayor calidad de vida a quien resida. La consideración del aislamiento acústico desde las etapas del diseño asegura la creación de espacios que provean una experiencia acústica satisfactoria y que se ajusten a las normativas y estándares de resistencia y calidad.

Además, el uso de materiales con propiedades de aislamiento acústico puede generar aportes positivos en la construcción de establecimientos dirigidos al uso artístico y de entretenimiento como teatros, palcos y arenas; no sólo por la reducción de la transmisión del sonido entre el interior y el exterior del recinto, evitando la propagación del ruido no deseado hacia el entorno circundante, si no al mejorar la calidad e inteligibilidad del sonido en el interior debido a la absorción de sonido, reduciendo la reverberación y los ecos.

Como es explicado por Comaudi Industrial México:

Las ondas sonoras rebotan en las superficies de las paredes, y si no cuentan con materiales acústicos, pueden propagarse al exterior y molestar a los espectadores de la sala, generando que los espectadores puedan escuchar reverberaciones, no comprender los diálogos, y tener una experiencia desagradable en general (2022, párr. 3).

En otro aspecto, se destaca que durante los últimos años, tanto la producción de cemento como los procesos agroindustriales han sido objeto de creciente preocupación debido a sus impactos ambientales, lo cual se avala con los numerosos estudios que han surgido respecto a esta problemática, planteando importantes interrogantes sobre la sostenibilidad de estas actividades.

Por un lado, la producción de cemento se enfrenta a desafíos relacionados con la emisión de contaminantes atmosféricos, destacando especialmente el dióxido de carbono (CO_2), tal como lo destaca la EPA (Environmental Protection Agency), que funciona como una agencia ejecutiva independiente del gobierno federal de los Estados Unidos, la cual en 2019 evaluó las intensidades de carbono directo para los productos intermedios y finales de las plantas de producción: clínker y cemento, estas funcionan como puntos de referencia para las emisiones de carbono de la industria. En este estudio, se reportó para el percentil 50 una emisión de 0,838 toneladas de CO_2 por tonelada de clínker y 0,776 toneladas de carbono por tonelada de cemento (EPA, 2021), esto debido a las reacciones químicas inherentes al proceso de combustión de la caliza, el consumo de energía y el uso de combustibles fósiles. De manera similar, Poudyal y Adhikari (2021) en su artículo titulado (por su traducción al español) ‘Sostenibilidad ambiental en la industria del cemento: un enfoque integrado para una producción de cemento verde y económica’, manifestaron que, aproximadamente, se producen anualmente 4,1 mil millones de toneladas métricas de cemento en todo el mundo, que representa alrededor del 8-10% de las emisiones globales de CO_2 de origen antropogénico que pueden continuar en aumento. Por tanto, para atenuar de manera efectiva el impacto ambiental de la industria del cemento, es necesario disminuir la proporción o fracción activa de clínker en los cementos al 60% de su valor actual para el año 2050 (McDonald et al., 2019).

Por otra parte, la industria agrícola enfrenta confrontaciones relacionadas con la generación de subproductos o residuos que no pueden ser eficientemente aprovechados en sus sectores primarios. La cascarilla del arroz, uno de los mayores ejemplares, al ser compuesta principalmente por fibras, celulosa, y minerales, tiene una utilización restringida en el campo de la elaboración de alimentos concentrados para animales, debido a su alto contenido de sílice (SiO_2) que impide su correcta digestión. Además, debido a su constitución físico-química, la cascarilla es un residuo de muy difícil biodegradación, por lo que su reaprovechamiento en la actividad agropecuaria resulta prácticamente inviable. A esto se suma que, en las plantas procesadoras de arroz, la cantidad de cascarilla generada alcanza aproximadamente el 20% del peso total de la producción. Considerando el bajo peso específico de la cascarilla a granel, alrededor de 100 Kg/m^3 , surge un desafío significativo en su evacuación y transporte, pues implica no solo costos elevados, sino

también un impacto perjudicial para el ambiente al recurrir a la quema e incineración descontrolada o a su desecho ilegal en las fuentes hídricas (Sierra Aguilar, 2009).

Dado que Colombia se posiciona como el tercer país con mayor producción de arroz en Suramérica, y considerando que el arroz es uno de los productos agrarios más consumidos en dicho territorio, resulta lógico que el proceso de producción de este cereal conlleve un notable índice de generación de residuos, especialmente la cascarilla de arroz al representar, aproximadamente, una quinta parte en peso del fruto recolectado. Según lo descrito por Fuentes Molina et al. (2015), en Colombia la producción de arroz está cercana a 2.1×10^6 toneladas por año y como consecuencia se generan cerca de 4×10^5 toneladas de cascarilla de arroz residualmente.

Para tratar de mitigar las problemáticas expuestas, diversos investigadores se han centrado en analizar las características de los residuos agrícolas con el fin de buscar formas de que sean usados en la industria de la construcción, especialmente en su adición o sustitución parcial en las mezclas de concreto o mortero hidráulico debido a la importancia del material en dicho ámbito por su versatilidad, resistencia y durabilidad (Hareru et al., 2022)

De ahí surgen estudios como el realizado por Restrepo Ramos y Aya Rodríguez (2018), titulado “Propuesta para la fabricación de adoquines en mortero mezclados con cascarilla de arroz para uso en la construcción”, donde se hace provecho de la cascarilla de arroz a partir de su combustión. Los autores afirman que:

Teniendo en cuenta las diversas investigaciones que se han realizado acerca de la mezcla de la ceniza de cascarilla de arroz con cemento para fabricación de concretos resistentes, los resultados han sido satisfactorios gracias a las diversas propiedades físico-químicas que la ceniza de esta cascarilla tiene como lo es el dióxido de silicio SiO_2 utilizándolo como aditivo para el cemento portland tradicional (Restrepo Ramos y Aya Rodríguez, 2018, 47).

El objeto de este proyecto de investigación surge precisamente de todos los aspectos expuestos en esta sección, donde se propone la evaluación de mezclas de mortero hidráulico con diferentes porcentajes de ceniza de cascarilla de arroz (RHA) como reemplazo del cemento, con la finalidad de destacar aquel que ofrezca una relación óptima entre sus

propiedades acústicas y mecánicas dentro de los estándares establecidos. Esto servirá como punto de partida para investigaciones posteriores, ofreciendo una contribución crucial al desarrollo de alternativas sostenibles en la fabricación de elementos constructivos, así como en la expansión del conocimiento sobre las propiedades acústicas de los materiales que serán de vital importancia para su consideración en futuros proyectos constructivos.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo general

Evaluar la viabilidad y el desempeño en las propiedades acústicas y mecánicas del mortero hidráulico adicionado con la ceniza de cascarilla de arroz (RHA).

1.3.2 Objetivos específicos

- Medir la influencia de la RHA incorporada en morteros mediante la realización de ensayos de resistencia a la compresión.
- Estimar el nivel de reducción de ruido que ofrecen las distintas mezclas desarrolladas con la elaboración de ensayos de aislamiento acústico en el mortero.
- Establecer el porcentaje óptimo de reemplazo de la RHA en las mezclas de mortero hidráulico en función a los resultados obtenidos en insonorización y propiedades mecánicas.
- Realizar un análisis económico de la mezcla óptima identificada, considerando factores como la disponibilidad de los materiales, la facilidad de fabricación y la posibilidad de escalamiento a nivel industrial.

1.4 Estructura del documento

En el presente documento, el primer capítulo hace referencia a la introducción, donde se proporciona una visión general del tema de estudio, se delimitan los objetivos de la investigación y se presenta la relevancia del trabajo, su justificación y estudios previos que respaldan el enfoque del proyecto. El segundo capítulo recopila el marco teórico, el cual ofrece el contexto conceptual necesario para comprender el planteamiento

investigativo, se establecen las bases teóricas y se identifican las variables claves sobre las cuales se fundamenta el estudio. El tercer capítulo corresponde a la metodología, que describe detalladamente la secuencia lógica del proyecto, el diseño de la investigación y procedimientos utilizados para la recolección de datos. El análisis de resultados se encuentra en el cuarto capítulo, donde se presenta e interpreta los hallazgos obtenidos y se utilizan herramientas estadísticas y gráficas para analizar los datos recopilados y responder a las preguntas de investigación planteadas previamente. Por último, en el quinto capítulo, se exponen las conclusiones, las cuales resumen los hallazgos más relevantes del proyecto y se evalúa si los objetivos de la investigación han sido alcanzados. Se debe tener en cuenta que los capítulos de este documento están organizados en etapas, que corresponden a una fase específica del proceso de investigación, diseñadas para alcanzar los objetivos

Capítulo 2

2. Marco teórico

2.1 Etapa 1: Desempeño mecánico y durabilidad

2.1.1 Morteros

En Colombia, según Sánchez (2001), el uso de morteros ha sido variado y común en el sector de la construcción, en especial en sistemas como la mampostería estructural. Este mismo autor define mortero como una mezcla de materiales dentro de los cuales se encuentran: un material aglutinante (cemento portland u otro material cementante), un material de relleno (agregado fino, arena), agua y eventualmente aditivos según corresponda, al endurecerse presenta propiedades químicas, físicas y mecánicas similares a las del concreto.

Según Becosan (2019) los morteros pueden desempeñar una función estructural, por lo que pueden ser empleados en las construcciones de mampostería, sirviendo de pega o relleno; adicionalmente, los morteros pueden funcionar como recubrimientos, siendo usados como pañetes, repellos o revoques.

En Colombia, la NSR-10 especifica en su título D capítulo 3, las características de resistencia y proporciones de los morteros de pega y de relleno, la **Tabla A-1 del Anexo A** corresponde a un apartado de la tabla D.3.4-1.de la NSR 10 correspondiente a la clasificación de morteros por propiedad donde se visibilizan los valores de resistencia a la compresión fijados por dicha norma.

Los morteros tipo H según Ciceron (2021) se recomienda para aplicaciones donde se presentan grandes exigencias de carga o áreas sometidas a abrasión, también menciona que el mortero tipo M es el más usado para rellenar dovelas de mampostería estructural y para la unión de unidades de mampostería.

2.1.2 Ceniza de cascarilla de arroz (RHA)

La ceniza de cascarilla de arroz definida como RHA (Rice Husk Ash) por sus siglas en inglés, se le puede definir como material puzolánico, producto de desperdicio natural, que tiene un alto contenido de sílice y que para que deje de ser un material orgánico se la calcina a temperaturas que están entre 500°C a 700°C (De la Pared, 2011), entender la composición de la cascarilla de arroz y su ceniza resulta de relevancia debido a que sus componentes y su proporción dictaminan su influencia en la resistencia del mortero.

Para revisar más contenido respecto a las propiedades químicas, físicas, mecánicas, de durabilidad y en estado fresco de la RHA consultar el **Anexo A**.

2.2 Etapa 2: Desempeño acústico

2.2.1 Fundamentos de ensayo de impedancia acústica

La Norma ISO 10534, empleada para la determinación del coeficiente de absorción acústica y de la impedancia, consta de dos partes relacionadas con la medición de la interacción de los materiales con el sonido por medio de tubos de impedancia. Estas partes son:

1. Parte 1: *Método de relación de onda estacionaria*: En este enfoque, se evalúa cómo un material interactúa con el sonido observando y evaluando el patrón de onda estacionaria de una onda plana dentro del tubo de impedancia, que se genera por la superposición de una onda plana sinusoidal incidente con la onda plana reflejada por el objeto de prueba (Organización Internacional de Normalización [ISO], 1996), medido por un único micrófono que se desplaza en diferentes posiciones de la longitud de un tubo. Esto ayuda a determinar cuánto sonido es absorbido por el material.

2. Parte 2: *Método de función de transferencia*: En este método, se emplean dos micrófonos montados en un tubo para medir las presiones acústicas en dos ubicaciones fijas y calcular posteriormente la función de transferencia acústica compleja del objeto de prueba (Organización Internacional de normalización [ISO], 1998). Esta técnica permite precisar cómo el sonido se absorbe o se refleja en el material.

Además de la determinación del coeficiente de absorción y reflexión acústica para incidencia de sonido normal y de la impedancia superficial acústica, el segundo método es conveniente para comprender las propiedades físicas del material dado que las relaciones de impedancia de un material están relacionadas con características como la resistencia al flujo de aire, la porosidad, la elasticidad y la densidad (ISO, 1998), lo que lo hace útil para la investigación básica y el desarrollo de productos.

Por tanto, para la realización de este proyecto, se optó por tomar como base metodológica la última mencionada al presentar un procedimiento más sencillo y dinámico, y al ofrecer más información sin una margen de error altamente significativa en comparación a su antecesora del año 1996.

2.2.2 Principios de las ondas de sonido

Para la comprensión del método, se aplican las siguientes definiciones y simbologías establecidas en la norma ISO 10534-2:

IMPEDANCIA: En acústica, se refiere a la dificultad o resistencia que encuentran las ondas sonoras para su propagación por un medio o sistema, determinada por la razón entre la presión acústica p en un punto dado y la velocidad de vibración v de las moléculas en ese punto (*Sonido: Generalidades*, n.d.).

$$Z = \frac{p}{v} \quad (2.1)$$

Cuando una onda se propaga en un medio específico y entra en contacto con un medio de impedancia acústica más alta, se produce una reflexión de la onda reflejada (*Impedancia Acústica*, n.d.) (Revisar **Anexo A, Figura A-1**).

COMPONENTES DE LA IMPEDANCIA ACÚSTICA: Al ser números complejos que describen la relación entre la presión del sonido y la velocidad de partícula del material,

se pueden descomponer en partes reales e imaginarias de la siguiente manera: En la impedancia acústica, la parte real (R) representa la resistencia o la oposición del material al flujo del sonido, mientras que la parte imaginaria (X) representa la reactancia o cómo el material almacena y libera energía en forma de sonido. Esto se puede observar en la **Figura A-2 del Anexo A**.

COEFICIENTE DE ABSORCIÓN DE SONIDO EN INCIDENCIA NORMAL (α): Puede definirse como la forma de medir cuánto sonido que se emite hacia un objeto de prueba es absorbido en lugar de “rebotar” o reflejarse (ISO, 1998). Para su cálculo, se relaciona la potencia o cantidad de sonido que llega a la superficie sin retorno y la que realmente incide en el objeto para una onda plana con incidencia normal.

FACTOR DE REFLEXIÓN DE LA PRESIÓN SONORA EN INCIDENCIA NORMAL (r): Se define como la medida que expresa la cantidad de una onda de sonido que rebota y regresa en comparación con la onda original en el plano de referencia para una onda plana en incidencia normal, y cómo se modifica al hacerlo (ISO, 1998).

IMPEDANCIA SUPERFICIAL NORMAL (Z): Hace referencia a la relación entre la presión del sonido $p(0)$ y la componente normal de la velocidad de la partícula del sonido $v(0)$ en el plano de referencia. Es útil para comprender cómo el sonido se refleja, absorbe o transmite en una superficie en particular (ISO, 1998).

IMPEDANCIA CARACTERÍSTICA (Z_0): Representa la relación entre la presión acústica y la velocidad de las partículas de aire o del medio en el que se propaga el sonido, en una sola onda plana (ISO, 1998):

$$Z_0 = \rho_0 c_0 \quad (2.2)$$

Donde:

ρ_0 es la densidad del medio (aire);

c_0 es la velocidad del sonido en el medio.

IMPEDANCIA NORMALIZADA (z): Se define como la forma de medir la relación entre la impedancia del objeto de prueba (Z) con la impedancia característica del medio en el que se propaga el sonido (Z_0) (ISO, 1998). Si z es igual a 1, se interpreta que ambas

impedancias tienen la misma magnitud y por tanto existe una buena adaptación al medio y una transferencia eficiente de energía acústica.

$$z = Z/Z_0 \quad (2.3)$$

NÚMERO DE ONDA EN CAMPO LIBRE (k_0): Es una variable definida por:

$$k_0 = \frac{\omega}{c_0} = 2\pi f/c_0 \quad (2.4)$$

Donde:

ω es la frecuencia angular

f es la frecuencia

c_0 es la velocidad del sonido

FASE DE REFLEXIÓN (FACTOR) (Φ): Representa la parte angular del factor de reflexión complejo, ya definido anterior como una variable que describe cómo una onda de sonido reflejada cambia en términos de amplitud y dirección al chocar con una superficie o un objeto (ISO, 1998).

RANGO DE FRECUENCIA DE TRABAJO (f): Es definido como el intervalo de frecuencias dentro del cual se realiza el estudio o la medición del sonido, definido como:

$$f_l < f < f_u$$

Donde f_l es la frecuencia inferior y f_u la frecuencia superior.

PRESIÓN ACÚSTICA: Se entiende como la diferencia entre la presión instantánea debida al sonido y la presión atmosférica, cuyos valores se encuentran alrededor de los 20Pa. A diferencia de la presión atmosférica, esta varía con rapidez (de valores positivos a negativos), lo que se conoce como su frecuencia, medida en Hz (¿Qué es la presión sonora?, 2018). En el dominio del tiempo, puede entenderse como la presión que fluctúa con el tiempo.

TRANSFORMADA DE FOURIER: Es una herramienta matemática que se utiliza para transformar señales del dominio del tiempo a funciones definidas en el dominio de la frecuencia, donde es posible analizar características que no son fáciles de identificar en el dominio del tiempo (Vázquez Lorenzana, 2022). En otras palabras, toma una señal que cambia con el tiempo y la descompone en sus partes que tienen diferentes frecuencias.

Para la operación de transformación de una función, la función original suele recibir el nombre de $x(t)$, siendo 't' el tiempo, mientras que la función transformada suele recibir el nombre de $X(f)$, en mayúscula, siendo 'f' la frecuencia (Martínez, 2021).

$$X(f) = \int_{-\infty}^{\infty} x(t)e^{-j2\pi ft} dt \quad (2.5)$$

PRESIÓN SONORA COMPLEJA (p): Está definida como la transformada de Fourier de la presión acústica en el dominio del tiempo (ISO, 1998). La presión sonora compleja toma la presión acústica medida en el tiempo y la descompone en sus componentes de frecuencia, lo que permite analizar y comprender las diferentes frecuencias presentes en una señal sonora.

ESPECTRO CRUZADO (S_{12}): Es un espectro de magnitudes y de fases que es proporcional a la interdependencia de dos señales (*El Espectro Cruzado*, 2022). En esencia, se trata de una forma de estudiar cómo dos señales se comportan juntas en función de la frecuencia, lo que implica calcular la densidad espectral cruzada, a partir del producto de las presiones sonoras complejas p_1 y p_2 en dos posiciones de micrófono:

$$S_{12} = p_1 \cdot p_2^*, \quad (2.6)$$

siendo * el conjugado complejo.

ESPECTRO AUTOMÁTICO (S_{11}): El espectro automático es una representación gráfica o visual de cómo la amplitud o la intensidad de una señal varía con el tiempo (*Autoespectrum*, 2022). Este indica cómo se distribuye la energía de la señal en diferentes frecuencias en función del tiempo, a partir del producto de la presión sonora compleja p_1 por su conjugado complejo en la posición de micrófono uno:

$$S_{11} = p_1 \cdot p_1^*, \quad (2.7)$$

siendo * el conjugado complejo.

FUNCIÓN DE TRANSFERENCIA (H_{12}): Es la relación matemática que describe cómo una entrada se convierte en una salida en un sistema dado.

En ocasiones para conocer la respuesta de un sistema en función del tiempo, se aplican en la entrada del elemento señales conocidas y se evalúan la respuesta que aparece en su salida. De este modo se obtiene la llamada respuesta transitoria. Matemáticamente, se expresa en términos de una relación entre una transformada de Laplace de la señal de salida y la transformada de Laplace de la señal de entrada. (Función de transferencia, 2018).

FACTOR DE CALIBRACIÓN (H_c): Es el factor utilizado para corregir los errores en las mediciones realizadas por los micrófonos, que pueden deberse a los desfases en la amplitud y la fase entre ellos (ISO, 1998). Esto con el fin de asegurar resultados más precisos.

2.3 Etapa 3: Definición de porcentaje óptimo

2.3.1 Análisis estadístico

Este tipo de análisis lleva a cabo cuando se recoge e interpretan datos con la intención de identificar patrones y tendencias (Ortega, 2024b), Según Escobar (2024) este análisis implica el estudio de grandes cantidades de datos con el fin de obtener resultados precisos.

Respecto a el paso a paso para su realización Ortega (2024b) y Escobar (2024) coinciden en definir la siguiente secuencia una vez definido el problema:

- Recopilación de datos
- Organización de datos
- Análisis de datos
- Interpretación de resultados
- Exposición de resultados

2.3.2 Análisis descriptivo

Según Escobar (2024) este tipo de análisis busca describir el comportamiento de un conjunto de datos, también indica que para esto se consideran parámetros estadísticos como las medidas de tendencia central (media y mediana).

MEDIA ARITMÉTICA: puede definirse también como promedio de una distribución, se simboliza con $\bar{x}$, corresponde a la suma de todos los valores dividido por el número de casos (Sampieri, 2014).

MEDIANA: Corresponde al valor que divide la distribución a la mitad, refleja la posición intermedia de la distribución, no siendo sensible a valores extremos de distribución (Sampieri, 2014).

DESVIACIÓN ESTÁNDAR: Es el promedio de la desviación de los datos con respecto a la media, se simboliza con σ (Sampieri, 2014).

Sesgo estadístico: Corresponde a la diferencia entre un estimador matemático y su valor numérico, a menor sesgo estadístico, más se acercan los análisis teóricos a la realidad (Rus, 2021).

Curtosis: Según Ortega (n.d.) define este término como:

La medida de la forma de una distribución en comparación con la distribución normal, se le conoce como campana de Gauss... nos proporciona información sobre cómo se distribuyen los datos alrededor de la media y la presencia de valores atípicos. (¿qué es la curtosis?)

Según Ortega (n.d.), los casos a presentarse se interpretan de la siguiente manera:

- Curtosis positiva: los valores están menos concentrados alrededor de la media y hay más valores atípicos.
- Curtosis negativa: los valores están más concentrados alrededor de la media y hay menos valores atípicos.

Distribución normal: Es un modelo capaz de aproximar satisfactoriamente el valor de una variable aleatoria a una situación real, es decir que un conjunto de datos se distribuye uniformemente alrededor de un valor central (Rodó, 2024).

Valor P: Corresponde al nivel de significación mínimo no arbitrario con el que se puede rechazar la hipótesis nula (H_0)(Rodó, 2020b).

Nivel alfa (α): corresponde al umbral que se usa para determinar si el valor P es lo suficientemente bajo como para rechazar la hipótesis nula (Foster et al., 2018).

2.3.3 Análisis de Varianza (ANOVA)

Permite descubrir si los resultados de una prueba son significativos (Ortega, 2024c). Corresponde a una prueba estadística para analizar si dos o más grupos difieren significativamente entre sí, en cuanto a sus varianzas (Sampieri, 2014).

Para estas pruebas Ortega (2024c) y Sampieri (2014) coinciden en fijar las hipótesis de la siguiente manera para el análisis de varianza:

- En caso de análisis de una medición:

Hipótesis Nula (H_0): no existe diferencia significativa entre las mediciones y su media.

Hipótesis Alterna (H_1): Existe una diferencia significativa entre las mediciones y la media.

- En caso de análisis entre grupos de estudios:

Hipótesis Nula (H_0): no existe variabilidad significativa entre las medias de los grupos de estudio que se comparan.

Hipótesis Alterna (H_1): existe variabilidad significativa entre las medias de los grupos de estudio que se comparan.

2.3.4 Regresión Lineal

Es un modelo estadístico para estimar el efecto de una variable sobre otra, se determina en base a un diagrama de dispersión (Sampieri, 2014). Es una técnica estadística utilizada para comprender la relación entre una variable independiente y una dependiente (Ortega, 2024d).

Tanto Ortega (2024d) como Sampieri (2014) coinciden en la adición de una línea de tendencia al gráfico de dispersión, la fórmula de este modelo corresponde a la forma de una ecuación de primer grado ($Y = aX + b$) donde a es la pendiente de la línea de regresión y b es la intersección de la línea de regresión con el eje y .

Coeficiente de relación de Pierson (r)

Según lo indicado por Sampieri (2014) se tiene que:

“Es una prueba estadística para analizar la relación entre dos variables medidas por un nivel de intervalos o de razón... Se calcula a partir de las puntuaciones recolectas de una

muestra en dos variables. Se relacionan las puntuaciones recolectadas de una variable con las puntuaciones de otra, con los mismos casos... El signo indica la dirección de la correlación y el valor numérico indica la magnitud... si el valor de significancia es menor a 0,05 se dice que el coeficiente es significativo en el nivel de 0.05 (95% de confianza en que la correlación sea verdadera y 5% de probabilidad de error)” p. 305.

El nivel de significancia nos ayuda a determinar si el valor estadístico se encuentra en zona de rechazo o no, se representa como α (Rodó, 2020).

Coeficiente de determinación

Elevar el coeficiente de Pierson al cuadrado (r^2) se obtiene el coeficiente de determinación y su resultado indica el porcentaje de variación debido a la dispersión de los datos (Sampieri, 2014).

2.3.5 Análisis comparativo

Método de investigación, recolección u análisis de información que consiste en la comparación de dos o más procesos, documentos, conjunto de datos u otros objetivos (Ortega, 2024a).

Ortega (2024a) define los siguientes pasos para la realización de un análisis comparativo:

- Identificación de los elementos
- Definición de indicadores
- Recolección de datos
- Análisis de diferencias
- Identificación de tendencias
- Interpretación de resultados

2.4 Etapa 4: Análisis económico

2.4.1 Arroz en el Huila

Puerta et al. (2021) menciona que en Colombia, el cultivo de arroz tiene el tercer puesto en la producción nacional solo por detrás del café y el maíz, la producción de arroz

representa aproximadamente un 0.35% del PIB. El departamento del Huila se encuentra posicionado como uno de los principales departamentos productores de arroz en Colombia según el DANE (2024)

2.4.2 Cascarilla de arroz

El proceso de producción del arroz y los subproductos lo describe muy bien Puerta et al. (2021):

La producción de arroz inicia con una primera etapa agrícola, donde el cultivador realiza la preparación del suelo, la siembra y va hasta la cosecha del arroz verde. Este producto constituye la materia prima de la etapa industrial, allí los molinos realizan procesos de limpieza, reducción de humedad del 25% al 30% y almacenamiento en silos. Posteriormente, el arroz seco es trillado, pulido y empacado como arroz blanco o integral para su comercialización. En este proceso se obtienen subproductos la harina de arroz y la cascarilla. (p. 53)

2.4.3 Ceniza de cascarilla de arroz (RHA)

La cascarilla de arroz corresponde a un 22% del peso del arroz, este material, no proporciona propiedades alimenticias debido a su alto contenido de dióxido de silicio (SiO_2), por estas razones es considerado un desecho orgánico. Su uso se concibe más como biomasa, dando como resultado otro residuo de este proceso, la ceniza de cascarilla de arroz, cuando se quema la cascarilla, la ceniza obtenida resulta en una quinta parte del peso de la cascarilla según de Aliaga & Badajos (2018).

2.4.4 Análisis de precios unitario

El precio unitario corresponde al valor en dinero que se le debe cubrir a un contratista por unidad de concepto de trabajo (Rivera, 2024). Dentro de su composición, Rivera (2024) resalta entre los costos directos el apartado de materiales donde se debe especificar la unidad de medida, la cantidad requerida, el precio por unidad y el valor total.

Capítulo 3

3. Metodología

3.1 Diseño de investigación

Según lo consultado en Metodología de Investigación de Sampieri, por Sampieri (2014), la investigación presente corresponde al tipo de investigación experimental basada en diseño de morteros con porcentaje de reemplazo de cascarilla de arroz enfocados en pruebas de compresión, sortividad e impedancia acústica. Dentro del tipo de investigación mencionada se ubica dentro de la investigación cuasiexperimental debido a la concepción de los grupos de estudio. Para este caso se indica que:

Se debe a que se desarrollan los ensayos en grupos ya establecidos de acuerdo con el tipo de aplicación de la ceniza (cantidad), dividiendo en grupos de acuerdo con el tipo de muestra y tipo de ensayo que se va a realizar (Aliaga & Badajos, 2018).

3.1.1 Nivel de investigación

Debido a la naturaleza del estudio se indica el nivel de investigación Correlacional, según lo indicado por Sampieri (2014), “Estos diseños describen relaciones entre dos o más categorías, conceptos o variables en un momento.” p. 156.

3.1.2 Variables

Dependiente → Diseño del mortero.

Independiente → Porcentaje de reemplazo de cemento por RHA

Variable de control → Fluidez

Se establece que para aprobar las mezclas y la secuencia del flujo del estudio, es necesario que el porcentaje de flujo se encuentre en el intervalo de (115 – 125) debido a lo establecido por la NSR-10 para morteros tipo M.

3.1.3 Operacionalización de la variable

Variable	Definición Conceptual	Definición Operacional	Dimensión	Definición	Indicadores	Instrumento	Escala de medición
Reemplazo de cascarilla de arroz	La ceniza de cascarilla de arroz (RHA) es un material producido por la quema de cascarilla de arroz por incineración según Fapohunda (2017)	La presencia de sílice en RHA se traduce en una capacidad de contribuir al proceso de desarrollo de resistencia en la producción del concreto y mortero según Fapohunda (2017)	Dosificación de RHA	Debido a las propiedades de la RHA, el porcentaje de reemplazo se relaciona estrechamente con su desempeño y rendimiento convencional o deficiencia de este a causa de exceso según Amran et al. (2021)	Porcentaje de reemplazo en peso en los grupos de estudio.	Balanza	Intervalo
					Granulometría	Tamiz	Intervalo
			Diseño de mezcla	Corresponde al proceso de elección de las cantidades de materiales necesarios para la mezcla según Aliaga & Badajos (2018)	Contenido de humedad	Horno	Razón
					Relación agua/cemento	Tablas	Razón
Diseño de mortero	El mortero es una mezcla homogénea producto de la unión de arena, agua y un conglomerante de origen inorgánico, según lo indicado por Becosan (2019)	Los morteros pueden desempeñar una función estructural, por lo que pueden ser empleados en las construcciones para elementos estructurales según su tipo, o efectuar funciones en mampostería como pega o relleno según Becosan (2019)	Fluidez (estado fresco)	Corresponde a la trabajabilidad o manejabilidad, es el resultado de la lubricación de las partículas de agregados con la pasta del agua/cemento. El ajuste final de la trabajabilidad depende de la cantidad de agua, según Osorio (n.d.).	Fluidez	Mesa de flujo	Intervalo
			Resistencia	Corresponde a la capacidad de mantener su integridad y mantener su función estructural al soportar tensiones y cargas aplicadas según Osorio (n.d.)	Resistencia a la compresión	Prensa mecánica	Intervalo
			Durabilidad	Corresponde a el desempeño del material para resistir las condiciones de exposición a las cuales es sometido el mortero según Osorio (n.d.)	Sortividad	Bandeja	Intervalo
			Reflexión y/o absorción acústica	Corresponde a la interacción de ondas acústicas al entrar en contacto con el material según Rivers (2018)	Impedancia acústica	Tubo de impedancia acústica	Intervalo

Tabla 3-1: Operacionalización de las variables involucradas en el estudio. Fuente: Elaboración propia.

3.1.4 Población y muestra

La población para el diseño de mortero con porcentaje de reemplazo de cemento por RHA se conforma por 228 individuales distribuidos de la siguiente manera. (muestra): 57 probetas para cada uno de los cuatro grupos de estudio, dentro de los cuales 54 corresponden a cubos distribuidos en: 15 para la evaluación de resistencia temprana (R^T), 33 para resistencia última (R^U) y 6 para el ensayo de sortividad, los 3 elementos restantes corresponden a los discos usados para las pruebas de acústica al no ser un ensayo destructivo. Todo esto explicado de mejor forma en la Tabla 3-2.

Grupo de estudio	Control	1	2	3	Total
Resistencia a la compresión					
R^T	15	15	15	15	60
R^U	33	33	33	33	132
Sortividad					
-	6	6	6	6	24
Impedancia acústica					
-	3	3	3	3	12
Total					
-	57	57	57	57	228

Tabla 3-2: Número de probetas según el grupo de estudio y su ensayo correspondiente. Fuente: Elaboración propia.

3.1.5 Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Teniendo en cuenta el apartado respecto a la recolección de datos de Aliaga & Badajos (2018) se define:

El método de recolección corresponde a la observación directa.

Para la investigación se tienen como instrumentos cada uno de los correspondientes protocolos estipulados en la norma según cada procedimiento.

Las evidencias del proceso llevado a cabo para la realización del estudio se encuentran en el registro fotográfico correspondiente al **Anexo B**.

3.1.6 Método de análisis de datos

Para el análisis de los datos se usó el software estadístico Statgraphics 19, debido a sus características que facilitan la exploración, visualización y análisis de datos, a partir de esto se construyen gráficas y tablas para una mejor explicación y exposición de los resultados. También es necesario el uso del software Microsoft Excel para la automatizar fórmulas, procesos y cálculos para hacer el proceso de análisis y agrupación de una forma más dinámica. El objetivo es que la combinación de herramientas gráficas y de análisis ofrezcan una visión integral y precisa de los resultados de la investigación.

3.2 Etapa 1: Desempeño mecánico y durabilidad

3.2.1 Definición de los porcentajes de reemplazo de RHA

Para definir cada uno de los porcentajes de adición que se van a manejar en el estudio, se realizó una recolección literaria de proyectos y autores y sus respectivas investigaciones con RHA en morteros, teniendo en cuenta el carácter exploratorio de la investigación la limitada información disponible de morteros adicionados con el material en cuestión, por ello también se tuvieron en cuenta investigaciones enfocadas en el reemplazo parcial de cemento por RHA en concretos, si bien es de conocimiento la diferencia entre ambos materiales, el objetivo es tener una matriz más robusta de datos con respecto al estudio de RHA usando este elemento como analogía en el porcentaje de reemplazo.

3.2.2 Abreviaturas

Según Carrasquilla (2017) las abreviaturas facilitan la familiarización e interpretación de términos, por que resultan útiles cuando a la información es densa y variada dentro de los proyectos. Debido a la variedad de pruebas y ensayos que se contemplan para el desarrollo de la investigación, una vez definidos los grupos de estudio se determinan las abreviaturas.

3.2.3 Diseño de mezcla

Materiales

Teniendo en cuenta la NTC 220 se definieron las cantidades de los materiales para la obtención de la mezcla para la fundición de los cubos de ensayo según la cantidad de muestras que se desea realizar. Teniendo en cuenta las condiciones y necesidades de la presente investigación, se tuvo en cuenta la dosificación correspondiente a 6 cubos por mezcla.

En el marco de la investigación, se realizó el proceso de preparación de la RHA: Se llevó a cabo un proceso de recolección y posterior incineración con un rango de tiempo y temperatura controlados utilizando una mufla, dispositivo de calentamiento de precisión, por un periodo de 3 horas a una temperatura de 550° C. Posteriormente, la ceniza fue triturada hasta que pudiese pasar a través del tamiz de malla 200 (75 μ m), garantizando así una granulometría similar a la del cemento según indicaciones del director del proyecto.

Granulometría y módulo de finura

Se llevó a cabo un análisis granulométrico de la arena con para determinar la distribución del tamaño de las partículas para el diseño de mezcla. Se utilizaron una serie de tamices estándar conforme a la norma NTC 77 y se pesó cada fracción de material retenido para el cálculo de la distribución porcentual de los tamaños, se elaboró la curva granulométrica y se calculó el módulo de finura según la normativa establecida en la NTC 174.

Contenido de humedad

Con el fin de mantener una consistencia y calidad de las mezclas de mortero, es necesario realizar pruebas referentes al control del contenido de humedad de la arena cuyo procedimiento consiste en tomar muestras representativas (50 gr) de arena y medir el peso mediante el método de secado al horno a 110° C por 24 horas. Los resultados fueron utilizados para ajustar las proporciones de agua en las respectivas muestras de mortero.

3.2.4 Muestras

Mezclado

Teniendo en cuenta las cantidades de materiales señalados para cada grupo de estudio, se continuó con la preparación del mortero según se señala en la norma NTC 112, iniciando con la adición de los componentes del mortero, a excepción del agua, en el recipiente de

la mezcladora, ejecutando el proceso de mezclado con los tiempos según lo previsto por la norma antes mencionada.

Fluidez

Una vez se contó con la mezcla de mortero, esta fue llevada a la mesa de flujo para la realización del ensayo de fluidez siguiendo las pautas establecidas en la norma NTC 111.

Fundición

Si la mezcla era aprobada según su fluidez de acuerdo con la variable de control, se continúa con el llenado de los moldes respectivos según el ensayo en cuestión de la muestra de acuerdo con lo indicado en la norma NTC 220. Para los ensayos de compresión y sortividad, se usaron formaletas que dan la forma de cubo de 50 milímetros de lado. Para el ensayo de impedancia acústica, se emplearon formaletas cilíndricas con bases de diámetro coincidente con el diámetro interior del tubo de impedancia y una altura de 2 centímetros. Esto es representado en la **Figura 3-1**.

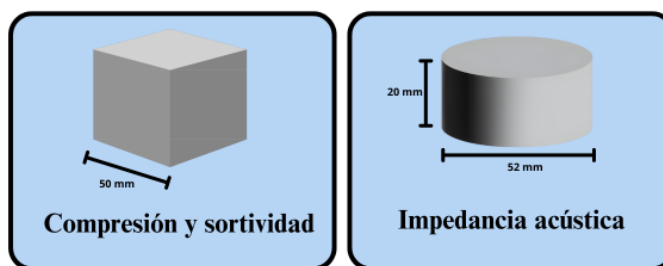


Figura 3-1: Formas de las muestras. Fuente: Elaboración propia.

Curado

Una vez llenos los moldes se colocaron en un cuarto por 24 horas, luego de transcurrido este tiempo se llevó a cabo el desencofre de las muestras las cuales fueron etiquetadas como se muestra en la **Figura 3-2** y posteriormente sumergidas en una piscina saturada con cal en una concentración de 2 g/l según se especifica en la NTC 220. En el proceso de curado de las mezclas, debido a las condiciones del laboratorio, no se controló la temperatura del agua de la piscina de curado, se estima que pudo oscilar entre los 28°C y los 32°C (fuente: laboratorista).

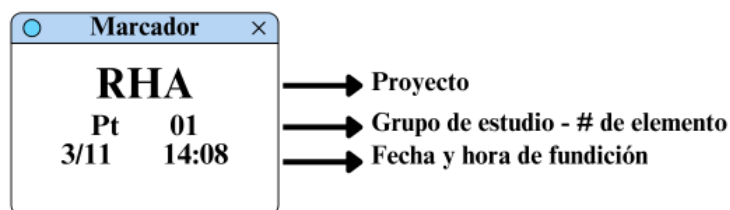


Figura 3-2: Información del marcador de las muestras. Fuente: Elaboración propia.

3.2.5 Resistencia a la compresión

La resistencia a la compresión se evaluó en 2 instancias, a los 14 días de edad determinándose como resistencia temprana, y a los 28 días de edad nombrándose resistencia última. La prueba se realiza con una máquina de resistencia a compresión marca controls Automax 5 calibrada de tipo mecánica (cumple con los requerimientos de la NTC 220), se aplica una carga axial continua y uniforme hasta la falla de la muestra. El resultado determina su desempeño estructural. Las muestras de mortero se elaboraron con una resistencia de diseño de 22.5 MPa.

3.2.6 Análisis estadístico: Resistencia a la compresión

Recopilación y organización de datos: los datos obtenidos de los ensayos de resistencia a la compresión se reunieron en tablas resumen según la edad de la muestra a la que fue sometida en el momento del ensayo.

Análisis de datos:

Para resistencia temprana

Se realizó un análisis descriptivo haciendo uso de cálculos de medidas de tendencia central dados por Excel y se compararon dichos resultados, buscando identificar el porcentaje de desarrollo de resistencia del mortero a los 14 días de curado a través de la comparación de la resistencia temprana con la resistencia final del mismo grupo de estudio.

Para la resistencia última

Inicialmente se evalúa si los datos obtenidos por los ensayos son representativos del mismo, llevando a cabo un análisis de varianza.

Análisis de varianza:

Con los datos previamente organizados, se exportan los datos de cada grupo de estudio a las celdas del programa Statgraphics para realizar el análisis de variable (análisis estadístico, intervalos de confianza, gráfico de dispersión, entre otros) obteniendo el reporte donde se recopila la información de los análisis realizados por el programa.

Según los análisis se define lo representativa que fue la medición para el grupo de estudio teniendo en cuenta los parámetros estadísticos que se mencionan, una vez aprobados todos los grupos de estudio, se procede a comparar entre cada uno de los grupos de estudio (R10^u, R15^u y R20^u) con el grupo de control (Pt^u).

Una vez establecidos los análisis se realiza un enfoque respecto a las comparaciones de medias, donde se visualizarán las pruebas de hipótesis, donde se define que:

Hipótesis Nula (H₀): no existe variabilidad significativa entre las medias de los grupos de estudio que se comparan.

3.2.7 Sortividad

El desempeño del concreto se ve ligado a su interacción con ambientes hostiles con respecto a su penetrabilidad de su sistema de poros, la entrada de agua u otros líquidos se controla en gran medida por la absorción debido a la capilaridad. Teniendo en cuenta el procedimiento indicado en la norma ASTM C1580-20, se realizó el ensayo de sortividad con el fin de determinar la susceptibilidad del mortero a la penetración del agua.

3.2.8 Análisis estadístico: Sortividad

Para analizar los datos de sortividad, es necesario tabular en un gráfico de dispersión los datos de la siguiente manera:

En primera instancia se realiza una tabla donde se indiquen los tiempos y las masas registradas, seguidamente se calcula el diferencial de masa entre la primera media (sin exposición al agua) y la medida correspondiente al tiempo de toma de dato. Seguidamente se realiza el cálculo la absorción (I) c, el cálculo se especifica en la ecuación (3.1)

$$I = \frac{\Delta m}{a * d} \quad (3.1)$$

Donde I es la absorción, Δm es el diferencial de masa, a el área expuesta en mm^2 y d la densidad del agua en g/mm^3 (0,001).

Para comparar las diferencias de rendimiento en diferentes instantes de tiempo tan distantes, se saca raíz cuadrada del tiempo en segundos, con este dato se grafica la absorción (I) en función del tiempo ($s^{1/2}$) en un gráfico de dispersión.

Para obtener las tasas de absorción del material, se prosigue como indica la ASTM c618. Debido a la irregularidad de la línea formada, es necesario dividir los datos en dos subgrupos por cada grupo de estudio:

- Absorción inicial, comprende los datos recolectados en el intervalo de tiempo de 0 a 6 horas desde el inicio del ensayo.
- Absorción secundaria, comprende los datos recolectados desde 1 día hasta el final del ensayo.

Una vez separados los datos, se aplica la regresión lineal a cada grupo de datos por separado con el fin de obtener una línea de tendencia entre los datos correspondiente a las muestras por subgrupo, con ayuda del programa Excel, se inserta la fórmula que describa la línea de tendencia (recta), según la ASTM c618, la pendiente de dicha fórmula representa la tasa de absorción correspondiente al tipo de absorción del grupo de estudio. La norma también establece un parámetro estadístico para aprobar la validez de la tasa de absorción, es necesario calcular el coeficiente de determinación (r^2) y que este no sea inferior a 0.95 lo que indicaría el porcentaje de linealidad de los datos como aprobado. Al final se realiza la comparación de tasas de absorción entre grupos de estudio para el análisis de la propiedad.

3.3 Etapa 2: Desempeño acústico

3.3.1 Principio del ensayo

Se tiene un tubo de impedancia recto, rígido y liso. En uno de los extremos del tubo, debe colocarse con ajuste perfecto el objeto de prueba al que se quiere determinar cómo absorbe o refleja el sonido. En el otro extremo del tubo, debe colocarse un altavoz que emite ondas planas, ya sean aleatorias, pseudoaleatorias, o un chirrido. Se colocan micrófonos en dos lugares cercanos a la muestra que midan la presión del sonido generado, para posteriormente determinar la función de transferencia acústica compleja de las dos señales

de cada dispositivo y calcular el factor de reflexión complejo de incidencia normal r , el coeficiente de absorción de incidencia normal α y la relación de impedancia del material de prueba Z .

Las cantidades se determinan en función de la frecuencia, cuyo rango utilizable depende de las dimensiones transversales del tubo y la distancia entre las posiciones del micrófono; por tanto al usar combinaciones con diferentes anchos y espaciamientos, puede obtenerse un rango de frecuencia ampliado.

Las mediciones se pueden realizar empleando una de las dos técnicas descritas por la norma, el método de los dos micrófonos colocados en dos posiciones fijas y el método de un micrófono ubicado en dos posiciones diferentes de forma secuencial. Por aspectos técnicos, económicos y de tiempo, se opta por realizar las mediciones por medio del método de los dos micrófonos fijos, siendo una técnica lo suficientemente conveniente para la precisión que se busca en la presente investigación.

3.3.2 Elementos del equipo de prueba

Según la norma ISO 10534-2, el equipo de prueba necesario para la ejecución del ensayo y la obtención de resultados esperados debe constar de:

1. **Un tubo de Impedancia**, el cual funcionará como ducto por el cual se moverá el sonido, lo suficientemente largo para para que se desarrollen ondas planas desde la fuente hasta el objeto de prueba y lo suficientemente grueso para evitar escapes y vibraciones no deseadas.
2. **Un soporte de muestra de prueba**, donde se dispondrán los diferentes objetos y materiales que se desean estudiar.
3. **Dos micrófonos o un micrófono de sonda (para la variación en el método)**, que captará el sonido y lo convertirá en señales interpretables.
4. **Un dispositivo para mover y posicionar el micrófono de sonda**, que trabajará como brazo que facilitará el desplazamiento del micrófono para una captación más precisa del sonido en diferentes lugares, en caso de que sea la técnica a emplear.
5. **Un equipo de procesamiento de señales**, que tomará las señales que proporciona el micrófono y las convertirá en datos compatibles con una computadora u otro dispositivo para su observación. Debe componerse por un amplificador y un sistema

de análisis Transformada rápida de Fourier de dos canales (FFT), el cual calculará la función de la transferencia de sonido de un micrófono a otro (H_{12}).

6. **Un altavoz**, el cual producirá el sonido **y un generador de señales**, el cual se encargará de controlarlo, de forma que sea una fuente de sonido dirigida dentro del rango de frecuencia de trabajo del equipo.
7. **Una terminación absorbente del tubo de impedancia**, que permita que el sonido no rebote de forma excesiva.
8. **Un termómetro**, para asegurar un control riguroso de la temperatura, con el fin de que no afecte el movimiento del sonido y se desempeñe en condiciones normales.

Rango de frecuencia de trabajo

El rango de frecuencia de trabajo del tubo de impedancia es definido por tres valores, la frecuencia de trabajo más baja (f_l), la frecuencia de trabajo más alta (f_u) y la frecuencia de operación (f), definido cómo:

$$f_l < f < f_u \quad (3.2)$$

Donde f_l está limitado por la precisión del equipo de procesamiento de señales y la separación entre los micrófonos, y f_u es elegido para evitar la aparición de propagación de modos de onda con frecuencias más altas que la onda plana, cumpliendo una condición para tubos circulares que:

$$d < 0,58 \lambda_u ; f_u \cdot d < 0,58 c_0 \quad (3.3)$$

Siendo d el diámetro interno en metros y f_u la frecuencia medida en hercios.

La separación s entre los micrófonos medida en metros, debe elegirse de modo que:

$$f_u \cdot s < 0,45 c_0 \quad (3.4)$$

Cuanto mayor sea la distancia entre los micrófonos, mejor será la precisión de las mediciones de sonido.

Control de temperatura

En mediciones de sonido, es importante mantener la temperatura dentro del tubo constante, con una tolerancia de ± 1 K, recordando que la velocidad del sonido c_0 la longitud de onda del sonido λ_0 dependen de la temperatura. Si la temperatura varía excesivamente, las mediciones serán entonces aún más inexactas.

$$c_0(T) = c_0(T_0) \sqrt{T/T_0} \quad (3.5)$$

Donde:

T_0 : Temperatura de referencia definida en la ecuación (3.9)

T : Temperatura en el tubo de impedancia

3.3.3 Mediciones preliminares

El equipo de prueba se debe montar según se ilustra en la figura mostrada a continuación y se someterá a pruebas de verificación antes de su utilización, las cuales excluyen posibles fuentes de error y garantizan el cumplimiento de los requisitos mínimos.

Las verificaciones antes y después de cada prueba incluyen asegurar la consistencia de la respuesta del micrófono, medir la temperatura y realizar una prueba de relación señal-ruido. Las calibraciones periódicas se realizan con una terminación rígida del tubo de impedancia vacío, cuyo objetivo será la determinación del centro acústico de un micrófono, y/o las correcciones por atenuación en el tubo de impedancia.

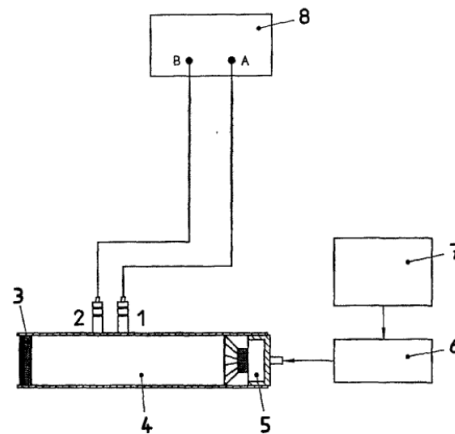


Figura 3-3: Ejemplo de montaje para equipos de prueba. Tomado de: Organización Internacional de normalización [ISO] (1998)

Donde:

1. Micrófono A
2. Micrófono B
3. Especimen de prueba
4. Tubo de impedancia
5. Fuente de sonido
6. Amplificador

7. Generador de señal
8. Sistema de análisis de frecuencia

3.3.4 Procedimiento de prueba

Montaje de la muestra de prueba

Al colocar la muestra, esta debe ajustarse al soporte sin compresión excesiva ni ajuste exagerado. Se deben ensayar al menos dos muestras, más si no son uniformes, bajo las mismas condiciones.

Determinación de la velocidad del sonido, longitud de onda e impedancia característica

Antes de realizar las mediciones, es necesario conocer la velocidad del sonido c_0 dentro del tubo con la cual se calculará la longitud de onda en las frecuencias de medición posteriormente. La velocidad del sonido se puede determinar a partir de la temperatura del aire del tubo con la siguiente ecuación, tomando como base la ecuación (3.5):

$$c_0 = 343.2 \sqrt{T/293} \text{ (m/s)} \quad (3.6)$$

De esta se deriva el cálculo de la longitud de onda:

$$\lambda_0 = c_0/f \quad (3.7)$$

Y se establece la densidad del aire con la ecuación:

$$\rho = \rho_0 \cdot \frac{P_a \cdot T_0}{P_0 \cdot T} \quad (3.8)$$

Donde T es la temperatura en Kelvin, P_a es la presión atmosférica en kPa, y

$$T_0 = 293 \text{ K}$$

$$P_0 = 101.325 \text{ kPa}$$

$$\rho_0 = 1.186 \text{ kg/m}^3$$

Corrección por desajuste de los micrófonos

Cuando se emplea la técnica de dos micrófonos, siendo el caso de este proyecto, es esencial corregir los datos de la función de transferencia pues pueden existir discrepancias entre los canales. Esto puede lograrse intercambiando los canales y realizando mediciones repetidas o mediante el uso de un factor de calibración predeterminado.

Debido a que el método del factor de calibración predeterminado es usado en escenarios donde se pretende una misma corrección que se aplique a todas las mediciones

subsiguientes, se opta por emplear dicho procedimiento para asegurar más precisión y mayor practicidad.

Factor de calibración predeterminado

Esta corrección, que emplea un espécimen de calibración especial, debe realizarse antes de evaluar una serie de muestras, ya que después de calibrar los micrófonos estos permanecen en su posición. El procedimiento consiste en la colocación de la muestra de calibración especial en el tubo según se describe en la sección “**Montaje de la muestra de prueba**” y posterior medición de las funciones de transferencia H_{12}^I y H_{12}^{II} utilizando las mismas expresiones matemáticas para ambos casos, especificados a continuación.

Primero, se ubican los micrófonos en la configuración estándar (Configuración I) y se registra la función de transferencia H_{12}^I . Luego, se intercambian los micrófonos A y B (Configuración II), como se indica en las siguientes **Figuras 3-4 y 3-5**.

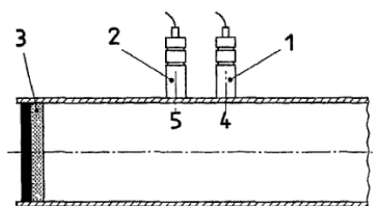


Figura 3-4: Configuración estándar (configuración I). Tomado de: Organización Internacional de normalización [ISO] (1998)

Donde:

1. Micrófono A
2. Micrófono B
3. Especimen de prueba
4. Posición 1
5. Posición 2

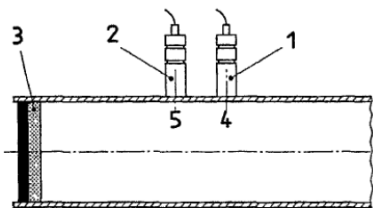


Figura 3-5: Configuración con micrófonos intercambiados (configuración II). Tomado de: Organización Internacional de normalización [ISO] (1998)

Donde:

1. Micrófono B
2. Micrófono A
3. Espécimen de prueba
4. Posición 1
5. Posición 2

Finalmente, se debe medir la función de transferencia H_{12}^{II} con esta última configuración. Una vez medida la función de transferencia H_{12}^I y H_{12}^{II} , se calcula el factor de calibración del tubo H_c utilizando la siguiente ecuación:

$$H_c = (H_{12}^I / H_{12}^{II})^{1/2} = |H_c|e^{j\Phi} \quad (3.9)$$

En caso de que el analizador solo pueda medir funciones de transferencia en una dirección (por ejemplo, del micrófono A al micrófono B), H_c se puede calcular mediante la siguiente ecuación:

$$H_c = (H_{12}^I \cdot H_{12}^{II})^{1/2} = |H_c|e^{j\Phi} \quad (3.10)$$

Para realizar los ensayos sucesivos, se colocan los micrófonos en la configuración estándar (Configuración I) y se mide la función de transferencia sin corregir $\hat{H}_{12}$, para posteriormente ser corregida con la siguiente ecuación:

$$H_{12} = |H_{12}|e^{j\Phi} = \frac{\hat{H}_{12}}{H_c} \quad (3.11)$$

Determinación de la función de transferencia entre las dos ubicaciones

Luego de seguir los requisitos de una de las dos técnicas detalladas por la norma, se procede a medir la función de transferencia acústica compleja.

La función de transferencia acústica compleja puede ser expresada de la siguiente forma:

$$H_{12} = \frac{S_{12}}{S_{11}} = |H_{12}|e^{j\Phi} = H_r + jH_i \quad (3.12)$$

Donde:

H_r es la parte real de H_{12}

H_i es la parte real de H_{12}

S_{12} (espectro cruzado) es el producto $P_1 \cdot P_2$ determinado a partir de las presiones acústicas P_1 y P_2 en dos posiciones de micrófono.

S_{11} (auto espectro) es el producto $P_1 \cdot P_1$ determinado a partir de la presión acústicas P_1 en una única posición de micrófono.

Determinación del factor de reflexión

Para calcular el factor de reflexión en incidencia normal r , se debe usar la siguiente expresión:

$$r = e^{j\Phi_r} = r_r + jr_i = \frac{H_{12} - H_I}{H_R - H_{12}} e^{2jk_0x_1} \quad (3.13)$$

Donde:

r_r es la componente real

r_i es la componente imaginaria

x_1 es la distancia entre la muestra y el micrófono más lejano

Φ_r es el ángulo de fase del factor de reflexión de incidencia normal

H_I y H_R son la función de transferencia para la onda incidente y reflejada, respectivamente

Las presiones acústicas de la onda incidente P_I y la onda reflejada P_R son respectivamente:

$$P_I = \hat{P}_I e^{jk_0x} \quad (3.14)$$

$$P_R = \hat{P}_R e^{-jk_0x} \quad (3.15)$$

Donde:

$\hat{P}_I$ y $\hat{P}_R$ son los módulos de P_I y P_R en el plano de referencia ($x=0$)

$k_0 = k_0'' - k_0'''$ es un número complejo de onda

Con base en ello, las presiones acústicas P_1 y P_2 en las dos posiciones de micrófono se pueden expresar cómo:

$$P_1 = \hat{P}_I e^{jk_0x_1} + \hat{P}_R e^{-jk_0x_1} \quad (3.16)$$

$$P_2 = \hat{P}_I e^{jk_0x_2} + \hat{P}_R e^{-jk_0x_2} \quad (3.17)$$

Donde x_1 y x_2 son las distancias de cada micrófono a la muestra.

Entonces, conociendo que $H_{12} = \frac{P_2}{P_1}$, la función de transferencia para la onda incidente H_I y la función de transferencia para la onda reflejada H_R se podrán determinar cómo:

$$H_I = \frac{P_{2I}}{P_{1I}} = e^{-jk_0(x_1 - x_2)} \quad (3.18)$$

$$H_R = \frac{P_{2R}}{P_{1R}} = e^{jk_0(x_1 - x_2)} \quad (3.19)$$

Donde $(x_1 - x_2)$ equivale a la separación entre micrófonos s .

Determinación del coeficiente de absorción acústica

Una vez obtenido el coeficiente de reflexión r se podrá calcular el coeficiente de absorción acústica de incidencia normal cómo:

$$\alpha = 1 - |r|^2 = r_r^2 - r_i^2 \quad (3.20)$$

Determinación de la relación de impedancia acústica específica o impedancia normalizada

Finalmente, para calcular la impedancia normalizada z se hace uso de la siguiente expresión:

$$z = \frac{Z}{Z_0} = \frac{R}{\rho c_0} + \frac{jX}{\rho c_0} = \frac{1+r}{1-r} \quad (3.21)$$

Donde:

R es la componente real

X es la componente imaginaria

ρc_0 es la impedancia característca Z_0

3.3.5 Equipo de prueba empleado

El equipo utilizado para la obtención de las propiedades acústicas necesarias para el proyecto, es un prototipo proporcionado por la empresa huilense IDELAC SAS el cual fue diseñado y construido bajo las especificaciones y recomendaciones de la norma ISO 10534-2 y calibrado mediante un proceso de validación con mediciones realizadas en laboratorios certificados de Estados Unidos, como el Riverbank Acoustical Laboratories, y resultados obtenidos en estudios de similar naturaleza.

Los principales materiales empleados en la construcción del tubo de impedancia acústica se describen en la siguiente **Tabla 3-3**:

MATERIAL	MODELO	MARCA
Tubo de metal sch 40 Ø2,375" L: 80 cm	—	—
Micrófono flexible jack 3.5mm	—	WYMECT
Módulo sensor de sonido análogo	DFR0034	—
Tarjeta de adquisición (ESP)	ESP32-WROOM- 32	TSMC
Altavoz 8 ohms Ø2"	COM-09151	Sparkfun
PC	A1465	Macbook Air

Tabla 3-3: Materiales empleados para el montaje. Fuente: Elaboración propia.

A continuación, se muestra en las **Figuras 3-6 a 3-10** el montaje final del equipo y los elementos que lo conforman según sus funciones específicas descritas en la sección “Elementos del equipo de prueba”.



Figura 3-6: Tubo de impedancia. Fuente: Elaboración propia.



Figura 3-7: Soporte de muestra o portamuestras de prueba. Fuente: Elaboración propia.

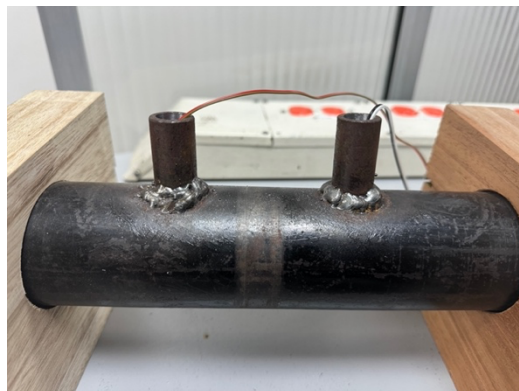


Figura 3-8: Micrófonos. Fuente: Elaboración propia.

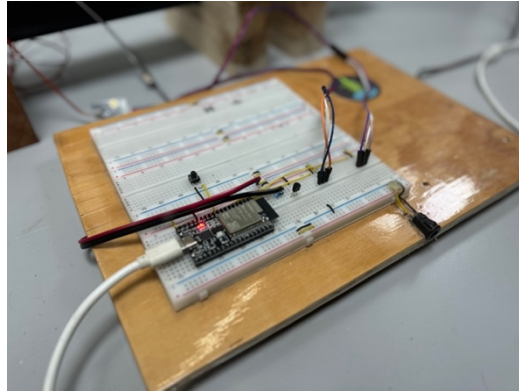


Figura 3-9: Equipo de procesamiento de señales acústicas. Fuente: Elaboración propia.



Figura 3-10: Altavoz y generador de señales acústicas. Fuente: Elaboración propia.

Determinación del rango de frecuencia de trabajo

De forma preliminar, conforme a los datos del equipo, para el cálculo de la velocidad de onda en el tubo se tomó una temperatura de 27° C de acuerdo con la temperatura ambiente promedio de Neiva.

$$c_0 = 343.2 \sqrt{T/293}$$

$$c_0 = 343.2 \sqrt{301/293} = 347.853 \text{ m/s}$$

Sabiendo que la frecuencia de trabajo más alta está relacionada con la velocidad de onda y el diámetro del tubo, se determina a partir de la ecuación limitante (3.3) despejando f_u y reemplazando los valores correspondientes:

$$f_u \cdot d < 0,58 c_0$$

$$f_u < \frac{0,58 c_0}{d}$$

$$f_u < \frac{0,58 \times 347.85}{0.05251} = 3842.182 \text{ Hz}$$

Con ello se puede expresar que 3843.182 Hz es la frecuencia más alta que garantiza la no generación de ondas no planas. Sin embargo, también se hace presente otro precepto que limita esta frecuencia a partir de la distancia entre micrófonos s . Siguiendo las recomendaciones de la norma, se escoge una separación de 0.080 m, por lo que se procede a determinar la frecuencia mediante la ecuación limitante (3.4), igualmente despejando f_u y reemplazando las variables:

$$\begin{aligned} f_u \cdot s &< 0.45 c_0 \\ f_u &< \frac{0.45 c_0}{s} \\ f_u &< \frac{0.45 \times 347.85}{0.080} = 1956.673 \text{ Hz} \end{aligned}$$

Teniendo esto en cuenta, aunque la ecuación (3.3) proporciona un límite de frecuencia superior que garantiza la no propagación de ondas no planas, esta se ve aún más limitada por el resultado de la ecuación (3.4); por lo que se opta por elegir dicha frecuencia al ser el caso más crítico.

Por otra parte, sabiendo que la frecuencia más baja f_l se limita por la exactitud del equipo de procesamiento de señales y la distancia entre micrófonos s cumpliendo que debe exceder el 5% de la longitud de onda, se tiene que:

$$s > \frac{5}{100} \lambda_1$$

Cómo $\lambda_0 = \frac{c_0}{f}$, entonces:

$$s > \frac{5}{100} \frac{c_0}{f_1}$$

Se despeja f_l y se reemplazan los valores correspondientes para su determinación, obteniendo:

$$\begin{aligned} f_1 &> \frac{5}{100} \frac{c_0}{s} \\ f_1 &> \frac{5}{100} \frac{347.85}{0.080} = 217.406 \text{ Hz} \end{aligned}$$

Por lo tanto, asumiendo una temperatura dentro del tubo de 27° C y teniendo en cuenta las limitaciones y condiciones de la norma, el equipo registra un rango de frecuencia de trabajo de 220 Hz a 1940 Hz para las especificaciones de instrumentación propuestas.

Verificación de los requisitos dados por la norma

A continuación, se procederá a verificar, de acuerdo con lo estipulado por la normativa pertinente, que los parámetros de diseño del tubo de impedancia utilizado cumplen con los requisitos especificados. Esto garantizará la conformidad del procedimiento con los estándares normativos, asegurando así su validez y fiabilidad conforme a las regulaciones establecidas. Los parámetros de diseño en su totalidad se encuentran descritos en el **Anexo C**.

- **Dimensiones del tubo:**

De acuerdo con la norma base ISO 10534-2, se recomienda un espesor de aproximadamente el 5% del diámetro para tubos metálicos circulares para evitar que las paredes vibren por el paso del sonido y no muestre resonancias de vibración en el rango de frecuencia de trabajo.

En el presente proyecto se usó un tubo de 3.91 mm (sch 40) de espesor, siendo este el 6.48% del diámetro del mismo. A pesar de que el tubo no cumple con lo requerido con exactitud, se optó por continuar con el elemento mencionado al ser una opción aproximada a lo sugerido, pues un tubo que cumpla con las especificaciones descritas en la norma es de difícil obtención en el mercado e implica un alto costo.

- **Micrófonos:**

Se establece que para micrófonos montados en la pared, estos no deben situarse a una distancia menor de tres veces de diámetro del tubo a la fuente y en ningún caso a un diámetro de tubo, para permitir que se disipen los modos superiores y únicamente sean captadas las ondas planas.

Debido a que la distancia del altavoz al primer micrófono se definió como 0.53 m y el diámetro del tubo equivale a 0.06033 m; la ubicación de los micrófonos cumple con lo establecido en la norma como se muestra a continuación:

$$distancia > 3d$$

$$530\text{ mm} > 3(60.33\text{ mm})$$

$$530 \text{ mm} > 180.99 \text{ mm} \checkmark$$

Además, se recomienda que los diámetros de los micrófonos sean pequeños en comparación con la relación c_0/f_u . Para un valor $c_0 = 347.85 \text{ m/s}$ y $f_u = 1940 \text{ Hz}$, y un diámetro de micrófono de 0.015 m , se tiene que:

$$d_m < \frac{c_0}{f_u}$$
$$0.015 \text{ m} < \frac{347.85}{1940} = 0.179 \text{ m} \checkmark$$

Por lo tanto, este requisito cumple.

Como última recomendación en esta sección, se establece que los diámetros de los micrófonos también deben ser inferiores al 20% de la distancia entre ellos. La distancia s se estableció como 0.080 m , por lo tanto esta condición cumple sabiendo que:

$$d_m < \frac{20}{100} s$$
$$0.015 \text{ m} < \frac{20}{100} (0.080 \text{ m})$$
$$0.015 \text{ m} < 0.016 \text{ m} \checkmark$$

- **Distancia a la muestra de estudio:**

La norma determina que para muestras sin elemento de estructura, es recomendable $1/2$ de diámetro para la distancia de la muestra al micrófono más cercano, 1 diámetro para elementos con estructura semilateral y 2 diámetros para elementos fuertemente asimétricos, pues la forma en que están colocadas las muestras de prueba puede afectar las mediciones al causar distorsiones de proximidad al campo acústico.

En este caso, la muestra que se empleó posee una simetría semilateral al tratarse de discos de mortero. Debido a que esta distancia se definió en 0.10 m y el diámetro del tubo es de 0.06033 m , la ubicación del micrófono cumple con la recomendación.

- **Volumen de aire:**

Para finalizar, se establece que es conveniente dejar un volumen de aire detrás del objeto de prueba que funcione como liberación de presión en ciertos experimentos. En el **Anexo C** de la norma se especifica que esta debe ser exactamente $\lambda_0/4$, para la frecuencia de prueba, como es mostrado a continuación:

$$\frac{c_0/f_u}{4} = \frac{347.85/1940}{4} = 0.0448$$

Debido que a partir de dicha condición se estableció una profundidad de 0.045 m, este valor cumple.

3.4 Etapa 3: Definición de porcentaje óptimo

Teniendo en cuenta el diseño de experimentación establecido al principio del título correspondiente a Metodología y los resultados de las etapas 1 y 2 correspondiente a los datos recopilados de cada uno de los ensayos realizados se procede secuencialmente con la Etapa 3.

En esta etapa se realizó el análisis de datos, recopilando los resultados de los análisis de las etapas anteriores para establecer una relación y una comparación del desempeño de las propiedades evaluadas respecto a la variable independiente (el porcentaje de reemplazo) con el fin de establecer qué porcentaje de reemplazo representado por los grupos de estudio tiene un mejor desempeño.

3.5 Etapa 4: Análisis económico

Se realizó un análisis de precios unitarios (APU) para cada una de las mezclas estudiadas, con precios locales y aplicado al tipo de mortero nombrado comúnmente como mortero 1:2, solo se tomará en cuenta el apartado correspondiente a **“Materiales”**.

Con los datos obtenidos por los APU se realizó un análisis comparativo entre los grupos de estudio teniendo en cuenta criterios de comparación como el precio unitario y la viabilidad técnica. Se realizó un análisis de documentos estatales de Fedearroz y el DANE donde se habla de la cascarilla de arroz en la región, su aprovechamiento y su valorización en la industria, se soportó con recopilación bibliográfica como un apoyo adicional respecto al tema.

Capítulo 4

4. Análisis de resultados

4.1 Etapa 1: Desempeño mecánico y durabilidad

4.1.1 Definición de los porcentajes de reemplazo de RHA

Se revisaron los estudios de 20 documentos, entre ellos se encuentran tesis, estudios y artículos referidos a investigaciones relacionadas con el desempeño de la propiedad de resistencia a la compresión de morteros o concretos con un porcentaje de reemplazo parcial del cemento, se tuvieron en cuenta los resultados y sus análisis por lo que se incluyeron los porcentajes de reemplazo con resultados favorables a dicha propiedad y los que no, esto se visualiza de forma más clara en el **Anexo D**, con dichos datos se realizó la **Tabla 4-1** como resumen.

Porcentaje de reemplazo	Aprobada	Reprobada	Total
5%	12	2	14
10%	19	3	22
15%	12	6	18
20%	6	4	10
25%	1	3	4
30%	0	2	2

Tabla 4-1: Frecuencia de casos aprobados y reprobados según el porcentaje de adición.

Fuente: Elaboración propia.

Seguidamente se separaron los datos recolectados según la información suministrada por los resultados de los estudios en porcentajes de reemplazo aprobados y no aprobados según sus respectivas pruebas de resistencia a la compresión resultando en el desarrollo de la **Tabla 4-1** (Desarrollo mostrado a detalle en el **Anexo D**). Teniendo en cuenta los resultados obtenidos del desempeño de los porcentajes de reemplazo del concreto por RHA en mortero y concreto, la moda se ve representada por el porcentaje de adición de 10%, el segundo con más frecuencia corresponde con 15% de reemplazo (**Figura 4-1**), debido a esto se fijan como porcentajes óptimos para el estudio. Para seleccionar el tercer porcentaje de reemplazo se tuvo en cuenta evaluar la influencia de una mayor cantidad del material en cuestión debido al impacto que pueda presentar un porcentaje mayor de reemplazo, en este caso fue seleccionado el 20% como tercera dosificación.

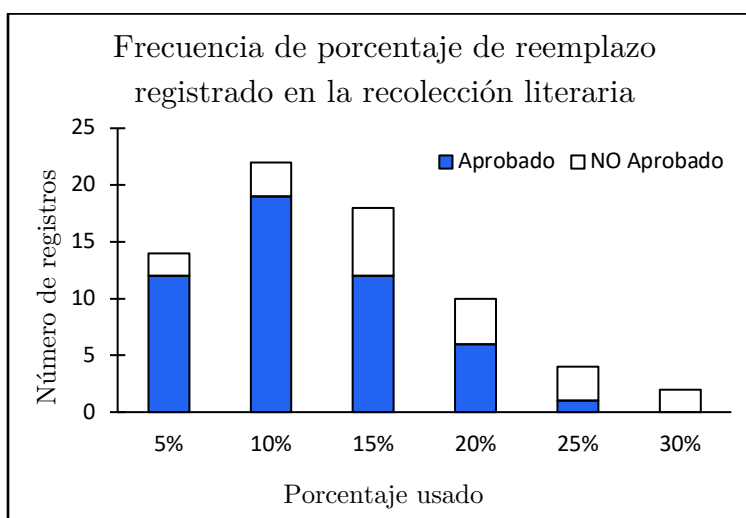


Figura 4-1: Columnas apiladas de registros de casos según el porcentaje de adición. Fuente: Elaboración propia.

Porcentajes de reemplazo de cemento por RHA seleccionados:

1. 10%
2. 15%
3. 20%

Abreviaturas

Debido a la disposición de grupos de prueba para la realización de la metodología del ensayo, se dispone del uso de las siguientes abreviaturas:

- Pt → Patrón, mortero sin porcentaje de reemplazo (grupo de control).
- 10R → Mortero con porcentaje de reemplazo del 10% (Grupo de estudio 1)
- 15R → Mortero con porcentaje de reemplazo del 15% (Grupo de estudio 2)
- 20R → Mortero con porcentaje de reemplazo del 20% (Grupo de estudio 3)
- ^t → Resistencia temprana a la compresión (14 días)
- ^u → Resistencia última a la compresión (28 días)

Diseño de mezcla

Teniendo en cuenta la NTC 220 se definieron las cantidades de los materiales para obtener los cubos de ensayo de mortero, en el apartado de la norma se determinan dos apartados según la cantidad de muestras que se desee realizar con una sola mezcla, los apartados corresponden a 6 y 9 cubos, debido a los elementos y las condiciones del laboratorio es necesario tener en cuenta solo la dosificación para la fabricación de 6 cubos por mezcla, en la **Tabla 4-2** se especifican los diseños de mezcla calculados para cada grupo de estudio.

GRUPO	Material	Und	6 cubos
Pt	Cemento	g	500
	Arena	g	1370
	Agua	ml	242
	RHA	g	-
10R	Cemento	g	450
	Arena	g	1370
	Agua	ml	242
	RHA	g	50
15R	Cemento	g	425
	Arena	g	1370
	Agua	ml	242
	RHA	g	75
20R	Cemento	g	400
	Arena	g	1370
	Agua	ml	242
	RHA	g	100

Tabla 4-2: Diseño de mezclas calculados para cada grupo de estudio para 6 cubos basado en la dosificación de la NTC 220. Fuente: Elaboración propia.

Análisis granulométrico

TAMIZ	ABERTURA (mm)	RETENIDO (g)	% RETENIDO	% RET ACUM	% PASA
4	4.76	0.68	0.1	0.1	100.0
8	2.38	16.13	2.7	2.8	97.2
16	1.19	35.17	5.9	8.7	91.3
30	0.595	145.59	24.3	33.0	67.0
50	0.297	281.6	47.0	79.9	20.1
100	0.15	95.96	16.0	95.9	4.1
200	0.075	21.28	3.5	99.5	0.5
Fondo		3.1	0.5	100.0	0.0
TOTAL		599.51	100.0		

Tabla 4-3: Análisis granulométrico de la arena. Fuente: Elaboración propia.

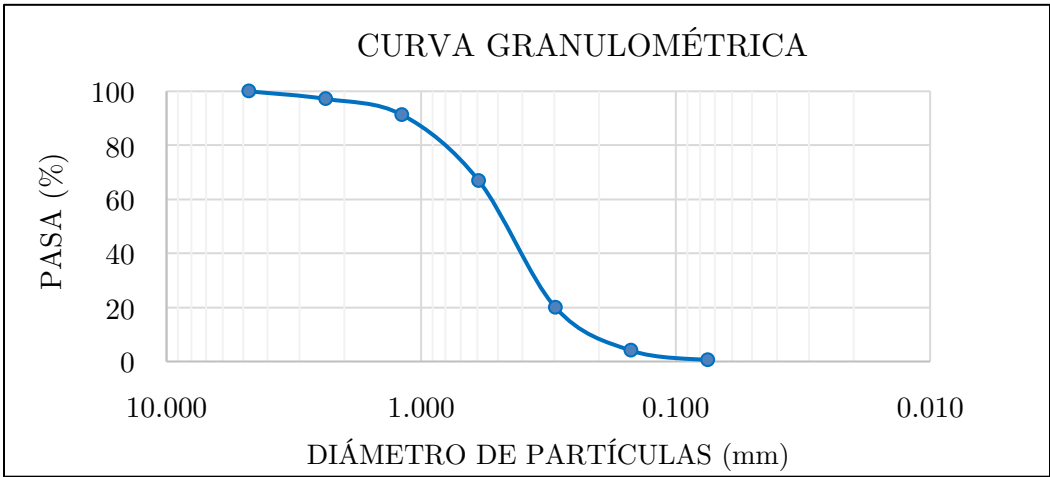


Figura 4-2: Curva granulométrica. Fuente: Elaboración propia.

De la **Tabla 4-3** se obtiene que el Módulo de finura para el agregado fino es igual a 2.20

Muestras

En la **Tabla 4-4** se presenta un resumen de las mezclas realizadas, al igual que datos correspondientes a medidas realizadas por mezcla, se presenta una casilla de observaciones debido a la presencia de muestras descartadas y para indicar las mezclas de las que se obtuvieron los discos de mortero.

El detalle de los datos de las mezclas y de cada una de las muestras, se encuentran en el **Anexo E**.

Mezcla	% Humedad Arena	Relación A/C	% Fluidez	Observaciones
1 Pt	0	0.53	19.4	-
2 Pt	0	0.53	21.4	-
3 Pt	0	0.52	17.3	1 muestra descartada
4 Pt	0	0.54	21.5	-
5 Pt	0	0.52	22.9	-
6 Pt	0.2	0.52	22.7	Se funde 1 disco de mortero
7 Pt	0.2	0.52	20.4	Se funde 1 disco de mortero
8 Pt	0.2	0.52	21.4	Se funde 1 disco de mortero
1 R10	0.2	0.63	22.1	-
2 R10	0.2	0.64	22.2	-
3 R10	0.2	0.64	15.9	-
4 R10	0	0.64	21.4	Se funde 1 disco de mortero
5 R10	0	0.64	22.1	Se funde 1 disco de mortero
6 R10	0	0.64	20.9	Se funde 1 disco de mortero
7 R10	0	0.64	16.6	-
8 R10	0	0.64	20.2	-
1 R15	0	0.7	19.4	-
2 R15	0	0.72	24.4	Se funde 1 disco de mortero
3 R15	0	0.7	18.6	Se funde 1 disco de mortero
4 R15	0	0.71	24.2	Se funde 1 disco de mortero
5 R15	0	0.71	21.8	-
6 R15	0	0.7	21.2	-
7 R15	0	0.71	21.1	-
8 R15	0	0.71	21	-
1 R20	0.2	0.77	20.6	Se funde 1 disco de mortero
2 R20	0.2	0.81	24	Se funde 1 disco de mortero
3 R20	0.2	0.81	24.3	Se funde 1 disco de mortero
4 R20	0.2	0.81	21.6	1 muestra descartada
5 R20	0	0.77	21.6	-
6 R20	0	0.8	23,1	-
7 R20	0	0.77	22	-
8 R20	0	0.77	24.8	-

Tabla 4-4: Resumen de datos por mezclas. Fuente: Elaboración propia.

Debido a las muestras descartadas de los grupos Pt (mezcla 3 Pt) y R20 (mezcla 4 R20) por mal apisonamiento de la mezcla al momento de fundir la unidad, se descartó al azar

uno de los elementos de los otros grupos para igualar el número de muestras por grupo en 32 ejemplares.

4.1.1 Resistencia a la compresión

Resistencia temprana a la compresión (Rt)(MPA)			
Patrón	10% RHA	15% RHA	20% RHA
29.28	28.78	21.55	19.08
27.29	28.89	21.3	20.24
27.37	26.82	21.22	16.46
22.02	19.95	20.17	21.4
27.63	23.48	21.28	21.03
28.77	21.91	18.75	19.96
21.36	22.57	16.71	22.18
23.84	25.55	16.93	22.16
22.49	22.54	18.23	21.18
22.7	25.7	23.87	21.25
23.78	27.93	24.18	18.54
26.86	27.14	24.35	17.69
29.94	26.93	20.86	18.09
26.92	25.61	25.3	15.42
31.38	24.1	22.49	17.06

Tabla 4-5: Resumen resistencia temprana a la compresión RHA. Fuente Elaboración propia

Las **Tablas 4-5 y 4-6** son resúmenes de los datos de los ensayos a compresión, para consultar datos como: área de las caras, carga máxima, promedio de cumplimiento y demás datos correspondientes a cada una de las muestras y ensayos a compresión se recomienda revisar el **Anexo B**.

Resistencia última a la compresión (Ru) (MPa)			
Patrón	10% RHA	15% RHA	20% RHA
34.52	30.59	29.15	27.08
33.71	30.38	28.36	25.51
33.15	29.56	28.17	25.4
32.08	29.31	27.72	25.26
31.28	28.59	27.66	25.09
31.26	28.45	27.42	24.49
30.22	27.45	27.22	24.26
29.59	27.08	27.11	24.24
28.94	26.84	26.72	23.75
28.92	26.56	26.52	23.54
28.63	25.91	26.,4	23.21
28.32	25.87	26.38	23.15
28.3	25.78	26.08	22.68
27.63	25.31	25.9	22.53
26.51	25.11	25.53	22.5
26.39	24.77	25.32	22.27
26.3	24.38	25.24	22.23
25.93	23.9	25.13	22.14
25.63	23.84	25.05	22.11
25.52	23.52	24.76	21.92
25.2	23.48	24	21.75
24.93	23.4	23.92	21.73
24.6	23.11	23.8	21.69
24.32	22.98	23.79	21.64
23.37	22.41	23.21	21.58
23.01	22.36	22.99	21.35
22.03	22.26	22.67	20.56
21.66	22.22	22.06	19.91
21.64	22.13	21.65	19.53
21.25	20.93	21.45	19.51
20.21	20.85	20.19	18.97
18.84	18.59	17.14	18.67

Tabla 4-6: Resumen resistencia última a la compresión RHA. Fuente: Elaboración propia.

Los datos obtenidos de los ensayos de resistencia a la compresión se encuentran expuestos en la **Tabla 4-5** (Resistencia temprana) y la **Tabla 4-6** (Resistencia última). Estos están

ordenados en la secuencia en que se realizó el ensayo con su respectiva muestra y se separaron teniendo en cuenta el grupo de estudio correspondiente.

4.1.2 Análisis estadístico: Resistencia a la compresión.

Los datos obtenidos de los ensayos de resistencia a la compresión se encuentran expuestos en la **Tabla 4-5** (Resistencia temprana) y la **Tabla 4-6** (Resistencia última). Estos están ordenados en la secuencia en que se realizó el ensayo con su respectiva muestra y se separaron teniendo en cuenta el grupo de estudio correspondiente.

Análisis de datos:

Resistencia temprana (14 días)

Para considerar la media como representativa del ensayo de cada grupo de estudio, se realizó un ajuste de distribución en el programa Statgraphics, los resultados indicaron que los grupos Pt^t , $R10^t$, $R15^t$ y $R20^t$ provienen de una distribución normal; el detalle de los análisis, así como las pruebas de normalidad por grupo se encuentran en el **Anexo F** en su apartado de “Ajuste de distribución de resistencia a la compresión.

Con el contenido de la **Tabla 4-5**, se calculan las medidas de tendencia central por medio de Excel, y se construye la **Tabla 4-7**.

Grupo de estudio	Tamaño de la muestra	Media (MPa)	Mediana (MPa)	Desviación estándar	Mínimo (MPa)	Máximo (MPa)	Intervalos de confianza (MPa)
Pt^t	15	26.11	26.92	3.16995013	21.36	31.38	26.1 ± 2.4
$R10^t$	15	25.19	25.61	2.67733521	19.95	28.89	25.2 ± 2.1
$R15^t$	15	21.15	21.28	2.65779662	16.71	25.3	21.1 ± 2
$R20^t$	15	19.45	19.96	2.15503221	15.42	22.18	19.4 ± 1.7

Tabla 4-7: Análisis descriptivo por grupos de estudio ensayo de resistencia temprana a la compresión. Fuente: Elaboración propia.

Análisis descriptivo

De acuerdo con lo calculado en la **Tabla 4-7**, se pueden realizar las siguientes afirmaciones:

La media y mediana del grupo de control Pt^t tienen los valores de media y mediana más altos de todo el estudio de resistencia temprana a la compresión, indicando que en una

etapa temprana, los morteros adicionados con RHA disminuyeron la resistencia a la compresión.

La media y mediana de R_{10}^t presentan una disminución de 3.5% (media) y 4.8% (mediana) respecto a Pt^t , por lo que el desempeño de este en resistencia a la compresión temprana se asemeja al registrado por el grupo de control.

Los grupos R_{15}^t y R_{20}^t presentan una media y una mediana con una disminución superior al 19% con respecto al grupo de control en resistencia a la compresión temprana.

La desviación estándar y los rangos comprendidos entre los valores mínimos y máximos de cada grupo disminuyeron paulatinamente desde el grupo de control Pt^t en secuencia con los demás grupos de estudio, esto quiere decir que la sustitución de cemento por RHA representó en este estudio una mejor consistencia en los datos (menos variabilidad) en la medición de resistencia temprana a la compresión (14 días).

Resistencia última (28 días)

En una primera instancia es necesario evaluar los resultados de los ensayos con el fin de descubrir si los resultados de la prueba son significativos, para ello se realizó el análisis de varianza.

Análisis descriptivo

Análisis de varianza por grupo de estudio:

Los análisis de una variable se encuentran en el **Anexo F** donde se describe con detalle la interpretación estadística del programa y los datos tomados en cuenta para sus afirmaciones, en esta sección se recopilaron los resúmenes estadísticos y las interpretaciones de interés para definir que los datos tomados son representativos del ensayo por grupo de estudio.

Análisis de una variable - Pt

Recuento	32
Promedio	26.684
Desviación estándar	4.068
Coefficiente de variación	15.25%

Mínimo	18.84
Máximo	34.52
Rango	15.68
Sesgo estandarizado	0.195
Curtosis estandarizada	-0.767

Tabla 4-8: Resumen estadístico para Pt^u por Statgraphics. Fuente: **Anexo F**.

El análisis StatAdvisor de Statgraphics menciona lo siguiente respecto al grupo de estudio: “Si los valores estadísticos del sesgo estandarizado (0,195) y la curtosis (-0,767) estandarizada se encuentran fuera del rango de -2 a +2 indican desviaciones fuera de la normalidad... El valor del sesgo estandarizado se encuentra dentro del rango esperado para datos provenientes de una distribución normal. El valor de la curtosis estandarizada se encuentra dentro del rango esperado para datos provenientes de una distribución normal” Este análisis indica que la toma de mediciones para el grupo de estudio Pt^u es representativa del ensayo de dicho grupo.

Análisis de una variable -R10

Recuento	32
Promedio	24.935
Desviación estándar	2.964
Coefficiente de variación	11.89%
Mínimo	18.59
Máximo	30.59
Rango	12
Sesgo estandarizado	0.453
Curtosis estandarizada	-0.552

Tabla 4-9: Resumen estadístico para R10ⁿ por Statgraphics. Fuente: **Anexo F**.

El análisis StatAdvisor de Statgraphics menciona lo siguiente respecto al grupo de estudio: “Si los valores estadísticos del sesgo estandarizado (0.453) y la curtosis (-0.552) estandarizada se encuentran fuera del rango de -2 a +2 indican desviaciones fuera de la normalidad... El valor del sesgo estandarizado se encuentra dentro del rango esperado para

datos provenientes de una distribución normal. El valor de la curtosis estandarizada se encuentra dentro del rango esperado para datos provenientes de una distribución normal” Este análisis indica que la toma de mediciones para el grupo de estudio R10^u es representativa del ensayo de dicho grupo.

Análisis de una variable -R15

Recuento	32
Promedio	24.953
Desviación estándar	2.633
Coefficiente de variación	10.55%
Mínimo	17.14
Máximo	29.15
Rango	12.01
Sesgo estandarizado	-1.993
Curtosis estandarizada	1.27

Tabla 4-10: Resumen estadístico para R15^u por Statgraphics. Fuente **Anexo F**.

El análisis StatAdvisor de Statgraphics menciona lo siguiente respecto al grupo de estudio: “Si los valores estadísticos del sesgo estandarizado (-1.993) y la curtosis (1.27) estandarizada se encuentran fuera del rango de -2 a +2 indican desviaciones fuera de la normalidad... El valor del sesgo estandarizado se encuentra dentro del rango esperado para datos provenientes de una distribución normal. El valor de la curtosis estandarizada se encuentra dentro del rango esperado para datos provenientes de una distribución normal” Este análisis indica que la toma de mediciones para el grupo de estudio R15^u es representativa del ensayo de dicho grupo.

Análisis de una variable -R20

Recuento	32
Promedio	22,507
Desviación estándar	2,026
Coefficiente de variación	9,00%
Mínimo	18,67
Máximo	27,08

Rango	8,41
Sesgo estandarizado	0,219
Curtosis estandarizada	-0,272

Tabla 4-11: Resumen estadístico para R20^u por Statgraphics. Fuente: **Anexo F**.

El análisis StatAdvisor de Statgraphics menciona lo siguiente respecto al grupo de estudio: “Si los valores estadísticos del sesgo estandarizado (0.219) y la curtosis (-0.272) estandarizada se encuentran fuera del rango de -2 a +2 indican desviaciones fuera de la normalidad... El valor del sesgo estandarizado se encuentra dentro del rango esperado para datos provenientes de una distribución normal. El valor de la curtosis estandarizada se encuentra dentro del rango esperado para datos provenientes de una distribución normal” Este análisis indica que la toma de mediciones para el grupo de estudio R20^u es representativa del ensayo de dicho grupo.

El análisis de variable completo de cada grupo de estudio se encuentra en el **Anexo F** en su apartado “**Análisis de una variable (Resistencia última)**”. Se realizó un ajuste de distribución en el programa Statgraphics, los resultados corroboraron que los grupos Pt^u, R10^u, R15^u y R20^u provienen de una distribución normal; el detalle de los análisis, así como las pruebas de normalidad por grupo se encuentran en el **Anexo F** en su apartado de “**Ajuste de distribución de resistencia a la compresión**”.

Una vez comprobado que los datos de las mediciones son representativos de cada grupo de estudio, se realiza la comparación de grupos de estudio R10^u, R15^u y R20^u con el grupo de control Pt.

Comparación de muestras Pt y R10

El análisis StatAdvisor de Statgraphics menciona lo siguiente respecto a la prueba para comparar medias:

- “Prueba t para comparar medias
- Hipótesis nula: media 1 = media 2
- Hipótesis alterna: media 1 <> media 2
- Suponiendo varianzas iguales: t=1.96561 valor P=0.0538264
- No se rechaza la hipótesis nula

... no hay diferencia significativa entre las dos muestras de datos, con un nivel de confianza de 95%... puesto que el valor P calculado no es menor que 0.05, no se puede rechazar la hipótesis nula.”

El grupo de estudio R10^u posee medidas cuya media se encuentra dentro del nivel alfa respecto al grupo de control Pt^u, es por ello por lo que se afirma que el comportamiento a compresión última del mortero de grupo R10 no posee diferencias significativas con Pt.

Comparación de muestras Pt y R15

El análisis StatAdvisor de Statgraphics menciona lo siguiente respecto a la prueba para comparar medias:

- “Prueba t para comparar medias
- Hipótesis nula: media 1 = media 2
- Hipótesis alterna: media 1 $\neq$ media 2
- Suponiendo varianzas iguales: $t=2.01284$ valor $P=0.0474891$
- Se rechaza la hipótesis nula

... existe una diferencia significativa entre las dos muestras de datos, con un nivel de confianza de 95%... puesto que el valor P calculado es menor que 0.05, se puede rechazar la hipótesis nula.”

El grupo de estudio R15^u posee medidas cuya media no se encuentra dentro del nivel alfa respecto al grupo de control Pt^u, es por ello por lo que se afirma que el comportamiento a compresión última del mortero de grupo R15 posee diferencias significativas con Pt.

La media del grupo R15^u de estudio se encuentra un 6,5% por debajo de la media del grupo de control Pt^u, debido a los parámetros establecidos para el análisis ($\alpha=0.05$) no es posible aprobar la hipótesis nula. Debido a que la media se encuentra por debajo de la registrada por Pt, se afirma que el grupo R15^u disminuyó su resistencia en comparación con el grupo de control.

A pesar de esto el mortero posee un comportamiento que teniendo en cuenta su media 24.9597 y la desviación estándar 2.6333 se puede obtener el intervalo de (27.593 – 22.326) que se encuentra dentro de lo permitido dentro de la NSR-10 para morteros de alta resistencia tipo H cuya resistencia mínima a la compresión es 22.5.

Comparación de muestras Pt y R20

El análisis StatAdvisor de Statgraphics menciona lo siguiente respecto a la prueba para comparar medias:

- “Prueba t para comparar medias
- Hipótesis nula: media 1 = media 2
- Hipótesis alterna: media 1 $\neq$ media 2
- Suponiendo varianzas iguales: $t=5.19796$ valor $P=0.00000239164$
- Se rechaza la hipótesis nula

... existe una diferencia significativa entre las dos muestras de datos, con un nivel de confianza de 95%... puesto que el valor P calculado es menor que 0.05, se puede rechazar la hipótesis nula.”

El grupo de estudio R20^u posee medidas cuya media no se encuentra dentro del nivel alfa respecto al grupo de control Pt^u, es por ello por lo que se afirma que el comportamiento a compresión última del mortero de grupo R20 posee diferencias significativas con Pt.

La media del grupo R20^u de estudio se encuentra un 15.66% por debajo de la media del grupo de control Pt^u, para los parámetros establecidos para el análisis ($\alpha=0.05$) no es posible aprobar la hipótesis nula. Debido a q la media se encuentra por debajo de la registrada por Pt, se afirma que el grupo R20^u disminuyó su resistencia en comparación con el grupo de control. A pesar de esto el mortero posee un comportamiento que teniendo en cuenta su media 22.5078 y la desviación estándar 2.0263 se puede obtener el intervalo de (24.619 – 20.566) que se encuentra dentro de lo permitido dentro de la NSR-10 para morteros tipo M cuya resistencia mínima a la compresión es 17.15.

Los detalles de los análisis de comparación de muestras en resistencia última a la compresión y las pruebas de hipótesis, se encuentran en el **Anexo F** en su apartado de “**Análisis de comparación con el grupo de control Pt**”. Con los datos de la resistencia última y resistencia temprana a la compresión se puede calcular el porcentaje de desarrollo de resistencia en instancias tempranas, para su cálculo se construyó la **Tabla 4-12** donde por sus resultados se puede decir que, los grupos Pt y R10 desarrollan casi toda su resistencia en una instancia temprana, por lo que se interpreta con que los morteros alcanzan rápidamente gran parte de su capacidad de máxima resistencia. Por otro lado,

los grupos R15 y R20 desarrollaron alrededor de un 15% de su resistencia última en el intervalo de 14 a 28 días de curado.

Medias (MPa)	Pt	R10	R15	R20
Resistencia Temprana	26.109	25.193	21.146	19.449
Resistencia Última	26.684	24.935	24.953	22.507
% de desarrollo	98%	101%	85%	86%

Tabla 4-12: Porcentaje de desarrollo de resistencia temprana. Fuente: Elaboración propia.

Como resumen de los ensayos a compresión se construyó la tabla 4-13 donde se indican los valores de Media de resistencia a la compresión última, % de desarrollo de resistencia temprana, el análisis obtenido respecto a la resistencia y el tipo de mortero según la NSR-10 al que corresponde según la resistencia mínima permitida. Se calcula también un % de cumplimiento con el tipo de mortero según NSR-10 correspondiente a la razón entre la resistencia mínima del tipo de mortero según NSR-10 y la resistencia última media obtenida en el estudio.

Compresión RHA	Pt	R10	R15	R20
Resistencia última media (Mpa)	26.684	24.935	24.953	22.507
% de desarrollo temprano	98%	101%	85%	86%
Análisis	Grupo de control	Sin diferencias significativas con el grupo de control	Disminuye la resistencia respecto al grupo de control	Disminuye la resistencia respecto al grupo de control
Tipo de mortero aplicable	H	H	H	M
Resistencia mínima del tipo de mortero según NSR-10	22.5	22.5	22.5	17.5
% de cumplimiento con resistencia mínima según NSR-10	119%	111%	111%	129%

Tabla 4-13: Resumen apartado de compresión del estudio. Fuente: Elaboración propia.

4.1.3 Sortividad

Tiempo		$\sqrt{\text{tiempo}}$	Prom Pt			Prom R10		
Des.	Seg. (s)	$s^{1/2}$	Masa	ΔMasa	I Pt	Masa	ΔMasa	I R10
Inicio	0	0	277.24	0.00	0.00	273.11	0.00	0.00
1 Mn	60	8	278.45	1.21	0.48	274.67	1.56	0.62
5 Mn	300	17	279.20	1.96	0.78	275.51	2.40	0.96
10 Mn	600	24	279.45	2.21	0.88	275.77	2.66	1.06
20 Mn	1200	35	279.74	2.50	1.00	276.10	2.99	1.19
30 Mn	1800	42	280.06	2.81	1.13	276.39	3.28	1.31
1 H	3600	60	280.78	3.54	1.42	277.30	4.19	1.67
2 H	7200	85	282.61	5.37	2.15	279.30	6.19	2.48
3 H	10800	104	283.93	6.69	2.68	280.44	7.33	2.93
4 H	14400	120	284.90	7.66	3.06	281.72	8.61	3.44
5 H	18000	134	285.77	8.52	3.41	282.72	9.61	3.84
6 H	21600	147	286.55	9.30	3.72	283.52	10.41	4.16
1 D	86400	294	296.06	18.81	7.53	293.50	20.39	8.15
2 D	172800	416	297.22	19.98	7.99	294.89	21.78	8.71
3 D	259200	509	297.76	20.52	8.21	295.75	22.64	9.05
4 D	345600	588	298.29	21.04	8.42	296.43	23.32	9.33
7 D	604800	778	298.94	21.69	8.68	297.31	24.20	9.68
8 D	691200	831	299.24	22.00	8.80	297.65	24.54	9.81

Tabla 4-14: Resultados promedio de sortividad Parte 1. Fuente: Elaboración propia.

Tiempo		$\sqrt{\text{tiempo}}$	Prom R15			Prom R20		
Des.	Seg. (s)	$s^{1/2}$	Masa	ΔMasa	I R15	Masa	ΔMasa	I R20
Inicio	0	0	263.67	0.00	0.00	263.57	0.00	0.00
1 Mn	60	8	266.39	2.72	1.09	265.95	2.38	0.95
5 Mn	300	17	269.07	5.40	2.16	270.77	7.20	2.88
10 Mn	600	24	269.90	6.22	2.49	271.95	8.38	3.35
20 Mn	1200	35	271.29	7.62	3.05	273.46	9.89	3.96
30 Mn	1800	42	272.01	8.34	3.34	274.68	11.11	4.44
1 H	3600	60	274.30	10.63	4.25	277.11	13.54	5.42
2 H	7200	85	279.49	15.81	6.33	283.43	19.86	7.94
3 H	10800	104	282.42	18.75	7.50	287.03	23.46	9.38
4 H	14400	120	284.88	21.20	8.48	289.12	25.55	10.22
5 H	18000	134	286.20	22.53	9.01	289.68	26.11	10.44
6 H	21600	147	287.19	23.52	9.41	289.97	26.40	10.56
1 D	86400	294	290.15	26.47	10.59	290.89	27.32	10.93
2 D	172800	416	290.76	27.09	10.84	291.44	27.87	11.15
3 D	259200	509	291.10	27.43	10.97	291.63	28.06	11.22
4 D	345600	588	291.33	27.65	11.06	291.88	28.31	11.32
7 D	604800	778	291.74	28.07	11.23	292.21	28.64	11.46
8 D	691200	831	292.02	28.34	11.34	292.61	29.04	11.62

Tabla 4-15: Resultados promedio de sortividad Parte 2. Fuente: Elaboración propia.

En las **Tablas 4-14 y 4-15** se muestran los promedios de las medidas del ensayo de sortividad según los grupos de estudio y el tiempo de toma de la muestra. La temperatura del agua promedio registrada es de 22.7° C. Para ver el detalle de la toma de datos, el valor de temperatura por registro, los resultados tabulados por muestra y gráficas por cada espécimen de todos los grupos de estudio se recomienda revisar el **Anexo G**.

Se establece el formato de identificación del ensayo como se indica en la norma ASTM c618 esta información se establece en la **Tabla 4-16**:

Recolección de datos de prueba de tasa de absorción de agua				
Número de muestra		-----		
Acondicionamiento de la muestra:	Fundición, curado al vapor	Fecha de fundición	17/04/2024	
Edad de la muestra (días):	20	Fecha de inicio de la prueba	7/05/2024	
Medida del lado (mm):	50			
Temperatura del agua (°C):	22.7			
Área expuesta (mm2):	2500			

Tabla 4-16: Formato de identificación del ensayo de sortividad del proyecto. Fuente:
Elaboración propia.

4.1.4 Análisis estadístico: Sortividad

En primera instancia se realizó un análisis denominado “comparación de varias muestras” en Statgraphics de todos los datos de cada muestra por grupo de estudio, donde se incluye un análisis de varianza y una prueba de varios rangos. Los análisis de todos los grupos concluyeron que no existe diferencia estadísticamente significativa entre las medias de las 6 variables de cada grupo de estudio, debido a esto se considera la media del grupo de estudio como representativa de las muestras que contiene dicho grupo. El análisis completo y detallado de comparación de varias muestras se encuentra en el **Anexo F** en su apartado “**Comparación de varias muestras sortividad**”.

Se realiza el gráfico como indica la norma ASTM c618. En primera instancia, el primer gráfico (figura 4-3) corresponde a un gráfico de dispersión de la absorción (I) en función del tiempo ($s^{1/2}$).

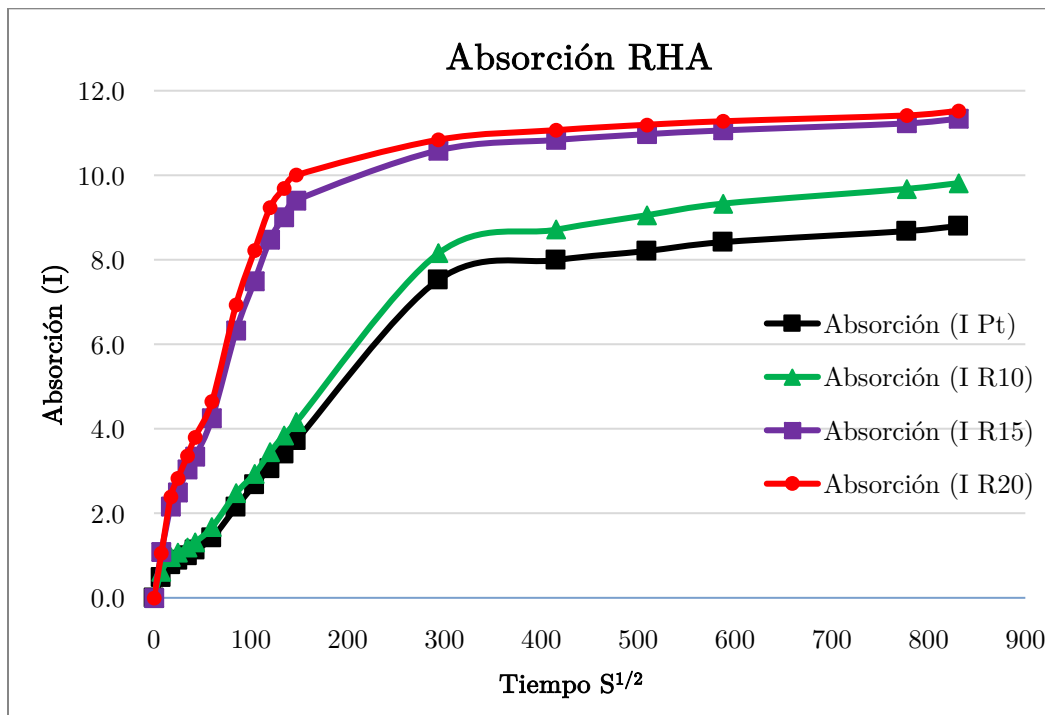


Figura 4-3: Gráfico de dispersión por grupos de estudio del índice de absorción. Fuente: Elaboración propia.

Se dividen los datos según los tiempos para cada grupo de estudio de la siguiente manera:

- Absorción inicial, comprende los datos recolectados en el intervalo de tiempo de 0 a 6 horas desde el inicio del ensayo.
- Absorción secundaria, comprende los datos recolectados desde 1 día hasta el final del ensayo.

Con el software Excel se inserta:

- La línea de tendencia central para cada intervalo de absorción.
- La fórmula que describa la línea de tendencia central (Recta)
- El coeficiente de determinación R^2

Lo que da como resultado las **Figuras 4-4, 4-5, 4-6 y 4-7.**

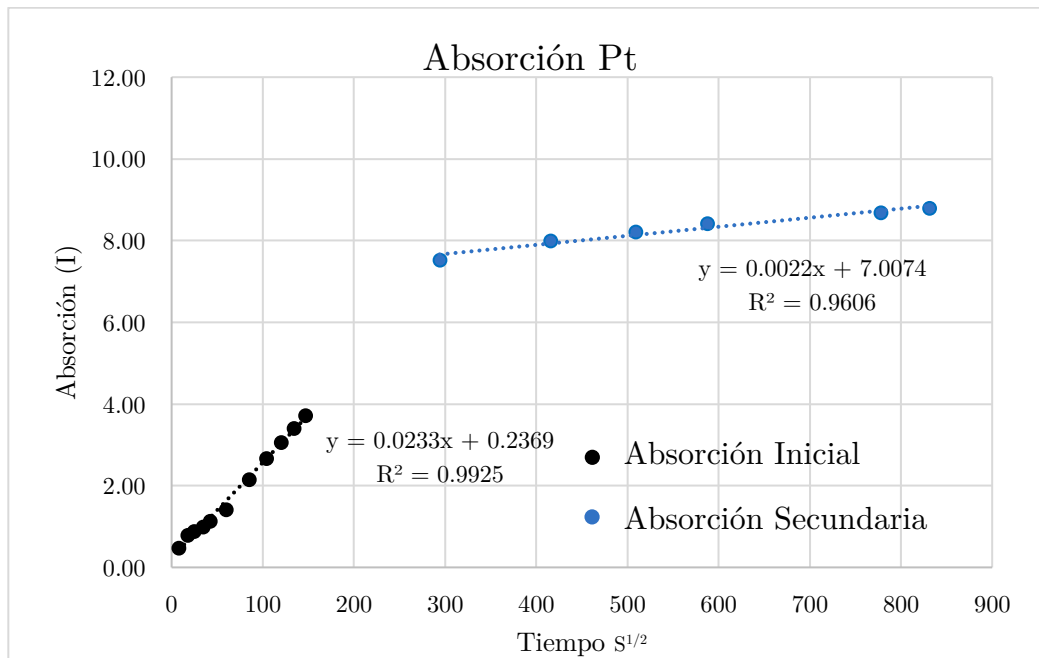


Figura 4-4: Gráfica de absorción grupo de estudio Pt, regresión lineal. Fuente: Elaboración propia.

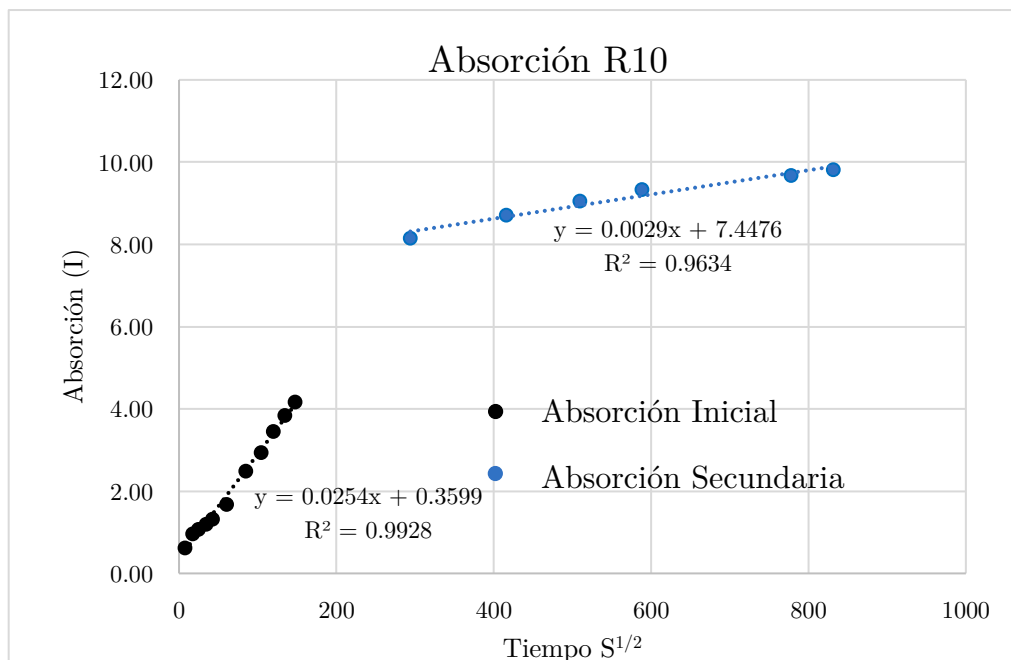


Figura 4-5: Gráfica de absorción grupo de estudio 10R, regresión lineal. Fuente: Elaboración propia.

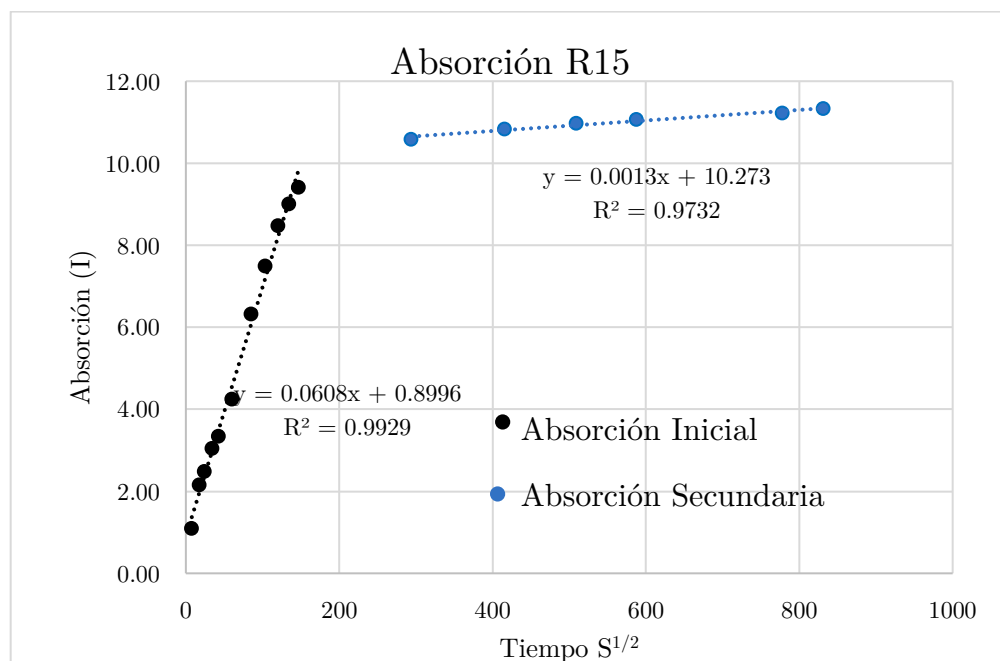


Figura 4-6: Gráfica de absorción grupo de estudio R15, regresión lineal. Fuente: Elaboración propia.

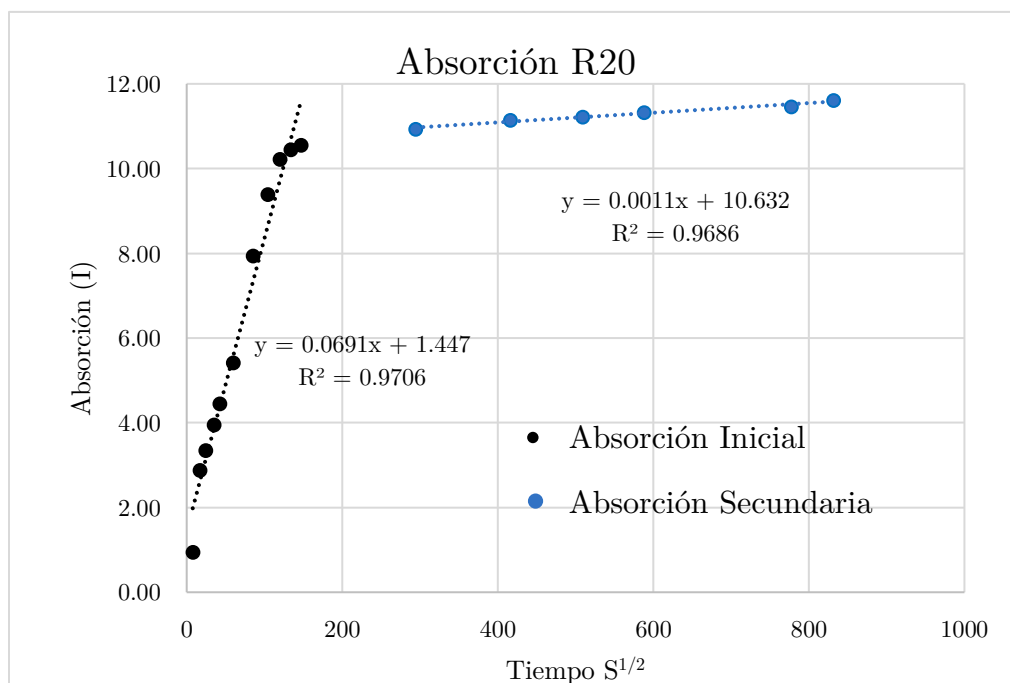


Figura 4-7: Gráfica de absorción grupo de estudio R20, regresión lineal. Fuente: Elaboración propia.

Con los datos obtenidos se recopilieron las fórmulas y el coeficiente de determinación de cada tipo de absorción por grupo de estudio. Con esos datos se construyó la **Tabla 4-17** donde se procede a evaluar el estado de regresión lineal teniendo en cuenta el coeficiente de determinación.

Se establece el parámetro de:

Si $R^2 < 0.95 \rightarrow$ Rechazado

Si $R^2 > 0.95 \rightarrow$ Aprobado

Estado de regresión lineal					
Grupo de estudio	Tipo de absorción	Fórmula	Pendiente	R^2	Estado
Pt	Inicial	$y = 0.0233x + 0.2369$	0.0233	0.9925	Aprobado
	Secundaria	$y = 0.0022x + 7.0074$	0.0022	0.9606	Aprobado
R10	Inicial	$y = 0.0254x + 0.3599$	0.0254	0.9928	Aprobado
	Secundaria	$y = 0.0029x + 7.4476$	0.0029	0.9634	Aprobado
R15	Inicial	$y = 0.0608x + 0.8996$	0.0608	0.9929	Aprobado
	Secundaria	$y = 0.0013x + 10.273$	0.0013	0.9732	Aprobado
R20	Inicial	$y = 0.0691x + 1.447$	0.0691	0.9706	Aprobado
	Secundaria	$y = 0.0011x + 10.632$	0.0011	0.9678	Aprobado

Tabla 4-17: Estado de regresión lineal. Fuente: Elaboración propia.

Todos los modelos son aprobados, lo que sugiere que las ecuaciones de regresión describen representativamente el comportamiento del parámetro absorción de agua que representa.

Seguidamente, se construye la **Tabla 4-18** donde se separa la pendiente que según la ASTM c618 corresponde a la tasa de absorción, esta se realiza con el fin de comparar los valores correspondientes.

Tasa de absorción				
Tipo de absorción	Pt	R10	R15	R20
Inicial	0.0233	0.0254	0.0608	0.069
Secundaria	0.0022	0.0029	0.0013	0.0011

Tabla 4-18: Tasas de absorción por grupo de estudio. Fuente: Elaboración propia.

Teniendo en cuenta los resultados se realizan las siguientes afirmaciones:

Grupos de estudio Pt y R10

Los grupos de estudio Pt y R10 muestran un comportamiento similar, este último presenta un aumento del 9% en su tasa de absorción inicial, por lo que en un primer contacto con el agua el grupo de estudio R10 presentó un ligero aumento en la absorción por capilaridad respecto al grupo Pt. El porcentaje de reemplazo de R10 aumentó ligeramente la permeabilidad del mortero en las primeras instancias de exposición.

El grupo de estudio R10 en su tasa de absorción secundaria presenta un aumento del 31.8% respecto al grupo de estudio Pt, por lo que en un contacto prolongado con el agua, el mortero de R10 aumenta en casi una tercera parte la tasa de absorción respecto al mortero Pt. El porcentaje de reemplazo de R10 aumentó la permeabilidad del mortero en instancias de exposición más avanzadas.

Grupos de estudio Pt y R15

El grupo de estudio R15 presenta una tasa de absorción inicial 160% mayor al del grupo de estudio Pt, lo que se traduce en un aumento de la permeabilidad del mortero R15 de más de 2.5 veces con respecto al grupo de estudio de control Pt, lo que indicaría que en instancias tempranas a la exposición con el agua, con respecto a Pt, R15 representa una disminución en la impermeabilidad del mortero.

El grupo de estudio R15 en su tasa de absorción secundaria presenta un decrecimiento del 40.91% respecto al grupo de estudio Pt, por lo que en un contacto prolongado con el agua, el mortero de R15 aumenta la impermeabilidad del material con respecto al grupo Pt.

Grupos de estudio Pt y R20

El grupo de estudio R20 presenta una tasa de absorción inicial 196% mayor al del grupo de estudio Pt, lo que se traduce en que la permeabilidad del mortero R20 se triplica con respecto al grupo de estudio de control Pt, lo que indicaría que en instancias tempranas a la exposición con el agua, con respecto a Pt, R20 representa una disminución en la impermeabilidad del mortero.

El grupo de estudio R20 en su tasa de absorción secundaria presenta un decrecimiento del 50% respecto al grupo de estudio Pt, por lo que en un contacto prolongado con el agua, el mortero de R20 aumenta el doble la impermeabilidad del material con respecto al grupo Pt.

4.2 Etapa 2: Desempeño acústico

Haciendo uso del equipo descrito anteriormente, se realizó la recopilación de los valores reales e imaginarios de las funciones de transferencias complejas H_{12} , H_I y H_R de las dos posiciones de micrófono mediante una tarjeta de adquisición de datos. Debido a que estos son los únicos datos que proporciona el equipo, se realizaron hojas de cálculo en el programa Excel siguiendo el procedimiento y ecuaciones pertinentes para hallar los factores necesarios, las cuales pueden ser visualizadas en el **Anexo H**. Para cada muestra se realizaron 10 mediciones para asegurar repetitividad y se promediaron los resultados obtenidos siguiendo la metodología propuesta por Gil Gutiérrez (2021).

En las **Figuras 4-8 a 4-19** se evidencian las gráficas representativas de los coeficientes de reflexión, absorción e impedancia de los materiales, evaluados para cada una de las frecuencias del rango de trabajo. Se debe tener en cuenta que al tratarse de un equipo prototipo, las mediciones son aproximadas.

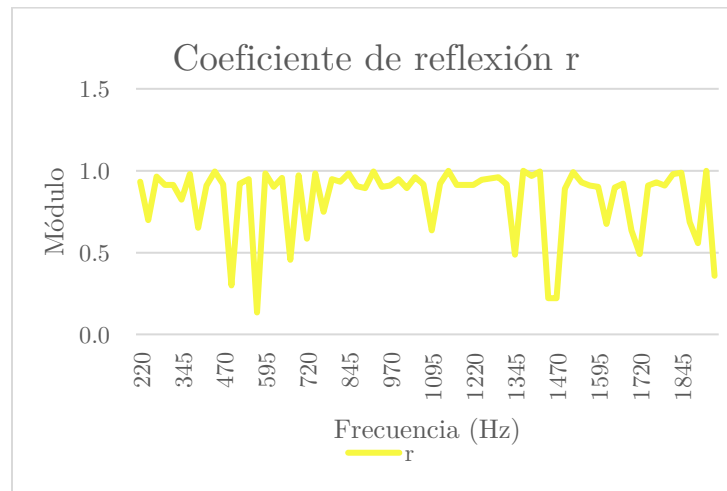


Figura 4-8: Coeficiente de reflexión r (Patrón). Fuente: Elaboración propia.

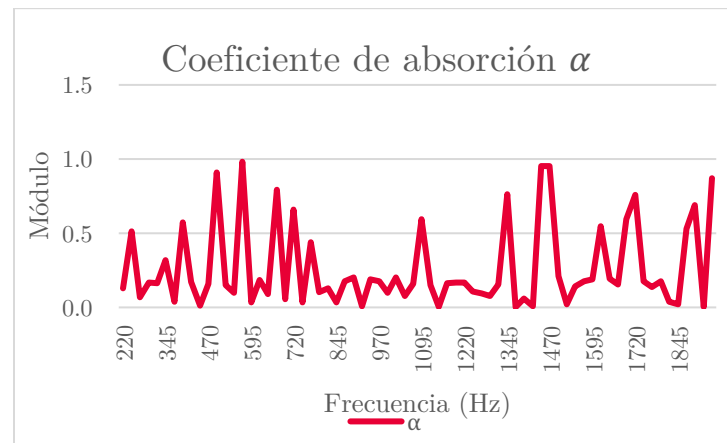


Figura 4-9: Coeficiente de absorción α (Patrón). Fuente: Elaboración propia.



Figura 4-10: Coeficiente de Impedancia Acústica Z (Patrón). Fuente: Elaboración propia.

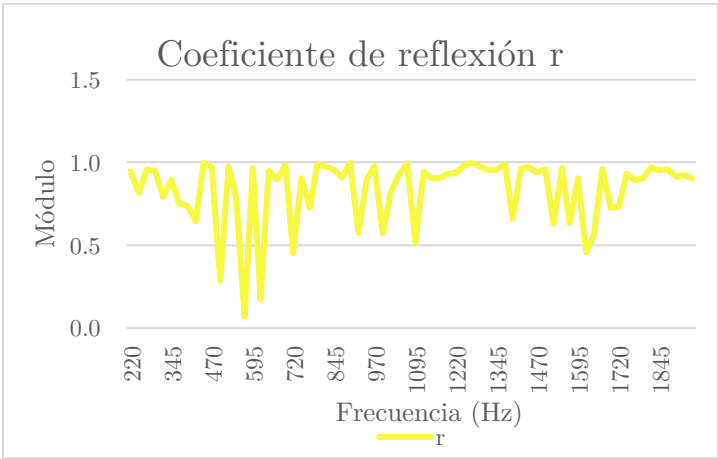


Figura 4-11: Coeficiente de reflexión r (Reemplazo 10 %). Fuente: Elaboración propia.

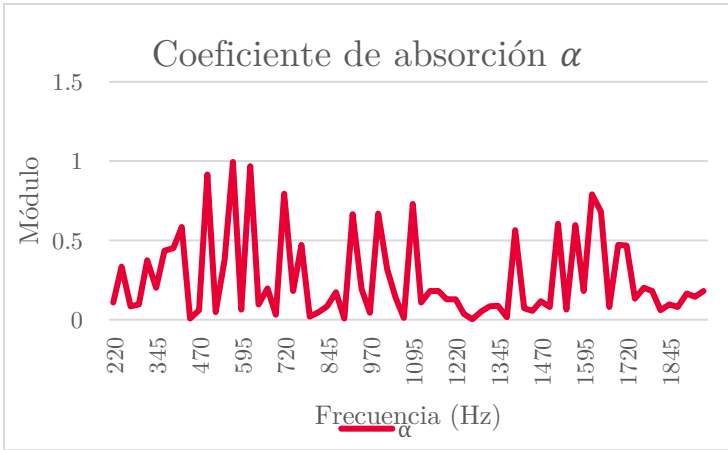


Figura 4--12: Coeficiente de reflexión α (Reemplazo 10 %). Fuente: Elaboración propia.



Figura 4-13: Coeficiente de Impedancia Acústica Z (Reemplazo 10 %). Fuente: Elaboración propia.

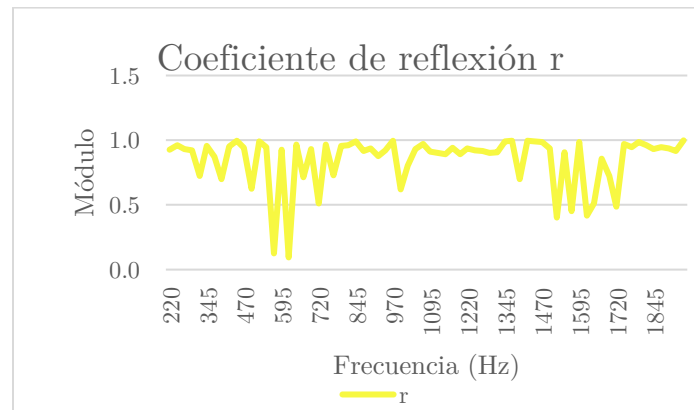


Figura 4-14: Coeficiente reflexión r (Reemplazo 15 %). Fuente: Elaboración propia.

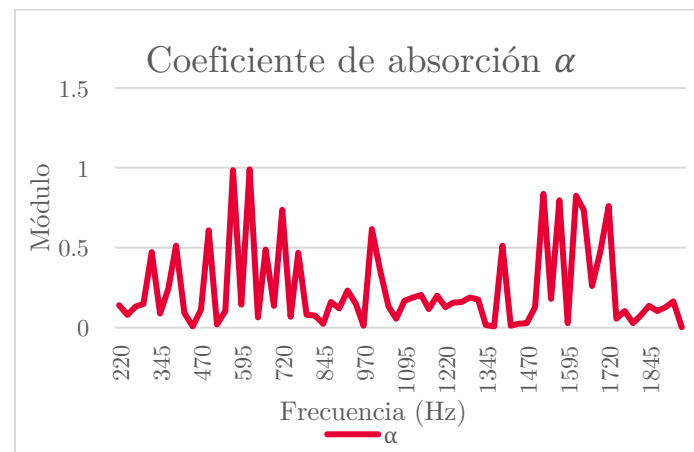


Figura 4-15: Coeficiente de absorción α (Reemplazo 15 %). Fuente: Elaboración propia.

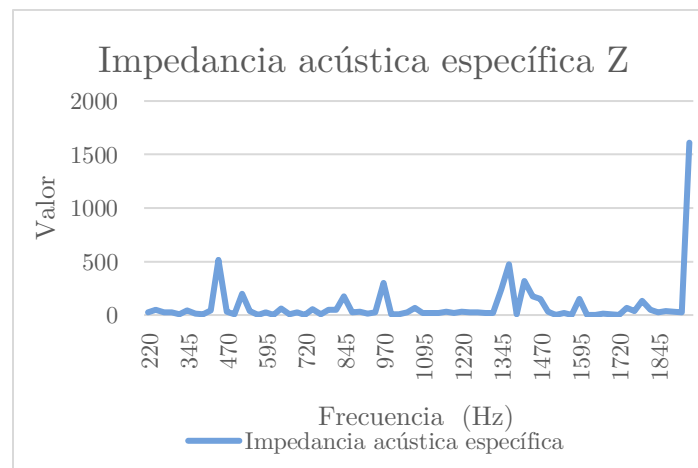


Figura 4-16: Coeficiente de Impedancia Acústica Z (Reemplazo 15 %). Fuente: Elaboración propia.

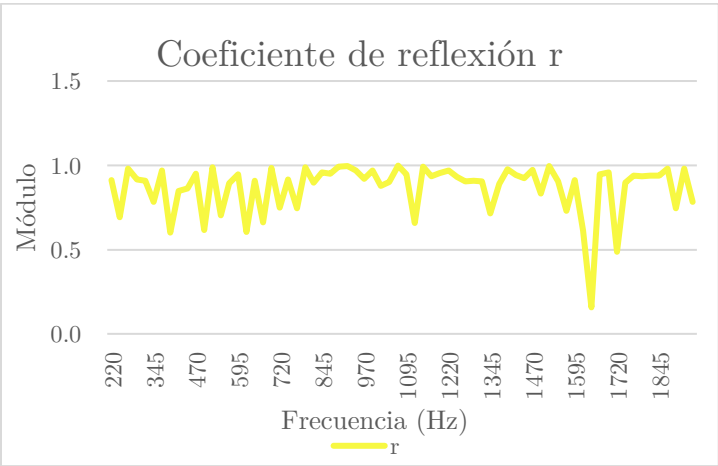


Figura 4-17: Coeficiente de reflexión r (Reemplazo 20 %). Fuente: Elaboración propia.

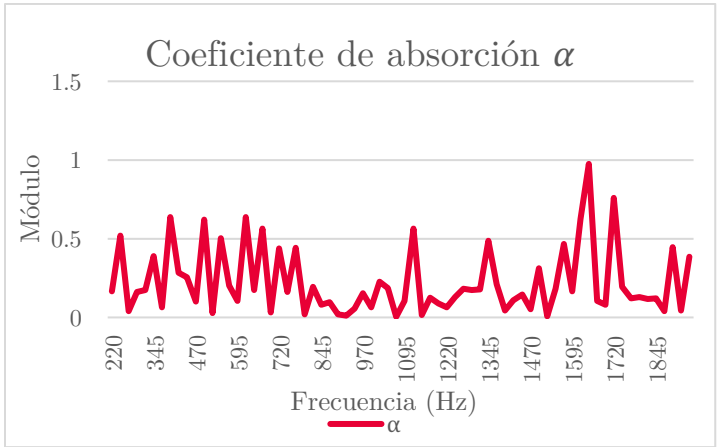


Figura 4-18 Coeficiente de absorción α Z (Reemplazo 20 %). Fuente: Elaboración propia.



Figura 4-19: Coeficiente de Impedancia Acústica Z (Reemplazo 20 %). Fuente: Elaboración propia.

Los coeficientes de reflexión y absorción son valores normalizados adimensionales, estos varían entre 0 y 1, entendiéndose que para r :

- 0: No hay reflexión en la superficie del material de la onda sonora incidente, toda la energía sonora es absorbida o transmitida.
- 1: Toda la energía sonora es reflejada, sin absorción ni transmisión.

Y para α :

- 0: No hay fracción de energía sonora absorbida por el material, toda la energía sonora es reflejada o transmitida.
- 1: Hay totalidad de absorción de energía sonora, sin reflexión ni transmisión.

Por tanto, un material con alta reflexión y baja absorción será más adecuado para bloquear el sonido, como en barreras acústicas, y un material con baja reflexión y alta absorción será ideal para el tratamiento del sonido, como en espumas acústicas que reducen el ruido ambiental para aumentar la calidad sonora dentro de un espacio. Sin embargo, se debe tener en cuenta que según lo descrito por la Organización Internacional de normalización [ISO] (1998), los coeficientes son dependientes de la frecuencia y el ángulo de incidencia de la onda de sonido, por lo que un mismo material puede reflejar o absorber mejor unas frecuencias que otras.

En este orden de ideas, para poder analizar las propiedades acústicas de las muestras de ensayo, es necesario realizar un análisis de comportamiento que permita identificar a través de los picos de resonancia, cuáles son las frecuencias que deben compararse para cada coeficiente dentro del rango de trabajo.

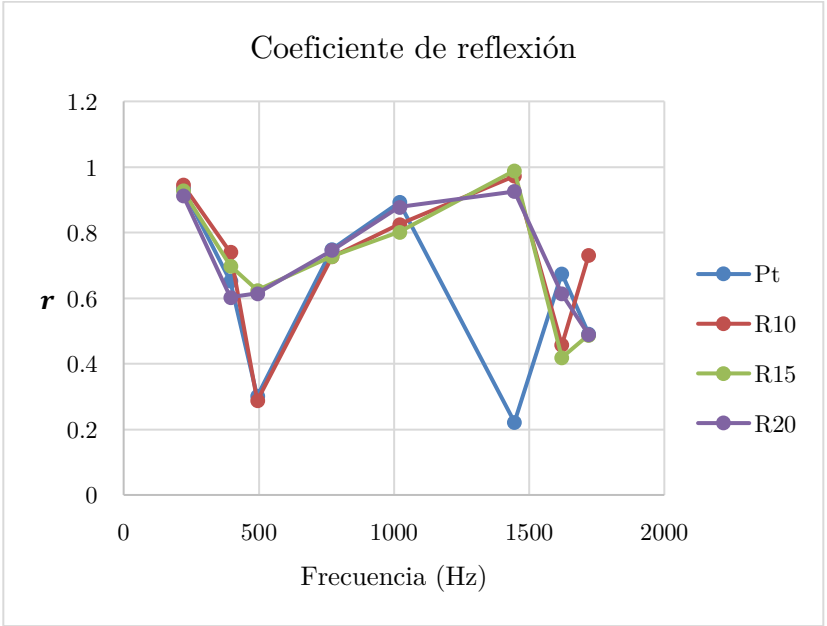


Figura 4-20: Coeficiente de reflexión (Gráfica de Dispersión) Fuente: Elaboración propia.

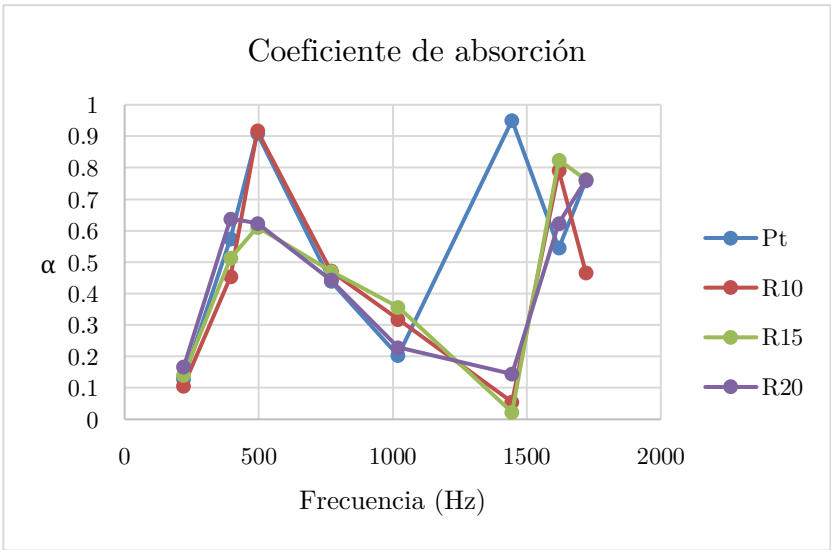


Figura 4-21: Coeficiente de absorción (Gráfica de Dispersión) Fuente: Elaboración

Como puede observarse, en las gráficas de dispersión es posible identificar los picos de resonancia que representan las frecuencias donde los materiales tienen una respuesta destacada debido a las propiedades de resonancia del sistema de análisis de señales. Dichos valores se encuentran expresados a continuación en las **Tablas 4-19 y 4-20**.

Datos comparativos para el coeficiente de reflexión r				
Frecuencia (Hz)	Pt	R10	R15	R20
220	0.93330057	0.94505875	0.92753356	0.91279234
1445	0.22197624	0.97215457	0.98876385	0.92515928

Tabla 4-19: Datos comparativos para el coeficiente de reflexión r . Fuente: Elaboración propia.

Datos comparativos para el coeficiente de absorción α				
Frecuencia (Hz)	Pt	R10	R15	R20
495	0.90931046	0.917354387	0.610767831	0.622916033
1445	0.950726549	0.054915492	0.022346049	0.144080307

Tabla 4-20: Datos comparativos para el coeficiente de absorción α . Fuente: Elaboración propia.

Con base en estos resultados, puede analizarse que en la frecuencia 220, el grupo de estudio R10 aumentó en un 1.2% su capacidad para reflejar la energía sonora con respecto al grupo de control (patrón). Los grupos de estudio R15 y R20 disminuyeron un 0.6% y 2.2% respectivamente. Para la frecuencia 1445, todos los grupos de estudio aumentaron considerablemente esta propiedad con respecto al grupo de control, en un 338.1%, 345.6% y 316.76%.

En cuanto a coeficiente de absorción, en la frecuencia comparativa 495 se aprecia una disminución de la capacidad de absorción de ondas incidentes de los grupos de estudio R15 y R20 respecto al grupo de control en un 32.8% y 31.5% respectivamente, pero un aumento en el grupo R10 del 0.89%. Para la frecuencia 1445 se evidencia una disminución significativa de todos los grupos en comparación a su dato de control, en un 94.2%, 97.6% y 84.8% respectivamente.

No se considera indispensable realizar el análisis de la impedancia acústica, pues los resultados del coeficiente de reflexión y absorción ya representan de manera natural su comportamiento.

4.3 Etapa 3: Definición de porcentaje óptimo

Se recopilaron los resultados de las anteriores etapas en la **Tabla 4-21**, donde se pueden ver por columnas los valores de las propiedades consideradas por grupo de estudio.

Propiedad	Pt	R10	R15	R20
Resistencia última media a compresión (MPa)	26.684	24.935	24.953	22.507
Tasa de absorción inicial	0.0233	0.0254	0.0608	0.069
Tasa de absorción secundaria	0.0022	0.0029	0.0013	0.0011
Coefficiente de reflexión 220 Hz	0.93330057	0.94505875	0.92753356	0.91279234
Coefficiente de reflexión 1445 Hz	0.22197624	0.97215457	0.98876385	0.92515928
Coefficiente de absorción 495 Hz	0.90931046	0.917354387	0.610767831	0.622916033
Coefficiente de absorción 1445 Hz	0.950726549	0.054915492	0.022346049	0.144080307

Tabla 4-21: Recolección propiedades analizadas en las etapas 1 y 2. Fuente elaboración propia

Teniendo en cuenta los análisis de resultados de las respectivas fases se pueden hacer las siguientes afirmaciones:

Los grupos de estudio que se pueden comparar en resistencia con los mínimos establecidos con la norma para un mortero tipo H corresponden a los grupos Pt, R10 y R15, el grupo tipo R20 encaja más con la resistencia máxima de un mortero tipo M.

En exposiciones iniciales y prolongadas con el agua el mortero tipo R10 asemeja su comportamiento respecto a sus tasas de absorción con el grupo de control Pt. Los grupos R10 y R15 presentan un aumento de más de dos veces la tasa de absorción inicial del agua, mientras que en exposiciones prolongadas con el agua presentan una disminución de su tasa de absorción respecto al grupo de control (casi la mitad).

En las frecuencias de representación 220 y 1445 Hz el material R10 constituyó el aumento más considerable de su coeficiente de reflexión r en comparación a la variable patrón. En la frecuencia representativa 1445 Hz, ningún grupo de estudio logró superar las propiedades de absorción del grupo de control, sin embargo, el material más cercano a igualar sus propiedades fue el R10 con un aumento del 0.89% en la frecuencia 220 Hz.

4.3.1 Análisis de grupos

R10 es un grupo de estudio muy similar al grupo de control respecto a su desempeño a compresión (Resistencia última), respecto a su durabilidad presenta un comportamiento parecido con el grupo de control Pt en ambas tasas de absorción, llegando a presentar valores por encima de pt más notoriamente en exposiciones prolongadas con el agua. En cuanto a propiedades acústicas, fue quien representó el aumento más significativo tanto en coeficiente de reflexión como de absorción en la mayoría de las frecuencias de representación.

R15 es un grupo cuya resistencia tiene diferencias estadísticamente significativas con el grupo de estudio, sin embargo, sus datos de resistencia a compresión mostraron que posee la resistencia mínima para considerarse un mortero tipo H igual que el grupo de control Pt. En instancias tempranas de exposición al agua presenta un aumento de 2.5 veces la tasa de absorción de agua respecto al Pt, a diferencia de su comportamiento en instancias avanzadas donde supera al grupo Pt en impermeabilidad. En desempeño acústico, su capacidad de reflexión superó al grupo de control, pero disminuyó considerablemente en capacidad de absorción.

R20 es un grupo que por sus datos de resistencia no puede clasificarse como un mortero tipo H sino el siguiente en clasificación por resistencia, el tipo M. En absorción inicial presentó la mayor tasa de absorción de todos los grupos, en contraparte, en exposiciones avanzadas presentó el mejor rendimiento con una tasa de absorción secundaria menor a la de todos los grupos. Este material no destaca en sus propiedades acústicas pues no presenta casi ningún aumento significativo en comparación a la variable patrón.

Debido a los análisis se define que el porcentaje óptimo de reemplazo para el estudio es el correspondiente al del grupo de estudio R10 debido a que se equipara en todas las propiedades de estudio con grupo de control.

4.4 Etapa 4: Análisis económico

4.4.1 Análisis de precios unitarios

Se recopiló la tabla 4-22 del anexo I donde se encuentran los análisis de precios unitarios de cada uno de los grupos de estudio, se hizo en base a la distribución de materiales de un Mortero 1:2

Cantidad	Unidad	Pt	R10	R15	R20
1	M3	\$ 454,120.00	\$ 614,250.00	\$ 695,510.00	\$ 774,380.00

Tabla 4-22: Recolección de precios de análisis de precios unitarios. Fuente: Elaboración propia.

Respecto a los precios obtenidos se puede decir que:

El grupo más barato corresponde al grupo de control Pt por lo que es correcto afirmar que la RHA aumenta el precio unitario del mortero al momento de reemplazar cemento por RHA.

El grupo de estudio R10 presenta un aumento en su precio unitario del 35.2% respecto al grupo de control Pt seguidamente los grupos R15 y R20 presentaron un aumento de 53.1% y 70.5% respecto al grupo de control respectivamente. Es posible afirmar que el grupo de estudio R10 con su porcentaje de sustitución aumenta el costo del mortero en un poco más de una tercera parte.

El aumento del precio se debe a que la ceniza de cascarilla de arroz es más cara que el cemento, su disponibilidad se encuentra limitada a su cantidad comercial, sus presentaciones más comunes corresponden a 6kg (Lombritenjo, n.d.) su valor por unidad supera al del cemento en iguales cantidades, para visualizar el detalle del análisis de precios unitarios, consultar el **Anexo I**.

4.4.2 Disponibilidad

El departamento del Huila se encuentra posicionado como uno de los principales departamentos productores de arroz en Colombia según el DANE (2024) en su más

reciente boletín titulado: Encuesta nacional de arroz mecanizado (ENAM) primer semestre 2023. De este mismo, se recopilaron los datos correspondientes a áreas y producción de arroz en el departamento de los primeros semestres del año 2023 y 2022, reflejados en el Anexo G, específicamente en la **Tabla 4-23**.

Recopilación datos respecto al departamento del Huila según el Boletín del DANE: Encuesta nacional de arroz mecanizado (ENAM) primer semestre 2023			
Estadística	Unidad	Valor 2022-1	Valor 2023-1
Área sembrada	ha	16,007	16,445
Área cosechada	ha	18,700	18,083
Producción	t	135,420	131,874
Rendimiento	t/ha	7.24	7.29

Tabla 4-23: Recopilación datos respecto al departamento del Huila según el Boletín del DANE: Encuesta nacional de arroz mecanizado (ENAM) primer semestre 2023. Fuente: Elaboración propia.

Teniendo en cuenta estos datos recopilados y el contenido del boletín del DANE (2024) mencionado, se pueden hacer las siguientes afirmaciones:

El departamento del Huila tiene un área sembrada de arroz correspondiente al 4.04% del total nacional, y presentó un incremento del 2.73% respecto al área sembrada el año 2022. Asimismo, este departamento posee un área de cosecha correspondiente al 10.2% del total nacional, siendo el tercero más alto del país solo por detrás de Tolima y Casanare, presentando un decrecimiento del 3.3% respecto al año anterior. La producción de arroz del Huila equivale al 11.82% de la producción nacional, y es la segunda producción más alta del todo el país solo superado por el departamento del Tolima, no obstante, presentó un decrecimiento del 2.6% respecto al año anterior. El rendimiento de la región es el segundo más alto del país con un valor de 7.29 no muy alejado del primer lugar Tolima (7.45) a pesar de que este último cuenta con una producción 2.7 veces mayor y un área de cosecha 2.6 veces mayor, mostrando un crecimiento del 0.7% respecto al año anterior.

4.4.3 Fabricación

La producción de arroz da como resultados diferentes subproductos agroindustriales, entre los cuales se destaca la cascarilla de arroz, esta equivale a un 20% del peso del arroz (Ferraro & Nanni, 2012). La cascarilla de arroz puede ser incinerada debido a su potencial energético como biomasa, significando una adición en energía a la matriz energética (Ramírez & Trinidad, 2021). Según lo recopilado en el proceso de obtención de la cascarilla se elaboró la **Figura 4-22** como resumen.

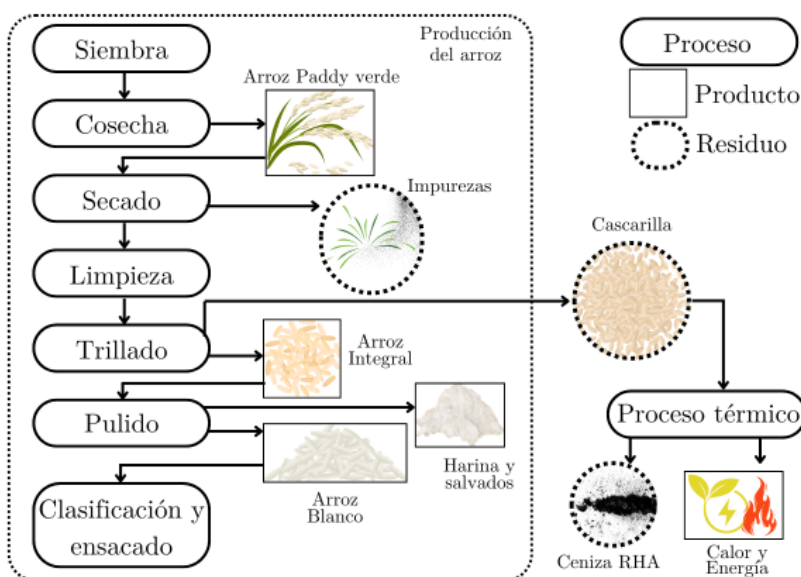


Figura 4-22: Proceso de producción del arroz y la ceniza de cascarilla de arroz RHA según lo recopilado de Ramírez & Trinidad (2021) y Puerta et al. (2021). Fuente: Elaboración propia.

Según el informe de Puerta et al. (2021) en conjunto con fedearroz y el DANE, concluyó que las RHA son producidas en altos volúmenes y que es necesario su uso en optimización de procesos actuales como en reemplazo de material cementante. También indica que a medida que se vuelve más viable en varios sectores.

De Puerta et al. (2021) dice:

En la búsqueda de alternativas medioambientales más viables y que proporcionen mayor valorización a la cascarilla de arroz y sus cenizas, el sector industrial y académico continúa investigando, desarrollando y aplicando opciones tecnológicas que permitan acercarse al aprovechamiento sostenible de este tipo de residuos agroindustriales de alta generación en Colombia. p. 97.

Capítulo 5

5. Conclusiones y recomendaciones

5.1 Conclusiones

El reemplazo parcial del cemento por RHA en mezclas de mortero impacta sobre las propiedades de resistencia a la compresión, sortividad e impedancia acústica. Respecto a la compresión la RHA influye de la siguiente manera: el reemplazo del 10% presentó un porcentaje de desarrollo total de resistencia a la compresión en edad temprana (14 días) en contraste con el 86% de desarrollo de los porcentajes 15% y 20%. El reemplazo por RHA disminuyó la resistencia última (28 días) del mortero en los porcentajes 15% y 20%, de manera más significativa en el porcentaje mayor debido a que este no se pudo catalogar como mortero tipo H a diferencia de los demás reemplazos. El reemplazo de RHA de 10% pudo igualar el desempeño en resistencia a la compresión de un mortero de alta resistencia, representando el mejor resultado de resistencia a compresión de los porcentajes de reemplazo del estudio.

El RHA como reemplazo del cemento en mezclas de mortero aumentó paulatinamente la tasa de absorción inicial de agua a medida que el porcentaje de reemplazo aumentaba, por lo que se afirma que la ceniza aumentó la permeabilidad del agua en un primer contacto con el agua; en un contacto extendido con el agua, los porcentajes 15% y 20% mostraron una disminución de la tasa de absorción de agua secundaria, por lo que son más efectivos en casos de exposición continua y prolongada con el agua, el porcentaje 10% de reemplazo presenta tasas de absorción con valores cercanos al de un mortero de alta resistencia en contraste con los demás porcentajes evaluados.

Según los valores para una frecuencia de 220 Hz, los porcentajes de reemplazo 15% y 20% disminuyeron un 0.6% y 2.2% respectivamente en sus valores de reflexión respecto al mortero convencional, para la frecuencia 1445, todos los datos aumentaron considerablemente en esta propiedad con respecto al mortero convencional, en un 338.1%, 345.6% y 316.76%. En cuanto a coeficiente de absorción, en la frecuencia comparativa 495 disminuye de la capacidad de absorción de ondas incidentes de los morteros con 15% y 20% de RHA respecto mortero convencional en un 32.8% y 31.5% respectivamente, pero presentó un aumento en el reemplazo del 10% de RHA del 0.89%. Para la frecuencia 1445 se evidencia una disminución significativa de la propiedad en todos los porcentajes en comparación del mortero convencional, en un 94.2%, 97.6% y 84.8% respectivamente. Como fue explicado en el desarrollo del documento, en el análisis de propiedades acústicas, tanto el coeficiente de reflexión como el de absorción pueden obtener mayor relevancia respecto al otro dependiendo del propósito al que sea enfocado el material, ya sea para bloqueo sonoro o para acondicionamiento acústico. Sin embargo, en la práctica, para contemplar un material aislante óptimo acústicamente, es necesario que los dos coeficientes sean considerados pues mientras uno impide la entrada de energía sonora, el otro impide la retransmisión del sonido por medio de vibraciones al absorber toda la energía sonora que pueda filtrarse. Teniendo esto en cuenta y considerando los resultados obtenidos, puede concluirse que la mezcla con el 10% de reemplazo puede representar un mejor material aislante acústicamente que las demás muestras.

Debido a los estudios y los análisis presentados se define que el porcentaje óptimo de reemplazo para el estudio es el correspondiente al 10% de sustitución del cemento por RHA representado en la investigación por el grupo de estudio R10 debido a que se asemeja en todas las propiedades de estudio con el mortero convencional.

En cuanto a su viabilidad económica el reemplazo por RHA aumenta el precio de manera directamente proporcional al porcentaje de reemplazo, por lo que el uso de un mayor porcentaje de RHA se traduce en un incremento del costo del ítem. El material del cual se origina la RHA tiene gran presencia y disponibilidad en la región según los datos de fuentes oficiales, además que el proceso de incineración se encuentra en ejercicio para la obtención de energía (biomasa) y disminución de residuos, así mismo, la RHA tiene cada

vez más presencia en la industria y un uso como reemplazo de material cementante en auge.

5.2 Recomendaciones

Durante el desarrollo de esta investigación, se identificaron limitaciones significativas en la disponibilidad de equipos especializados para la medición de propiedades acústicas en la región surcolombiana. A diferencia de los equipos para ensayos de propiedades mecánicas, que están más comúnmente disponibles, los equipos de acústica presentan una carencia notable en la zona. Esta situación llevó a que el ensayo de impedancia se realizara utilizando un equipo prototipo que aún se encuentra en fase de desarrollo, que si bien permitió la obtención de datos preliminares, es importante destacar que su uso introduce un grado de incertidumbre respecto a la precisión de los resultados. En vista de estas circunstancias, se plantea como recomendación para futuros proyectos de investigación en ámbitos similares el uso de equipos de medición acústica que estén certificados y calibrados conforme a los estándares internacionales, así como el fomentar el desarrollo de infraestructura local que incluyan equipos de acústica de alta precisión que permitan la validación científica y el impulso del área de investigación en la región.

Así mismo, para asegurar el desarrollo adecuado del fraguado del mortero y evitar la ganancia prematura de resistencia a temprana edad, se recomienda controlar la temperatura ambiente durante el proceso de curado

Bibliografía

- Águila, I., & Sosa, M. (2008). Evaluación físico químico de cenizas de cascarilla de arroz, bagazo de caña y hoja de maíz y su influencia en mezclas de mortero, como materiales puzolánicos. *Revista de La Facultad de Ingeniería Universidad Central de Venezuela*, 23(4), 55–66. http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0798-40652008000400006&lng=es&nrm=iso&tlng=es
- Aliaga, J., & Badajos, B. (2018a). *Adición de cenizas de cascarilla de arroz para el diseño de concreto $f''c$ 210kg/cm²*.
- Aliaga, J., & Badajos, B. (2018b). *Adición de cenizas de cascarilla de arroz para el diseño de concreto $f''c$ 210kg/cm²*.
- Amran, M., Fediuk, R., Murali, G., Vatin, N., Karelina, M., Ozbakkaloglu, T., Krishna, R., Kumar, A., Kumar, D. S., & Mishra, J. (2021). Rice husk ash-based concrete composites: A critical review of their properties and applications. In *Crystals* (Vol. 11, Issue 2, pp. 1–33). MDPI AG. <https://doi.org/10.3390/cryst11020168>
- ASTM c618. (n.d.). *Designation: C618 – 12a Standard Specification for Coal Fly Ash and Raw or Calcined Natural Pozzolan for Use in Concrete 1*. <https://doi.org/10.1520/C0618-12a>
- Autospectrum*. (2022). <https://en.wiktionary.org/wiki/autospectrum>

- Becosan. (2019). *¿Qué es el mortero?* <https://www.becosan.com/es/que-es-un-mortero/>
- Carrasquilla, M. (2017). *Índice de abreviaturas de un TFG*. Scribbr. <https://www.scribbr.es/uncategorized-es/indice-de-abreviaturas-de-un-tfg/>
- Ciceron. (2021). *Tipos de mortero para la construcción*. <https://cetesa.com.co/blog/tipos-de-morteros-para-la-construccion/>
- Comaudi Industrial México. (2022). *Cómo insonorizar un auditorio*. <https://www.comaudi-industrial.com/blog/como-insonorizar-un-auditorio/>
- DANE. (2024). *Boletín técnico Encuesta Nacional de Arroz Mecanizado (ENAM) Primer semestre 2023*.
- De la Pared, D. (2011). *DISEÑO DE MEZCLAS DE CONCRETO CON CENIZA DE CASCARILLA DE ARROZ PARA EMPLEARLO EN PROYECTOS DE VIVIENDA DE BAJO COSTO*.
- El Espectro Cruzado*. (2022, June). <https://azimadli.com/vibman-spanish/elespectrocruzado.htm>
- EPA (Environmental Protection Agency). (2021). *U.S. Cement Industry Carbon Intensities (2019)*. <https://www.epa.gov/system/files/documents/2021-10/cement-carbon-intensities-fact-sheet.pdf>
- Escobar, J. (2024). *Análisis estadístico*. <https://excelparatodos.com/analisis-estadistico/#tipos-del-analisis-estadistico>
- Fapohunda, C., Akinbile, B., & Shittu, A. (2017). Structure and properties of mortar and concrete with rice husk ash as partial replacement of ordinary Portland cement – A review. In *International Journal of Sustainable Built Environment* (Vol. 6, Issue 2, pp. 675–692). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.ijsbe.2017.07.004>
- Ferraro, R. M., & Nanni, A. (2012). Effect of off-white rice husk ash on strength, porosity, conductivity and corrosion resistance of white concrete. *Construction and Building Materials*, 31, 220–225. <https://doi.org/10.1016/J.CONBUILDMAT.2011.12.010>
- Foster, G., Lane, D., Scott, D., Helb, M., Guerra, R., Osherson, D., & Zimmer, H. (2018). *7.05__Valores críticos, valores p_y nivel de significancia*.
- Fuentes Molina, N., Iván, O., Tarifa, F., & Mendoza, L. V. (2015). Residuos agroindustriales como adiciones en la elaboración de bloques de concreto no

- estructural. *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, 25(2), 99–116.
<https://doi.org/10.18359/RCIN.1434>
- Función de transferencia*. (2018, October 13).
https://www.cienciasfera.com/materiales/tecnologia/tecno02/tema13/5_funcin_de_transferencia.html
- Galindo, H. (2021, April 28). Miles de neivanos viven con exceso de bulla y sonido. *Diario Del Huila*. <https://diariodelhuila.com/miles-de-neivanos-viven-con-exceso-de-bulla-y-sonido/>
- Gil Gutiérrez, I. (2021). *Diseño de protocolos para la obtención de coeficientes de absorción y reflexión acústica a partir de métodos normalizados*. Universidad Politécnica de Madrid.
- González Sánchez, Y., & Fernández Díaz, Y. (2014). Efectos de la contaminación sónica sobre la salud de estudiantes y docentes, en centros escolares Noise pollution in schools: its effect on the health of students and teachers. *Revista Cubana de Higiene y Epidemiología*, 52(3), 402–410. <http://scielo.sld.cu>
- Hareru, W. K., Asfaw, F. B., & Ghebrab, T. (2022). Physical and Chemical Characterization of Coffee Husk Ash Effect on Partial Replacement of Cement in Concrete Production. *International Journal of Sustainable Construction Engineering and Technology*, 13(1), 167–184. <https://doi.org/10.30880/ijscet.2022.13.01.016>
- Herrero del Cura, S. (2016). *Influencia de la dosificación y granulometría del caucho de neumáticos fuera de uso (NFU) y de las dimensiones físicas en las propiedades térmicas, acústicas y mecánicas de placas de mortero de yeso-caucho*. <https://doi.org/10.20868/UPM.THESIS.43070>
- Impedancia acústica*. (n.d.). Retrieved September 9, 2023, from https://vonkelemen.org/leeloo/vktv?videoid=10070_HDImpedancia%20ac%C3%B3stica
- Lombritenjo. (n.d.). *Cascarillas de arroz quemada - Lombricultura de Tenjo*. Retrieved June 6, 2024, from <https://www.lombriculturadetenjo.com/cascarillas-de-arroz-quemada/>

- Mafla, A. (2009). Uso de la cascarilla de arroz como material alternativo en la construcción. *INVENTUM*, 4(6), 74-78.
<https://doi.org/10.26620/UNIMINUTO.INVENTUM.4.6.2009.74-78>
- Martínez, M. (2021, May 12). *Transformada de Fourier*. <https://www.nobbot.com/que-es-la-transformada-de-fourier-y-para-que-sirve/#>
- McDonald, L., Glasser, F. P., & Imbabi, M. S. (2019). A New, Carbon-Negative Precipitated Calcium Carbonate Admixture (PCC-A) for Low Carbon Portland Cements. *Materials* 2019, Vol. 12, Page 554, 12(4), 554.
<https://doi.org/10.3390/MA12040554>
- NORMA TÉCNICA NTC COLOMBIANA 220 DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA DE MORTEROS DE CEMENTO HIDRÁULICO USANDO CUBOS DE 50 mm ó 50,8 mm DE LADO E: STANDARD TEST METHOD FOR COMPRESSIVE STRENGTH OF HYDRAULIC CEMENT MORTARS CORRESPONDENCIA.* (2004).
- NSR-10. (n.d.). *Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial Viceministerio de Vivienda y Desarrollo Territorial Dirección del Sistema Habitacional República de Colombia COMISION ASESORA PERMANENTE PARA EL REGIMEN DE CONSTRUCCIONES SISMO RESISTENTES (Creada por la Ley 400 de 1997) NSR-10 TÍTULO D-MAMPOSTERÍA ESTRUCTURAL.*
- NTC 77.* (n.d.).
- NTC 111.* (n.d.).
- NTC 112.* (n.d.).
- NTC 174.* (n.d.).
- Organización Internacional de Normalización [ISO]. (1996). *Determinación del coeficiente de absorción acústica y de la impedancia acústica en tubos de impedancia. Parte 1: Método del rango de onda estacionaria.* (Patent ISO 10534-1:1996).
- Organización Internacional de Normalización [ISO]. (1998). *Determinación del coeficiente de absorción acústica y de la impedancia acústica en tubos de impedancia. Parte 2: Método de la función de transferencia.* (Patent ISO 10534-2:1998).
- Orrabalis, C. J., Ledezma, A. R., Villalba, R., & Martinez Garcia, R. (2020). *Cuantificación de la resistencia mecánica de morteros de cemento al añadir cenizas*

- de cascara de arroz ricas en nanopartículas de sílice.*
<https://ri.conicet.gov.ar/handle/11336/121089>
- Ortega, C. (n.d.). *Curtosis: Qué es, importancia y cómo se determina*. Retrieved June 5, 2024, from <https://www.questionpro.com/blog/es/curtosis/>
- Ortega, C. (2024a). *Análisis comparativo: Qué es y cómo se realiza*.
<https://www.questionpro.com/blog/es/analisis-comparativo/>
- Ortega, C. (2024b). *Análisis estadístico: Qué es, usos y cómo realizarlo*.
https://www.questionpro.com/blog/es/analisis-estadistico/#como_realizar_un_analisis_estadistico
- Ortega, C. (2024c). *Anova: Qué es y cómo hacer un análisis de la varianza*.
<https://www.questionpro.com/blog/es/anova/>
- Ortega, C. (2024d). *Regresión lineal: Qué es, importancia y usos*.
<https://www.questionpro.com/blog/es/regresion-lineal/>
- Osorio, J. (n.d.). *¿CÓMO SE EVALÚA LA CALIDAD DE UN MORTERO?* Retrieved June 2, 2024, from <https://360enconcreto.com/blog/detalle/author/jesus-david-osorio/>
- Paulino Fierro, J. C., & Espino Almeyda, R. A. (2017). Análisis comparativo de la utilización del concreto simple y el concreto liviano con perlitas de poliestireno como aislante térmico y acústico aplicado a unidades de albañilería en el Perú. *Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas (UPC)*.
<https://repositorioacademico.upc.edu.pe/handle/10757/621457>
- Payá Bernabeu, J., Serrano, T., Borrachero, M. V., & Monzó Balbuena, J. M. (2012). *Morteros aligerados con cascarilla de arroz: diseño de mezclas y evaluación de propiedades*. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/39562>
- Poudyal, L., & Adhikari, K. (2021). Environmental sustainability in cement industry: An integrated approach for green and economical cement production. *Resources, Environment and Sustainability*, 4, 100024.
<https://doi.org/10.1016/J.RESENV.2021.100024>
- Puerta, C., Jaramillo, L., & Upegui, S. (2021). *Prácticas y herramientas de sostenibilidad*.

- ¿Qué es la presión sonora? (2018, September 20). <https://www.ceupe.com/blog/que-es-la-presion-sonora.html>
- Ramírez, A. T. O., & Trinidad, M. I. Q. (2021). Alternatives for the use of rice husks as an energy source. *Fuentes El Reventon Energetico*, 19(2), 69–81. <https://doi.org/10.18273/REVFUE.V19N2-2021005>
- Restrepo Ramos, Y. T., & Aya Rodríguez, J. R. (2018). Propuesta para la fabricación de adoquines en mortero mezclados con cascarilla de arroz para uso en la construcción de la ciudad de Girardot en el departamento de Cundinamarca. [Corporación Universitaria Minuto de Dios]. In *reponame:Colecciones Digitales Uniminuto*. <https://repository.uniminuto.edu/handle/10656/7195>
- Rivera, R. (2024). ▷ *ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS - PRESUPUESTOS DE OBRA*. <https://elpreciouunitario.com/analisis-de-precios-unitarios/>
- Rivers, L. (2018). *Propiedades acústicas de los materiales*. <https://www.geniolandia.com/13154935/propiedades-acusticas-de-los-materiales>
- Rodó, P. (2020a). *Niveles de significación*. <https://economipedia.com/definiciones/niveles-de-significacion.html#:~:text=Niveles%20de%20significaci%C3%B3n%201%20Representaci%C3%B3n%20del%20nivel%20de,estad%C3%ADsticos.%20...%203%20Arbitrarios%20y%20no%20arbitrarios%20>
- Rodó, P. (2020b). *Valor-p - Qué es, definición y concepto*. <https://economipedia.com/definiciones/valor-p.html>
- Rodó, P. (2024). *Distribución normal: Qué es, cómo se calcula y ejemplos*. <https://economipedia.com/definiciones/distribucion-normal.html>
- Rus, E. (2021). *Sesgo estadístico - Qué es, definición y concepto*. <https://economipedia.com/definiciones/sesgo-estadistico.html>
- Sampieri, R. (2014a). *Metodología de la Investigación - Sampieri (6ta edición)*.
- Sampieri, R. (2014b). *Metodología de la Investigación - Sampieri (6ta edición)*.
- Sanchez, D. (2001). *Tecnología-del-concreto-y-del-mortero*.
- Secretaría Distrital de Ambiente. (2022). *¿Qué es contaminación ambiental por ruido?*. <https://www.ambientebogota.gov.co/ruido>

- Sierra Aguilar, J. (2009). *Alternativas de aprovechamiento de la cascarilla de arroz en Colombia* [Universidad de Sucre]. <http://repositorio.unisucre.edu.co/handle/001/211>
- Sonido: Generalidades.* (n.d.). Retrieved September 9, 2023, from <http://www.cochlea.eu/es/sonido>
- Standard Test Method for Measurement of Rate of Absorption of Water by Hydraulic-Cement Concretes 1.* (n.d.). <https://doi.org/10.1520/C1585-20>
- Vázquez Lorenzana, C. (2022). *Transformada de Fourier* .



Anexos: Evaluación de las propiedades acústicas del mortero con reemplazo parcial de ceniza de cascarilla de arroz.

María Valentina Aya Bustos

Juan Manuel Castro Zambrano

Universidad Surcolombiana
Facultad de Ingeniería, Departamento de Ingeniería Civil
Neiva, Colombia
2024



Anexos: Evaluación de las propiedades acústicas del mortero con reemplazo parcial de ceniza de cascarilla de arroz.

**María Valentina Aya Bustos
Juan Manuel Castro Zambrano**

Proyecto de grado presentada(o) como requisito parcial para optar al título de:
Ingeniero Civil

Director (a):
William Javier Andrade Martínez

Línea de Investigación:
Materiales de construcción, tecnología del concreto y gestión ambiental

Universidad Surcolombiana
Facultad de Ingeniería, Departamento de Ingeniería Civil
Neiva, Colombia
2024

A. Anexo: Complemento del Marco Teórico

TUBO DE IMPEDANCIA

Mortero tipo	Especificación de los morteros por propiedad		
	Resistencia mínima a la compresión f'_{cp}	Flujo en %	Retención mínima de agua
H	22,5	115-125	75%
M	17,5	115-125	75%
S	12,5	110-120	75%
N	7,5	105-115	75%

Tabla A-1: Clasificación de los morteros de pega por propiedad, recopilado de la tabla D.3.4-1.de la NSR 10.

Propiedades químicas

La cascarilla de arroz como tejido vegetal se compone de celulosa y sílice, este último resulta componente esencial que proporciona resistencia al cemento, la cascarilla de arroz posee un poder calorífico de 3.281 Cal/kg esto por poseer una estructura cerrada, una de sus características es que a condiciones naturales posee una baja biodegradación según Prada & Cortés, 2010. Al incinerarse para la obtención de su ceniza, estudios de Valverde (2007) visibilizan la producción de 17.8% aproximadamente (Según la **Tabla A-2**) de contenido de ceniza con contenido de sílice. Este valor se ve altamente afectado por el porcentaje de humedad presente, en especial en Colombia (Revisar **Tabla A-3**).

CASCARILLA DE ARROZ		CENIZA DE CASCARILLA DE ARROZ	
Componente	%	Componente	%
Carbono	39,1	Ceniza de sílice (SiO ₂)	94,1
Hidrógeno	5,2	Óxido de calcio (CaO)	0,55
Nitrógeno	0,6	Óxido de magnesio (MgO)	0,95
Oxígeno	37,2	Óxido de potasio (K ₂ O)	2,1
Azufre	0,1	Óxido de sodio (Na ₂ O)	0,11
Cenizas	17,8	Sulfato	0,06
		Cloro	0,05
		Óxido de Titanio (TiO ₂)	0,05
		Óxido de Aluminio (Al ₂ O ₃)	0,12
		Otros Componentes (P ₂ O ₅ F ₂ O ₃)	1,82
TOTAL	100	TOTAL	100

Tabla A-2: Composición Química de la Cascarilla de Arroz y de las Cenizas de la Cascarilla de Arroz por Prada & Cortés, 2010.

CASCARILLA DE ARROZ						
Humedad	Carbono	Hidrógeno	Oxígeno	Nitrógeno	Azufre	Ceniza
8,6	42,5	6	36,2	0,21	0,49	14,6
8,9	39,1	5,2	37,2	0,27	0,43	17,8
9,4	33,4	4,3	38,5	0,38	0,32	23,1

Tabla A-3: Composición elemental de la cascarilla de arroz a diferentes % de humedad en Colombia según Valverde et al., 2007.

Propiedades físicas

Dentro de la propiedad de densidad se consideran dos tipos para el estudio del material, la densidad seca que corresponde a la masa de partículas sólidas por unidad de volumen excluyendo espacios porosos (Llorens, 2007), esta proporciona información sobre la compactación y masa específica del material según Juárez (2024), por otro lado la densidad aparente corresponde a la masa del material por unidad de volumen incluyendo las partículas sólidas y los vacíos y poros (Llorens, 2007), permite entender el comportamiento del material en estado suelto según Juárez (2024).

Según lo recolectado por Amran et al. (2021) se visibilizan valores para dichas propiedades lo cual permite resaltar cierto apunte de su análisis: El RHA en el concreto (mezcla) reduce su densidad total debido a que posee una densidad aparente menor teniendo en cuenta 2430 kg/m^3 como valor para el cemento.

La NTE INEN 495 define el índice de actividad puzolánica como el valor que expresa la capacidad de la puzolana para reaccionar con el hidróxido de calcio, formando compuestos cementicios. Según la norma ASTM c618 se indica que el índice mínimo recomendado para una ceniza volante es de 75%, por lo que como indica Amran et al. (2021) la RHA con valores entre los 81% y 89% cumple con creces el estándar indicado. Una alta reactividad puzolánica se traduce en una reducción en el contenido de hidróxido de calcio en la matriz de cemento portland, lo que mejora la estructura de poros de la matriz ligándose estrechamente con su área superficial y la irregularidad de sus partículas, debido a que según los datos de la **Tabla A-4** del **Anexo A** se interpreta como una mayor área de contacto para las reacciones químicas con el hidróxido de calcio en la matriz del cemento (Amran et al., 2021).

La absorción de nitrógenos y el volumen de poros reflejan la porosidad y la capacidad de la RHA para interactuar con otros compuestos y componentes del concreto (Amran et al., 2021).

Amran et al. (2021) también mencionó que la coloración de la ceniza a diferentes temperaturas de calcinación indica variaciones en la composición química y estructura física de la ceniza, esto está relacionado con la formación de sílice reactiva y la pérdida de materia orgánica lo que mejora sus propiedades puzolánicas.

Propiedades en estado fresco

Generalmente las mezclas de concreto típicas contienen mucha agua de mezclado, esta puede verse aumentada por dos factores según la investigación de Naji et al. (2010), la primera es que la demanda de agua y la trabajabilidad se ligan y se ven influenciadas por la distribución del tamaño de las partículas, el efecto de empaquetamiento de las partículas y los poros; la segunda es conseguir una trabajabilidad óptima en morteros o pastas de cemento demanda un aumento del agua por la necesidad de hidratación de las partículas.

La incorporación de RHA como reemplazo en el concreto trae afectaciones a la trabajabilidad del concreto, al adicionar entre un 15% y un 20% de RHA se observa una disminución en la trabajabilidad y cohesión de las partículas según Fediuk et al. (2021), estos mismos recomiendan el uso de un aditivo superplastificante para facilitar esta propiedad debido a la demanda de agua que supone la mezcla por la RHA, también se menciona que sustituciones más bajas no tienen afectaciones significativas en la manejabilidad de la mezcla.

La capacidad de absorción de agua de la RHA afecta la relación agua cemento a la hora de elaborar la mezcla, según Fediuk et al. (2021) esto genera una variabilidad en los tiempos de fraguado inicial y final teniendo en cuenta la relación antes mencionada, por lo que sustituciones superiores al 15% incrementaron su tiempo de fraguado inicial, pero niveles superiores tuvieron tendencia a reducir el tiempo de fraguado final.

Naji et al. (2010), indica que la inclusión de RHA mejora las propiedades del concreto y el mortero a largo plazo en un intervalo de 10% a 30% de reemplazo.

Propiedades mecánicas

Según Amran et al. (2021) la resistencia a la compresión corresponde a la propiedad más significativa para el diseño de estructuras en concreto. El uso de RHA como reemplazo en el concreto convencional o el mortero mejora la resistencia a la compresión según afirma Puerta et al. (2021), quien también agrega que se debe principalmente por el aumento de la reacción puzolánica, las investigaciones muestran aumentos de resistencia a la compresión con niveles de sustitución de 10% y 15%.

Naji et al. (2010) indica que la inclusión de RHA mejora las propiedades del concreto y el mortero a largo plazo en un intervalo de 10% a 30% de reemplazo.

La presencia de sílice en RHA según la **Tabla 2-2** es de 94%, teniendo en cuenta lo mencionado por Fapohunda et al. (2017), un contenido de sílice superior al 70% se traduce en una capacidad de contribuir al proceso de desarrollo de resistencia en la producción del concreto.

Oblitas et al. (2023) concluyó respecto a una revisión de resultados de ensayos a compresión que los reemplazos menores o iguales a 15% de RHA en la mezcla mejora la resistencia debido a su alta acción puzolánica, al exceder este porcentaje la resistencia

decae paulatinamente, dentro de los factores del estudio que según su autor afectan esta propiedad se encuentran los tiempos de molienda, que se recomiendan sean mayores a 6 horas, y los tiempos de curado.

Propiedades de durabilidad: Permeabilidad y absorción de agua

Una de las principales fuentes de deterioro del concreto en estructuras es por absorción de agua, cuanto más impermeable sea el concreto, mayor será su resistencia al deterioro (Naji et al., 2010). La permeabilidad según Amran et al. (2021) se refiere a la capacidad para permitir la entrada de agua y agentes químicos por parte del concreto, lo que puede causar la presencia de fenómenos como la carbonatación y corrosión, sortividad según Mishra et al. (2021) corresponde a la capacidad de un material poroso de absorber y transmitir líquidos por capilaridad.

Como se recopiló en la **Tabla 2-4** y según Naji et al. (2010) la incorporación de las cenizas de RHA reduce el tamaño de los poros resultando en una pasta menos permeable, concepto que comparte con Amran et al. (2021), este además agrega que la absorción de agua disminuye cuando el nivel de reemplazo no supera el 20% y su relación es directa con la capacidad de la RHA de refinar los poros del material.

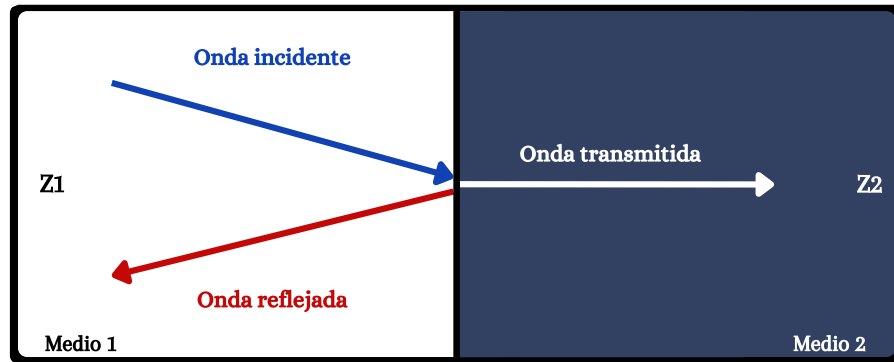


Figura A-1: Impedancia acústica. Fuente: Elaboración propia.

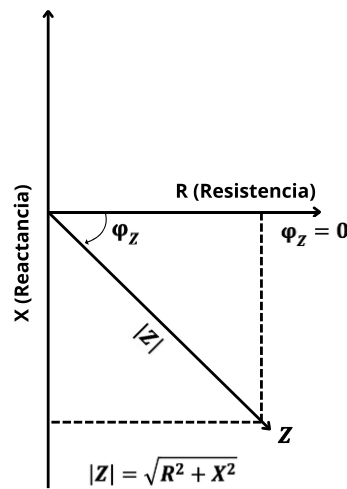


Figura A-2: Notación rectangular de impedancia acústica con sus componentes reales e imaginarios. Fuente: Elaboración propia.

B. Anexo: Registro Fotográfico



Figura B-1: Incineración de la cascarilla de arroz. Fuente: Elaboración propia.



Figura B-2: Recolección de la ceniza. Fuente: Elaboración propia.



Figura B-3: Molienda de la ceniza. Fuente: Elaboración propia.



Figura B-4: Mezcla de materiales. Fuente: Elaboración propia.



Figura B-5: Realización del ensayo de fluidez. Fuente: Elaboración propia.



Figura B-6: Toma de medida ensayo de fluidez. Fuente: Elaboración propia.



Figura B-7: Formaletas para las muestras cúbicas, proceso de fundición. Fuente: Elaboración propia.

Evaluación de las propiedades acústicas del mortero con reemplazo parcial de ceniza de cascarilla de arroz.



Figura B-8: Cubos de mortero por grupo de estudio después del curado. Fuente: Elaboración propia.



Figura B-9: Ensayo de compresión. Fuente: Elaboración propia.

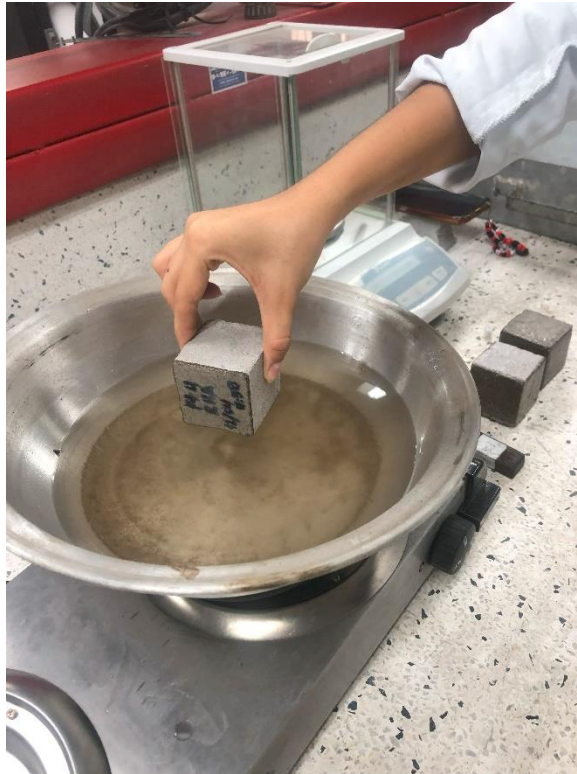


Figura B-10: Encerado de las muestras para ensayo de sortividad. Fuente: Elaboración propia.



Figura B-11: Control de temperatura del agua, ensayo de sortividad. Fuente: Elaboración propia.

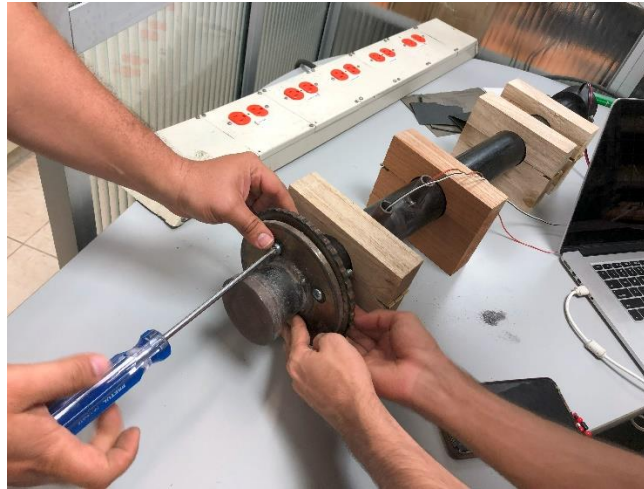


Figura B-12:Ensamble, tubo de impedancia acústica. Fuente: Elaboración propia.



Figura B-13: Ensayo de impedancia acústica. Fuente: Elaboración propia.

C. Anexo: Parámetros de diseño del equipo de prueba según la ISO 10534-2

TUBO DE IMPEDANCIA

Construcción

Para la obtención de resultados precisos en las pruebas a realizar, el tubo de impedancia debe diseñarse y construirse bajo ciertos parámetros:

- El tubo debe tener una sección transversal completamente recta, sin cambios bruscos de tamaño.
- Las paredes del tubo deben ser fuertes, rígidas y lisas. No deben tener agujeros ni grietas, con el fin de que el sonido no escape o se distorsione durante el recorrido.
- Se recomienda que el material de fabricación sea pesado, de preferencia metal o, en caso de tubos mas grandes, de concreto liso y compacto. Esto ayudará a evitar que las paredes vibren por el paso del sonido y no muestre resonancias de vibración en el rango de frecuencia de trabajo del tubo.
- La elección de la forma o geometría de la sección transversal es completamente libre, sin embargo, se sugiere que para la precisión que se busca, se usen cortes transversales circulares o rectangulares (preferiblemente con sus lados iguales).

Longitud del tubo de impedancia

Para hacer el análisis correctamente, el tubo debe ser lo suficientemente largo para que se desarrollen ondas planas desde la fuente hasta el objeto de prueba. Al hacer uso del altavoz para generar el sonido, no solo se obtendrán ondas planas sino también los ya mencionados modos superiores. Estos modos complejos tienden a perder su energía y disiparse a medida que se alejan de la fuente, siendo más notable a una distancia aproximada de tres veces el diámetro del tubo o tres veces las dimensiones laterales máximas de los tubos rectangulares, según la geometría del tubo. Con eso dicho, se recomienda que los micrófonos no se encuentren más cerca de la fuente de lo sugerido anteriormente, ni más cerca de un diámetro o una dimensión lateral máxima.

También, la forma en que están colocadas las muestras de prueba puede afectar las mediciones al causar distorsiones de proximidad al campo acústico. Para evitar esto, se dan algunas sugerencias sobre la distancia mínima a la que deben estar los micrófonos del objeto, dependiendo del tipo de muestra:

1. Muestras sin una estructura específica: Se recomienda una distancia igual a la mitad ($\frac{1}{2}$) del tamaño del objeto, ya sea su diámetro o su dimensión lateral máxima.
2. Muestras con una estructura semilateral: La distancia recomendada es igual al tamaño del objeto (diámetro o dimensión lateral máxima).
3. Muestras con una estructura asimétrica: Se sugiere una distancia igual a dos veces el tamaño del objeto (diámetro o dimensión lateral máxima).

PORTAMUESTRAS DE PRUEBA

El portamuestras puede estar integrado en el tubo de impedancia o un objeto separado que se fija firmemente a uno de sus extremos durante la medición. La longitud del portamuestras debe ser lo suficientemente larga para permitir la instalación de objetos de prueba y dejar espacio de aire detrás de ellos, si es necesario.

Si este portamuestras es un objeto separado, es importante que su forma y dimensiones interiores sean exactamente iguales a los del tubo en el que se coloca. Esto asegura que los resultados obtenidos sean lo mas confiable posibles. Al realizar el montaje del tubo y el portamuestras juntos se debe asegurar de que no existan escapes de aire, de forma que se asegure un anclaje hermético.

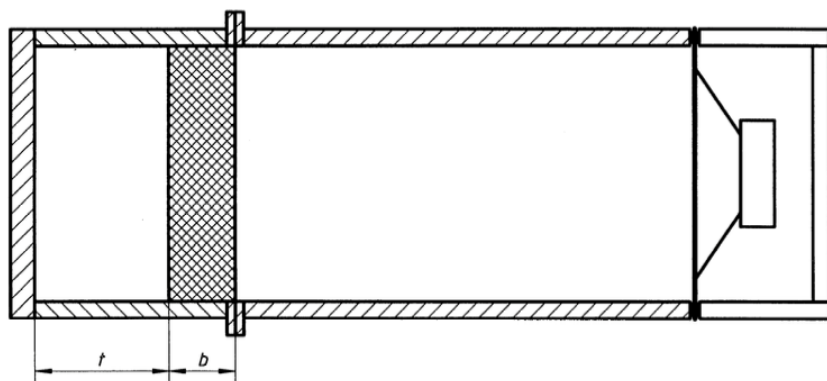


Figura C-1: Montaje con unidad de portamuestras separada. Tomado de: Organización Internacional de normalización [ISO] (1998)

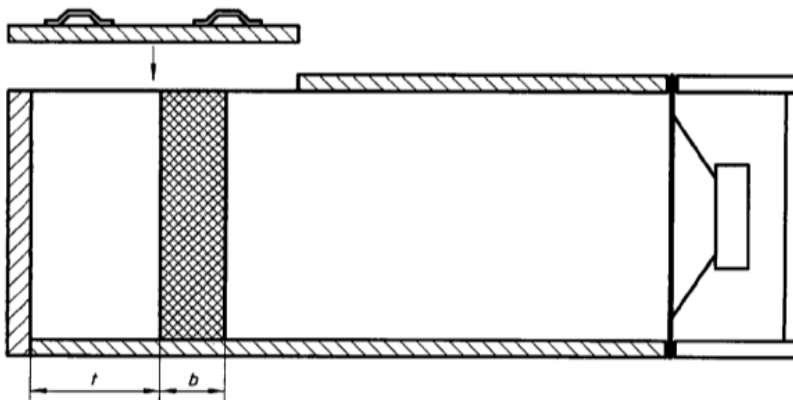


Figura C-2: Montaje con portamuestras incorporado con tapa removible. Tomado de: Organización Internacional de normalización [ISO] (1998)

Lo recomendable es que el portamuestras forme parte del tubo de impedancia y sea de fácil acceso mediante una cubierta o tapa que pueda ser removible para colocar el objeto de prueba. Es importante que la tapa encaje bien con el tubo para que no haya escapes de aire. En el caso de los tubos rectangulares, se sugiere que se coloquen los objetos desde

un costado en lugar de empujarlos directamente en el tubo, pues permite verificar su ajuste y su posición dentro del mismo.

En la parte trasera del portamuestras, debe haber una placa dura que está bien fijada al tubo de impedancia, ya que en muchas mediciones actúa como la terminación rígida del mismo. En ciertos experimentos, se hace necesario un volumen de aire detrás del objeto de prueba que actuará como una terminación de liberación de presión, con una profundidad en relación a la longitud de onda de $\lambda_0/4$, descrito en el anexo C de la norma mencionada.

MICRÓFONO

Para las mediciones se utilizarán micrófonos de tipo idéntico en cada ubicación, que cumplirán la función de registrar cómo se comporta el sonido dentro del tubo de impedancia. Si los micrófonos se montan en la pared, su diámetro debe ser considerablemente más pequeño en comparación con la relación c_0/f_n . Además, es recomendable que el diámetro sea menor del 20 % del espacio entre ellos. Para el montaje en pared lateral, es recomendado el uso de micrófonos del tipo de presión, diseñados para medir la presión acústica.

Posición de los micrófonos

Al usar micrófonos montados en las paredes laterales del tubo, es importante que cada uno se encuentre bien fijado con el diafragma (la parte sensible del micrófono) al mismo nivel que la superficie interior del tubo. A veces, es necesario tener un espacio, como es mostrado en la figura 6; sin embargo, este espacio debe ser pequeño y e idéntico en ambos soportes del micrófono.

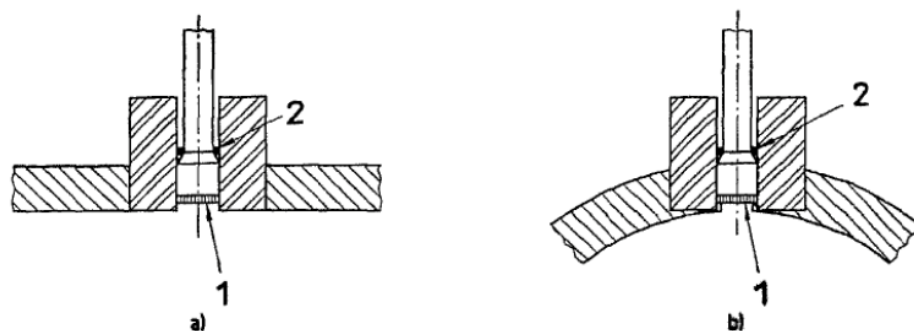


Figura C-3: Ejemplos de montaje típico de micrófono. Tomado de: Organización Internacional de normalización [ISO] (1998)

Donde:

1. Micrófono
2. Sellado

Cuando se usa un único micrófono en dos posiciones sucesivas, es importante cerrar herméticamente la posición de la pared que no está siendo usada, con el fin de evitar que el aire se escape y se mantenga una superficie interna del tubo lisa y continua.

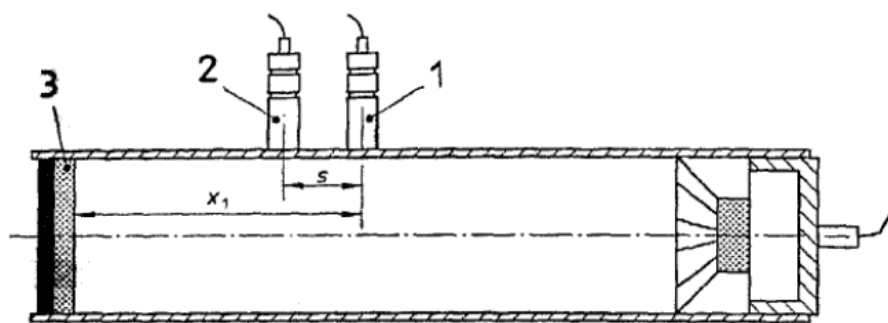


Figura C-4: Posiciones y distancias de los micrófonos. Tomado de: Organización Internacional de normalización [ISO] (1998)

Donde:

1. Micrófono A
2. Micrófono B
3. Espécimen de prueba

EQUIPO DE PROCESAMIENTO DE SEÑALES

El equipo de procesamiento de señales se compone por un amplificador y un sistema de análisis Transformada rápida de Fourier de dos canales (FFT), el cual será esencial para medir la presión del sonido en las dos posiciones de los micrófonos y calcular la función de la transferencia de sonido de uno a otro (función de transferencia (H_{12})). También, se requiere de un generador que pueda producir la señal de sonido necesaria compatible con el sistema de análisis requerido.

ALTAVOZ

En el extremo opuesto al porta muestras en el tubo de impedancia, debe colocarse un altavoz que tenga una membrana grande o una bocina para emitir el sonido, el cual actuará como la "salida" del tubo. La superficie de esta parte del altavoz debe cubrir al menos dos tercios ($\frac{2}{3}$) del área de la sección transversal del tubo. El altavoz puede estar colocado en línea recta con el tubo (coaxial) o puede estar ligeramente inclinado.

El altavoz debe estar dentro de una caja que lo aíse del sonido del ambiente, de forma que no se mezcle con otros sonidos presentes en el momento de la medición. Para evitar que las vibraciones del altavoz afecten el tubo de impedancia, se debe aplicar un aislamiento elástico entre el tubo de impedancia y el marco del altavoz, así como a la caja del altavoz.

GENERADOR DE SEÑALES

El generador de señales, siendo una parte fundamental en las mediciones, está conformado por:

- Un generador de señales en forma de oscilaciones sinusoidales, que son enviadas hacia el objeto de prueba.
- Un amplificador de potencia, con el fin de aumentar su volumen o amplitud.

- Además, a veces se utiliza una frecuencia contador para medir con precisión la frecuencia de las oscilaciones sinusoidales. La generación, fluctuación de señal y la lectura de la frecuencia debe tener una precisión menor que 2%.

TERMINACIÓN DEL ALTAVOZ

El nivel de presión acústica en el interior del tubo de impedancia varía en función de la frecuencia, por lo que podría causar problemas en el caso de que la columna de aire entrara en resonancia en el tubo, en especial si el altavoz es muy rígido y no absorbe bien dichas vibraciones. Para ello, hay que aplicar un material acústico absorbente poroso en el interior del tubo de impedancia cerca del altavoz con al menos una longitud de 200 mm, que permita la toma de mediciones precisas.

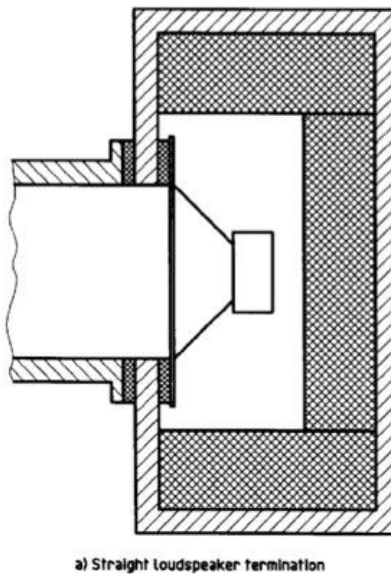


Figura C-5: Terminación del altavoz. Tomado de: Organización Internacional de normalización [ISO] (1998)

D. Anexo: Recolección bibliográfica de reemplazo de cemento por RHA

Los casos presentados corresponden a estudios tanto de morteros como de concreto, se tuvieron en cuenta ambos ya que se consideró que el cemento podría actuar como una mezcla análoga al momento de considerar los porcentajes de reemplazo por RHA debido a su composición, dicha consideración solo se tuvo en cuenta para este análisis. En la **Tabla D-1** se registra por autor los porcentajes de estudio, se resaltan con color azul los resultados cuyas conclusiones de dichos estudios hayan aprobado su rendimiento a compresión.

CENIZA DE CASCARILLA DE ARROZ		%					
de reemplazo		1	2	3	4	5	6
Estudio (web)	Universidad o autor						
1	U Norte	8	12	16			
2	U Cesar Vallejo	10	15	20			
3	SIB Bolivia	5	10	15			
	Jindal Y Ransin	5	10	15			
4	Sak	5	10	15	20		
	Mehta y Sidque	5	10	15	20	25	30
5	Rev Latam MetalMater	10	20	30			
6	Uni Cartagena	5	10	15	20		
7	UPAO	2	8	10	12	15	
8	CIPC	2,5	5				
9	C. I. Neogranadina	5	10	15			
10	Investigación	15	25				
11	UCE	10	15				

12	URP	10	15				
13	UCP	6	8	10			
14	IOP	5	10	15	20		
15	IO O	5	10	15	20	25	
16	CS	5	10	15	20	25	
17	UCTP	2,5	5	7,5	10	12,5	15
18	UB	10	20				

Tabla D-4: Recopilación de autores y estudios, porcentajes de reemplazo utilizados, aprobados y no aprobados. Fuente elaboración propia.

Se seleccionó el dato máximo aprobado y máximo estudiado de cada caso y se construyó la **Tabla D-2**

Aceptado	Final
8	16
15	20
15	15
15	15
15	20
15	30
20	30
20	20
15	15
5	5
5	15
25	25
15	15
15	15
6	10
10	20
20	25
20	25
10	25
20	20

Tabla D-5: Dato máximo aceptado por la investigación, dato máximo estudiado por caso. Fuente elaboración propia

De la tabla D-2 se formuló la figura D-1 correspondientes columnas apiladas según todos los casos registrados en la recopilación acumulando su porcentaje aceptado máximo y su porcentaje de estudio máximo.

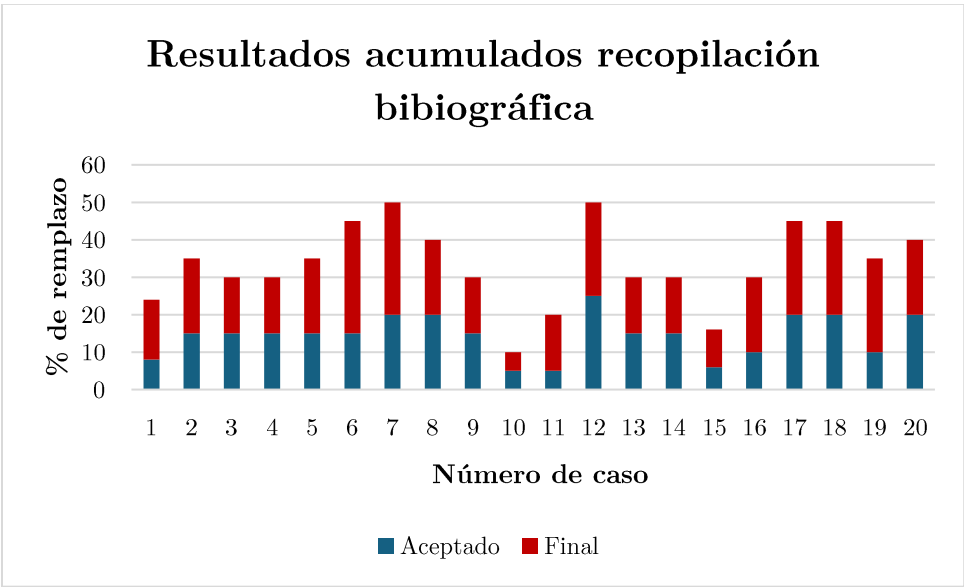


Figura D-1:Resultados Acumulados de la Recopilación Bibliográfica. Fuente: Elaboración Propia

Se agruparon en intervalos de 5 puntos porcentuales de diferencia con el anterior, empezando por el 5% de reemplazo por RHA, por ello se construyeron la tabla 4-1

Porcentaje de reemplazo	Aprobada	Reprobada	Total
5%	12	2	14
10%	19	3	22
15%	12	6	18
20%	6	4	10
25%	1	3	4
30%	0	2	2

Tabla D-6: Frecuencia de Casos Aprobados y Reprobados, según el porcentaje de adición. Fuente: Elaboración Propia

Con la tabla D-3 se construye el diagrama de columnas apiladas de los registros de casos según el porcentaje correspondiente a la figura D-2

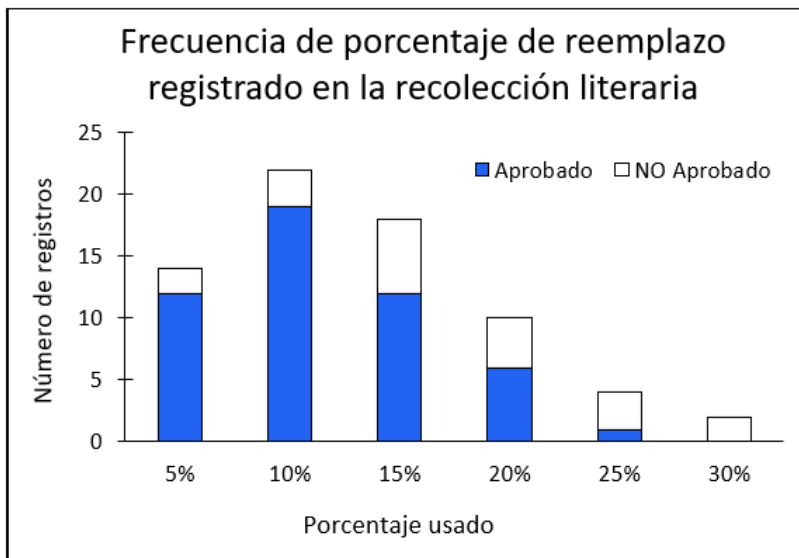


Figura D-2:Columnas apiladas de registros de casos, según el porcentaje de adición. Fuente: Elaboración Propio

Bibliografía Anexo D

- Jaime, M. &Portocarrero, L. (2018). INFLUENCIA DE LA CASCARILLA Y CENIZA DE CASCARILLA DE ARROZ SOBRE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE UN CONCRETO NO ESTRUCTURAL, TRUJILLO 2018. Universidad Privada del Norte. Revisado el 6 de junio de 2024 en <https://repositorio.upn.edu.pe/bitstream/handle/11537/13593/Jaime%20Huertas%20Miguel%20Angel%20-%20Portocarrero%20Regalado%20Luis%20Alberto.pdf?sequence=4&isAllowed=y>
- Aliaga, J. & Badajos, D. (2018). Adición de cenizas de cascarilla de arroz para el diseño de concreto f'c 210kg/cm2, Atalaya, Ucayali – 2018. Universidad César Vallejo.
- Lamas, P. (2021). EFECTOS DE LA CENIZA DE LA CASCARILLA DE ARROZ EN EL PROPORCIONAMIENTO PARA MORTEROS Y CONCRETOS DE ALTA RESISTENCIA UTILIZANDO CEMENTO PORTLAND PUZOLÁNICO. Recuperado de la S.I.B en <https://sib.org.bo/actividad/articulos/item/679-efectos-de-la-ceniza-de-la-cascarilla-de-arroz-en-el-proporcionamiento-para-morteros-y-concretos-de-alta-resistencia-utilizando-cemento-portland-puzolanico.html>
- Montero, D. (2017). Uso de la ceniza de cascarilla de arroz como reemplazo parcial del cemento en la fabricación de hormigones convencionales en el Ecuador. Universidad San Francisco de Quito, Ecuador. Recuperado del Repositorio USFQ en: <https://repositorio.usfq.edu.ec/handle/23000/6412>

Evaluación de las propiedades acústicas del mortero con reemplazo parcial de ceniza de cascarilla de arroz.

- Matthey, P., Robayo, R., Díaz, J., Delvasto, S. & Monzó, J. (2015). Aplicación de ceniza de cascarilla de arroz obtenida de un proceso agro-industrial para la fabricación de bloques en concreto no estructurales. Revista Latinoamericana de Metalurgia y Materiales, 35(2), 285–294. Recuperado en: https://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0255-69522015000200015
- Romero, K. & Urueta, D. (2021). ANÁLISIS DEL EFECTO QUE PRODUCE EL REEMPLAZAR UN PORCENTAJE DE CEMENTO EN LA MATRIZ DE CONCRETO HIDRÁULICO POR CENIZA DE CASCARILLA DE ARROZ (CCA). Universidad de Cartagena. Recuperado del Repositorio Unicartagena en: <https://repositorio.unicartagena.edu.co/bitstream/handle/11227/12445/MONOGRAFIA%20KEVIN%20ROMERO%20Y%20URUETA%281%29.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Cotrina, H. & Reyes, J. (2022) ELABORACIÓN DE BLOQUES DE CONCRETO CON CENIZA DE CASCARA DE ARROZ PARA MEJORAR LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN Y REDUCIR COSTOS DE PRODUCCIÓN, PIURA. Universidad Privada Antenor Orrego. Recuperado del Repositorio UPAO en: https://repositorio.upao.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12759/10207/REP_HENRY.COTRINA_JOS%c3%89.REYES_ELABORACION.DE.BLOQUES.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Rocha, J., Herrera, M., Cayo, N., Cachaca, G., Bautista, J. & Patiño, A. (2021). Evaluación de la resistencia a la compresión de bloques de suelo-cemento con la incorporación de Ceniza de Cáscara de Arroz (CCA). XVII Congreso Internacional sobre Patología y Rehabilitación de las Construcciones. Recuperado en: https://www.researchgate.net/publication/351674267_Evaluacion_de_la_resistencia_a_la_compresion_de_bloques_de_suelo-cemento_con_la_incorporacion_de_Ceniza_de_Cascara_de_Arroz_CCA
- Camargo, N. & Higuera, S. (2017). CONCRETO HIDRÁULICO MODIFICADO CON SÍLICE OBTENIDA DE LA CASCARILLA DEL ARROZ. Revista Ciencia e Ingeniería Neogranadina, 27 (1). Recuperado en: http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=s0124-81702017000100006&script=sci_arttext
- Giaccio, G., Zerbino, R., Tobes, J.M., López, A., Isaia, G. & Rodríguez de Sensale, G. (2006). APROVECHAMIENTO DE LA CENIZA DE CÁSCARA DE ARROZ PARA LA ELABORACIÓN DE HORMIGONES. Recuperado en: https://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/91617/Documento_completo.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Bastidas, P. (2019). Comportamiento de la ceniza de la cascarilla de arroz en las propiedades físico-mecánicas en mezclas de hormigón estándar. Recuperado en: <https://www.dspace.uce.edu.ec/entities/publication/c46602ef-7c59-486f-bc1a-0f908cf62783>
- Loayza, J. & Lopez, B. (2022). Cenizas de residuos agrícolas como reemplazo parcial de cemento para mejorar las propiedades físico-mecánicas del concreto estructural. Recuperado en: <https://repositorio.urp.edu.pe/handle/20.500.14138/5803>
- Ríos, J. & Maslucan, P. (2022). Diseño de concreto de alta resistencia con aplicación de ceniza de cascarilla de arroz, para mejorar su resistencia a la compresión, San Martín – 2022. Universidad Científica del Perú. Recuperado en: <http://repositorio.ucp.edu.pe/handle/UCP/2401>
- Kaarthik, N., Sandeep, S. & Mini, K. (2016). Study on concrete with partial replacement of cement by rice husk ash. Conference Series: Materials Science and Engineering. Recuperado en: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/149/1/012109/pdf>

- Obilade, I. (2014). USE OF RICE HUSK ASH AS PARTIAL REPLACEMENT FOR CEMENT IN CONCRETE. International Journal of Engineering and Applied Sciences, vol 5 (04).
- Zareei, S., Ameri, F., Dorostkar, F., & Ahmadi, M. (2017). Rice husk ash as a partial replacement of cement in high strength concrete containing micro silica: Evaluating durability and mechanical properties. Case Studies in Construction Materials, 7, 73–81. Recuperado en: <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2017.05.001>
- Ali, T., Saand, A., Bangwar, D. K., Buller, A. & Ahmed, Z. (2021). Mechanical and durability properties of aerated concrete incorporating rice husk ash (RHA) as partial replacement of cement. Crystals, 11(6), 604. Recuperado en: <https://doi.org/10.3390/cryst11060604>
- Habeeb, G., & Mahmud, H. (2010). Study on properties of rice husk ash and its use as cement replacement material. Materials Research, 13(2), 185–190. Recuperado en: <https://doi.org/10.1590/s1516-14392010000200011>
-

E. Anexo: Datos de la muestra Resistencia a la Compresión

	FLUIDEZ		DATOS INICIALES		
Grupo	PROMEDIO	%FLUIDEZ	Número	Fecha-Fundido	Hora
Pt	119,325	19,4	1	27/10/2023	8:40:00 a. m.
Pt	119,325	19,4	2	27/10/2023	8:40:00 a. m.
Pt	119,325	19,4	3	27/10/2023	8:40:00 a. m.
Pt	119,325	19,4	4	27/10/2023	8:40:00 a. m.
Pt	119,325	19,4	5	27/10/2023	8:40:00 a. m.
Pt	119,325	19,4	6	27/10/2023	8:40:00 a. m.
Pt	121,275	21,4	7	27/10/2023	9:54:00 a. m.
Pt	121,275	21,4	8	27/10/2023	9:54:00 a. m.
Pt	121,275	21,4	9	27/10/2023	9:54:00 a. m.
Pt	121,275	21,4	10	27/10/2023	9:54:00 a. m.
Pt	121,275	21,4	11	27/10/2023	9:54:00 a. m.
Pt	121,275	21,4	12	27/10/2023	9:54:00 a. m.
Pt	117,175	17,3	13	27/10/2023	11:10:00 a. m.
Pt	117,175	17,3	14	27/10/2023	11:10:00 a. m.
Pt	117,175	17,3	15	27/10/2023	11:10:00 a. m.
Pt	117,175	17,3	16	27/10/2023	11:10:00 a. m.
Pt	117,175	17,3	17	27/10/2023	11:10:00 a. m.
Pt	117,175	17,3	Descartado	27/10/2023	11:10:00 a. m.
Pt	121,375	21,5	18	30/10/2023	9:15:00 a. m.
Pt	121,375	21,5	19	30/10/2023	9:15:00 a. m.
Pt	121,375	21,5	20	30/10/2023	9:15:00 a. m.
Pt	121,375	21,5	21	30/10/2023	9:15:00 a. m.
Pt	121,375	21,5	22	30/10/2023	9:15:00 a. m.

Anexo E. Datos de la muestra: Resistencia a la Compresión

Pt	121,375	21,5	23	30/10/2023	9:15:00 a. m.
Pt	122,8	22,9	24	30/10/2023	10:10:00 a. m.
Pt	122,8	22,9	25	30/10/2023	10:10:00 a. m.
Pt	122,8	22,9	26	30/10/2023	10:10:00 a. m.
Pt	122,8	22,9	27	30/10/2023	10:10:00 a. m.
Pt	122,8	22,9	28	30/10/2023	10:10:00 a. m.
Pt	122,8	22,9	29	30/10/2023	10:10:00 a. m.
Pt	122,55	22,7	30	31/10/2023	8:37:00 a. m.
Pt	122,55	22,7	31	31/10/2023	8:37:00 a. m.
Pt	122,55	22,7	32	31/10/2023	8:37:00 a. m.
Pt	122,55	22,7	33	31/10/2023	8:37:00 a. m.
Pt	122,55	22,7	34	31/10/2023	8:37:00 a. m.
Pt	122,55	22,7	35	31/10/2023	8:37:00 a. m.
Pt	120,25	20,4	36	31/10/2023	9:24:00 a. m.
Pt	120,25	20,4	37	31/10/2023	9:24:00 a. m.
Pt	120,25	20,4	38	31/10/2023	9:24:00 a. m.
Pt	120,25	20,4	39	31/10/2023	9:24:00 a. m.
Pt	120,25	20,4	40	31/10/2023	9:24:00 a. m.
Pt	120,25	20,4	41	31/10/2023	9:24:00 a. m.
Pt	121,25	21,4	42	31/10/2023	10:14:00 a. m.
Pt	121,25	21,4	43	31/10/2023	10:14:00 a. m.
Pt	121,25	21,4	44	31/10/2023	10:14:00 a. m.
Pt	121,25	21,4	45	31/10/2023	10:14:00 a. m.
Pt	121,25	21,4	46	31/10/2023	10:14:00 a. m.
Pt	121,25	21,4	47	31/10/2023	10:14:00 a. m.
R10	122,025	22,1	1	31/10/2023	12:43:00 p. m.
R10	122,025	22,1	2	31/10/2023	12:43:00 p. m.
R10	122,025	22,1	3	31/10/2023	12:43:00 p. m.
R10	122,025	22,1	4	31/10/2023	12:43:00 p. m.
R10	122,025	22,1	5	31/10/2023	12:43:00 p. m.
R10	122,025	22,1	6	31/10/2023	12:43:00 p. m.
R10	122,1	22,2	7	31/10/2023	1:35:00 a. m.
R10	122,1	22,2	8	31/10/2023	1:35:00 a. m.
R10	122,1	22,2	9	31/10/2023	1:35:00 a. m.
R10	122,1	22,2	10	31/10/2023	1:35:00 a. m.
R10	122,1	22,2	11	31/10/2023	1:35:00 a. m.
R10	122,1	22,2	12	31/10/2023	1:35:00 a. m.
R10	115,775	15,9	13	31/10/2023	2:06:00 a. m.

Evaluación de las propiedades acústicas del mortero con reemplazo parcial
de ceniza de cascarilla de arroz.

R10	115,775	15,9	14	31/10/2023	2:06:00 a. m.
R10	115,775	15,9	15	31/10/2023	2:06:00 a. m.
R10	115,775	15,9	16	31/10/2023	2:06:00 a. m.
R10	115,775	15,9	17	31/10/2023	2:06:00 a. m.
R10	115,775	15,9	18	31/10/2023	2:06:00 a. m.
R10	121,275	21,4	19	1/11/2023	8:15:00 a. m.
R10	121,275	21,4	20	1/11/2023	8:15:00 a. m.
R10	121,275	21,4	21	1/11/2023	8:15:00 a. m.
R10	121,275	21,4	22	1/11/2023	8:15:00 a. m.
R10	121,275	21,4	23	1/11/2023	8:15:00 a. m.
R10	121,275	21,4	24	1/11/2023	8:15:00 a. m.
R10	122	22,1	25	1/11/2023	9:10:00 a. m.
R10	122	22,1	26	1/11/2023	9:10:00 a. m.
R10	122	22,1	27	1/11/2023	9:10:00 a. m.
R10	122	22,1	28	1/11/2023	9:10:00 a. m.
R10	122	22,1	29	1/11/2023	9:10:00 a. m.
R10	122	22,1	30	1/11/2023	9:10:00 a. m.
R10	120,775	20,9	31	1/11/2023	10:10:00 a. m.
R10	120,775	20,9	32	1/11/2023	10:10:00 a. m.
R10	120,775	20,9	33	1/11/2023	10:10:00 a. m.
R10	120,775	20,9	34	1/11/2023	10:10:00 a. m.
R10	120,775	20,9	35	1/11/2023	10:10:00 a. m.
R10	120,775	20,9	36	1/11/2023	10:10:00 a. m.
R10	116,5	16,6	37	1/11/2023	12:48:00 p. m.
R10	116,5	16,6	38	1/11/2023	12:48:00 p. m.
R10	116,5	16,6	39	1/11/2023	12:48:00 p. m.
R10	116,5	16,6	40	1/11/2023	12:48:00 p. m.
R10	116,5	16,6	41	1/11/2023	12:48:00 p. m.
R10	116,5	16,6	42	1/11/2023	12:48:00 p. m.
R10	120,125	20,2	43	1/11/2023	1:20:00 a. m.
R10	120,125	20,2	44	1/11/2023	1:20:00 a. m.
R10	120,125	20,2	45	1/11/2023	1:20:00 a. m.
R15	120,125	20,2	46	1/11/2023	1:20:00 a. m.
R15	120,125	20,2	47	1/11/2023	1:20:00 a. m.
R15	120,125	20,2	48	1/11/2023	1:20:00 a. m.
R15	119,325	19,4	1	1/11/2023	2:23:00 a. m.
R15	119,325	19,4	2	1/11/2023	2:23:00 a. m.
R15	119,325	19,4	3	1/11/2023	2:23:00 a. m.

Anexo E. Datos de la muestra: Resistencia a la Compresión

R15	119,325	19,4	4	1/11/2023	2:23:00 a. m.
R15	119,325	19,4	5	1/11/2023	2:23:00 a. m.
R15	119,325	19,4	6	1/11/2023	2:23:00 a. m.
R15	124,25	24,4	7	2/11/2023	8:10:00 a. m.
R15	124,25	24,4	8	2/11/2023	8:10:00 a. m.
R15	124,25	24,4	9	2/11/2023	8:10:00 a. m.
R15	124,25	24,4	10	2/11/2023	8:10:00 a. m.
R15	124,25	24,4	11	2/11/2023	8:10:00 a. m.
R15	124,25	24,4	12	2/11/2023	8:10:00 a. m.
R15	118,525	18,6	13	2/11/2023	9:07:00 a. m.
R15	118,525	18,6	14	2/11/2023	9:07:00 a. m.
R15	118,525	18,6	15	2/11/2023	9:07:00 a. m.
R15	118,525	18,6	16	2/11/2023	9:07:00 a. m.
R15	118,525	18,6	17	2/11/2023	9:07:00 a. m.
R15	118,525	18,6	18	2/11/2023	9:07:00 a. m.
R15	124,1	24,2	19	2/11/2023	10:24:00 a. m.
R15	124,1	24,2	20	2/11/2023	10:24:00 a. m.
R15	124,1	24,2	21	2/11/2023	10:24:00 a. m.
R15	124,1	24,2	22	2/11/2023	10:24:00 a. m.
R15	124,1	24,2	23	2/11/2023	10:24:00 a. m.
R15	124,1	24,2	24	2/11/2023	10:24:00 a. m.
R15	121,7	21,8	25	2/11/2023	11:23:00 a. m.
R15	121,7	21,8	26	2/11/2023	11:23:00 a. m.
R15	121,7	21,8	27	2/11/2023	11:23:00 a. m.
R15	121,7	21,8	28	2/11/2023	11:23:00 a. m.
R15	121,7	21,8	29	2/11/2023	11:23:00 a. m.
R15	121,7	21,8	30	2/11/2023	11:23:00 a. m.
R15	121,125	21,2	31	2/11/2023	12:50:00 p. m.
R15	121,125	21,2	32	2/11/2023	12:50:00 p. m.
R15	121,125	21,2	33	2/11/2023	12:50:00 p. m.
R15	121,125	21,2	34	2/11/2023	12:50:00 p. m.
R15	121,125	21,2	35	2/11/2023	12:50:00 p. m.
R15	121,125	21,2	36	2/11/2023	12:50:00 p. m.
R15	121,025	21,1	37	2/11/2023	1:25:00 a. m.
R15	121,025	21,1	38	2/11/2023	1:25:00 a. m.
R15	121,025	21,1	39	2/11/2023	1:25:00 a. m.
R15	121,025	21,1	40	2/11/2023	1:25:00 a. m.
R15	121,025	21,1	41	2/11/2023	1:25:00 a. m.

Evaluación de las propiedades acústicas del mortero con reemplazo parcial
de ceniza de cascarilla de arroz.

R15	121,025	21,1	42	2/11/2023	1:25:00 a. m.
R15	120,875	21,0	43	2/11/2023	2:10:00 a. m.
R15	120,875	21,0	44	2/11/2023	2:10:00 a. m.
R15	120,875	21,0	45	2/11/2023	2:10:00 a. m.
R15	120,875	21,0	46	2/11/2023	2:10:00 a. m.
R15	120,875	21,0	47	2/11/2023	2:10:00 a. m.
R15	120,875	21,0	48	2/11/2023	2:10:00 a. m.
R20	120,525	20,6	1	3/11/2023	9:32:00 a. m.
R20	120,525	20,6	2	3/11/2023	9:32:00 a. m.
R20	120,525	20,6	3	3/11/2023	9:32:00 a. m.
R20	120,525	20,6	4	3/11/2023	9:32:00 a. m.
R20	120,525	20,6	5	3/11/2023	9:32:00 a. m.
R20	120,525	20,6	6	3/11/2023	9:32:00 a. m.
R20	123,875	24,0	7	3/11/2023	10:53:00 a. m.
R20	123,875	24,0	8	3/11/2023	10:53:00 a. m.
R20	123,875	24,0	9	3/11/2023	10:53:00 a. m.
R20	123,875	24,0	10	3/11/2023	10:53:00 a. m.
R20	123,875	24,0	11	3/11/2023	10:53:00 a. m.
R20	123,875	24,0	12	3/11/2023	10:53:00 a. m.
R20	124,225	24,3	13	3/11/2023	11:40:00 a. m.
R20	124,225	24,3	14	3/11/2023	11:40:00 a. m.
R20	124,225	24,3	15	3/11/2023	11:40:00 a. m.
R20	124,225	24,3	16	3/11/2023	11:40:00 a. m.
R20	124,225	24,3	17	3/11/2023	11:40:00 a. m.
R20	124,225	24,3	18	3/11/2023	11:40:00 a. m.
R20	121,475	21,6	19	3/11/2023	12:30:00 p. m.
R20	121,475	21,6	20	3/11/2023	12:30:00 p. m.
R20	121,475	21,6	21	3/11/2023	12:30:00 p. m.
R20	121,475	21,6	22	3/11/2023	12:30:00 p. m.
R20	121,475	21,6	23	3/11/2023	12:30:00 p. m.
R20	121,475	21,6	Descartado	3/11/2023	12:30:00 p. m.
R20	121,45	21,6	24	7/11/2023	9:42:00 a. m.
R20	121,45	21,6	25	7/11/2023	9:42:00 a. m.
R20	121,45	21,6	26	7/11/2023	9:42:00 a. m.
R20	121,45	21,6	27	7/11/2023	9:42:00 a. m.
R20	121,45	21,6	28	7/11/2023	9:42:00 a. m.
R20	121,45	21,6	29	7/11/2023	9:42:00 a. m.
R20	123	23,1	30	7/11/2023	10:35:00 a. m.

R20	123	23,1	31	7/11/2023	10:35:00 a. m.
R20	123	23,1	32	7/11/2023	10:35:00 a. m.
R20	123	23,1	33	7/11/2023	10:35:00 a. m.
R20	123	23,1	34	7/11/2023	10:35:00 a. m.
R20	123	23,1	35	7/11/2023	10:35:00 a. m.
R20	121,875	22,0	36	10/11/2023	9:54:00 a. m.
R20	121,875	22,0	37	10/11/2023	9:54:00 a. m.
R20	121,875	22,0	38	10/11/2023	9:54:00 a. m.
R20	121,875	22,0	39	10/11/2023	9:54:00 a. m.
R20	121,875	22,0	40	10/11/2023	9:54:00 a. m.
R20	121,875	22,0	41	10/11/2023	9:54:00 a. m.
R20	124,7	24,8	42	10/11/2023	10:42:00 a. m.
R20	124,7	24,8	43	10/11/2023	10:42:00 a. m.
R20	124,7	24,8	44	10/11/2023	10:42:00 a. m.
R20	124,7	24,8	45	10/11/2023	10:42:00 a. m.
R20	124,7	24,8	46	10/11/2023	10:42:00 a. m.
R20	124,7	24,8	47	10/11/2023	10:42:00 a. m.

Tabla E-1: Datos de fluidez y fecha de los ensayos. Fuente: Elaboración Propia

Evaluación de las propiedades acústicas del mortero con reemplazo parcial de ceniza de cascarilla de arroz.

	DATOS INICIALES		ENSAYO-COMPRESIÓN				
% RHA	Días de Curado	Fecha de Ensayo	Lado A	Lado B	Lado C	Sensibilidad	Compresión (Mpa)
Pt	28	24/11/2023	50,9	50,5	50,7	8	31,26
Pt	28	24/11/2023	50,6	50,7	50,7	8	33,15
Pt	28	24/11/2023	50,7	50,6	50,6	8	34,52
Pt	28	24/11/2023	51,6	49,5	50,5	8	25,52
Pt	28	24/11/2023	50,8	50,5	51,1	8	30,22
Pt	28	24/11/2023	51	50,7	50,7	8	28,32
Pt	28	24/11/2023	50,8	50,8	50,4	8	25,2
Pt	28	24/11/2023	50,6	51	50,1	8	26,3
Pt	28	24/11/2023	50,9	50,7	50,3	8	26,39
Pt	28	24/11/2023	50,5	50,4	50,1	8	26,51
Pt	28	24/11/2023	50,9	50,9	50	8	28,3
Pt	28	24/11/2023	51	50,8	50,2	8	24,93
Pt	28	24/11/2023	51	50,7	49,9	8	24,6
Pt	28	24/11/2023	50,3	50,4	50	8	21,64
Pt	28	24/11/2023	50,9	50,5	49,5	8	27,63
Pt	28	24/11/2023	50,7	51,1	50,1	8	24,32
Pt	28	24/11/2023	51	50,1	50	8	25,63
Pt	x	x	x	x	x	x	x
Pt	28	27/11/2023	50,7	50,8	50,6	8	23,01
Pt	28	27/11/2023	50,3	50,4	50,2	8	18,84
Pt	28	27/11/2023	50,8	50,9	50,5	8	21,25
Pt	28	27/11/2023	50,9	50,5	49,9	8	21,66
Pt	28	27/11/2023	51	51,1	50,7	8	23,37
Pt	28	27/11/2023	50,3	51	49,8	8	20,21
Pt	28	27/11/2023	51,4	50,8	50,5	8	29,59
Pt	28	27/11/2023	51	50,6	50,6	8	31,28
Pt	28	27/11/2023	51,3	50,7	50,3	8	22,03
Pt	28	27/11/2023	50,9	50,6	50,5	8	25,93
Pt	28	27/11/2023	51	50,6	50,7	8	33,71
Pt	28	27/11/2023	51,2	50,6	50,7	8	32,08
Pt	14	14/11/2023	50,7	51,7	50,4	8	29,28
Pt	14	14/11/2023	51,1	51,7	51,2	8	27,29
Pt	14	14/11/2023	50,8	50,8	51,9	8	27,37
Pt	14	14/11/2023	50,9	50,7	50,4	8	22,02
Pt	14	14/11/2023	50,8	50,6	50,9	8	27,63

Anexo E. Datos de la muestra: Resistencia a la Compresión

Pt	14	14/11/2023	51,1	50,7	51,1	8	28,77
Pt	14	14/11/2023	50,3	51,1	50,8	8	21,36
Pt	14	14/11/2023	50,2	50,8	50,3	8	23,84
Pt	14	14/11/2023	51,8	51,2	50,5	8	22,49
Pt	14	14/11/2023	51	50,7	50,3	8	22,7
Pt	14	14/11/2023	50,5	50,6	50,1	8	23,78
Pt	14	14/11/2023	50,9	50,5	50,4	8	26,86
Pt	14	14/11/2023	51,3	50,8	50,5	8	29,94
Pt	14	14/11/2023	51,2	50,9	50,7	8	26,92
Pt	14	14/11/2023	50,9	50,5	51,3	8	31,38
Pt	28	28/11/2023	51,1	50,6	50,3	8	28,63
Pt	28	28/11/2023	51,3	50,5	50,2	8	28,94
Pt	28	28/11/2023	51,9	50,4	50,7	8	28,92
R10	28	28/11/2023	50,7	51,2	50,4	7	27,08
R10	28	28/11/2023	50,2	50,5	49,8	7	22,98
R10	28	28/11/2023	50,5	51,1	50,5	7	23,48
R10	28	28/11/2023	51	50,6	49,9	7	25,91
R10	28	28/11/2023	50,8	50,6	49,9	7	23,84
R10	28	28/11/2023	50,8	50,7	50	7	20,93
R10	28	28/11/2023	50,5	50,5	50,5	7	25,78
R10	28	28/11/2023	50,9	50,6	50,5	7	25,11
R10	28	28/11/2023	50,6	50,7	50,3	7	22,41
R10	28	28/11/2023	50,8	50,5	50,6	7	30,59
R10	28	28/11/2023	50,5	50,6	50,5	7	28,45
R10	28	28/11/2023	50,6	50,7	50,5	7	25,31
R10	28	28/11/2023	50,9	50,8	51	7	26,84
R10	28	28/11/2023	50,3	50,5	49,6	7	24,77
R10	28	28/11/2023	50,7	51	50	7	24,38
R10	28	28/11/2023	50,7	50,7	50	7	22,22
R10	28	28/11/2023	50,5	50,6	49,9	7	26,56
R10	28	28/11/2023	51	50,7	50	7	22,26
R10	28	29/11/2023	51	50,7	50,5	7	27,45
R10	28	29/11/2023	50,8	50,7	50,7	7	28,59
R10	28	29/11/2023	50,9	50,7	50,4	7	30,38
R10	28	29/11/2023	51	50,7	50,9	7	23,9
R10	28	29/11/2023	51,7	50,7	51	7	25,87
R10	28	29/11/2023	51,8	50,7	50,7	7	23,11
R10	28	29/11/2023	50,8	51	50,2	7	18,59

Evaluación de las propiedades acústicas del mortero con reemplazo parcial de ceniza de cascarilla de arroz.

R10	28	29/11/2023	50,9	50,7	49,9	7	20,85
R10	28	29/11/2023	50,8	50,8	50,5	7	22,13
R10	28	29/11/2023	51,4	50,9	50,2	7	23,52
R10	28	29/11/2023	50,8	50,8	50,3	7	22,36
R10	28	29/11/2023	50,5	50,7	50	7	23,4
R10	28	29/11/2023	50,9	50,8	50,6	7	29,56
R10	28	29/11/2023	51	50,7	51	7	17,66
R10	28	29/11/2023	50,9	50,8	51	7	29,31
R10	14	15/11/2023	51	50,6	50,4	7	28,78
R10	14	15/11/2023	50,8	50,8	50,8	7	28,89
R10	14	15/11/2023	51	50,9	51,1	7	26,82
R10	14	15/11/2023	50,5	50,5	50,7	7	19,95
R10	14	15/11/2023	50,7	51	50,1	7	23,48
R10	14	15/11/2023	50,8	50,7	51,1	7	21,91
R10	14	15/11/2023	50,6	51,4	50	7	22,57
R10	14	15/11/2023	50,5	50,8	50,1	7	25,55
R10	14	15/11/2023	50,1	50,8	51	7	22,54
R10	14	15/11/2023	50,8	50,9	50,6	7	25,7
R10	14	15/11/2023	50,3	50,6	50,6	7	27,93
R10	14	15/11/2023	50,5	50,7	50,6	7	27,14
R15	14	15/11/2023	50,7	50,7	50,5	7	26,93
R15	14	15/11/2023	50,6	50,6	50,5	7	25,61
R15	14	15/11/2023	50,7	50,7	50,6	7	24,1
R15	28	29/11/2023	50,8	50,7	50,5	6	17,14
R15	28	29/11/2023	50,7	51	50,5	6	23,79
R15	28	29/11/2023	50,3	50,6	50,4	6	21,45
R15	28	29/11/2023	50,6	50,9	50,4	6	22,06
R15	28	29/11/2023	50,2	50,5	49,8	6	16,86
R15	28	29/11/2023	50,6	50,8	50,4	6	21,65
R15	28	30/11/2023	50,7	50,9	50,6	6	25,9
R15	28	30/11/2023	51,1	50,8	50,5	6	27,42
R15	28	30/11/2023	51	50,8	50,6	6	27,72
R15	28	30/11/2023	51	50,8	50,7	6	24,76
R15	28	30/11/2023	50,9	50,6	51,1	6	26,4
R15	28	30/11/2023	51,3	50,7	51	6	25,13
R15	28	30/11/2023	50,6	50,7	50,5	6	20,19
R15	28	30/11/2023	50,9	50,8	50,5	6	22,67
R15	28	30/11/2023	50,5	50,5	50	6	23,92

Anexo E. Datos de la muestra: Resistencia a la Compresión

R15	28	30/11/2023	50,7	50,7	50,1	6	23,21
R15	28	30/11/2023	50,3	50,7	50,1	6	25,05
R15	28	30/11/2023	50,8	51	49,7	6	25,53
R15	28	30/11/2023	51	50,7	50,1	6	27,11
R15	28	30/11/2023	50,5	50,9	50,8	6	28,36
R15	28	30/11/2023	50,3	50,8	50,8	6	26,08
R15	28	30/11/2023	51	50,8	50,7	6	28,17
R15	28	30/11/2023	50,8	50,6	50,8	6	27,66
R15	28	30/11/2023	50,6	50,7	50,3	6	26,72
R15	28	30/11/2023	50,8	51,2	49,6	6	25,24
R15	28	30/11/2023	50,4	50,5	49,5	6	26,52
R15	28	30/11/2023	50,5	50,6	50,1	6	22,99
R15	28	30/11/2023	50,6	50,8	50,2	6	24
R15	28	30/11/2023	50,9	50,5	49,5	6	23,8
R15	28	30/11/2023	50,8	51	50,1	6	25,32
R15	28	30/11/2023	50,6	50,7	50,3	6	29,15
R15	28	30/11/2023	50,6	50,7	50,5	6	26,38
R15	28	30/11/2023	50,5	50,7	50,5	6	27,22
R15	14	16/11/2023	50,7	50,7	50,5	6	21,55
R15	14	16/11/2023	50,5	50,5	50,4	6	21,3
R15	14	16/11/2023	50,7	50,5	50,6	6	21,22
R15	14	16/11/2023	50,3	50,5	49,8	6	20,17
R15	14	16/11/2023	50,8	51,4	50	6	21,28
R15	14	16/11/2023	50,8	50,7	50	6	18,75
R15	14	16/11/2023	50,7	50,9	50,6	6	16,71
R15	14	16/11/2023	50,3	50,5	49,9	6	16,93
R15	14	16/11/2023	50,6	50,9	50,5	6	18,23
R15	14	16/11/2023	51	50,8	50,7	6	23,87
R15	14	16/11/2023	51	50,7	50,6	6	24,18
R15	14	16/11/2023	50,7	50,6	50,4	6	24,35
R15	14	16/11/2023	50,9	50,8	50,5	6	20,86
R15	14	16/11/2023	50,7	50,7	50,8	6	25,3
R15	14	16/11/2023	50,4	50,5	50,7	6	22,49
R20	28	1/12/2023	50,2	50,7	50,3	5	18,97
R20	28	1/12/2023	50,7	50,5	50,2	5	21,64
R20	28	1/12/2023	50,5	50,7	50,6	5	20,56
R20	28	1/12/2023	50,8	51,1	50,2	5	22,23
R20	28	1/12/2023	50,1	50,5	49,5	5	22,11

Evaluación de las propiedades acústicas del mortero con reemplazo parcial de ceniza de cascarilla de arroz.

R20	28	1/12/2023	50,7	51	50	5	21,73
R20	28	1/12/2023	50,8	50,7	50,5	5	25,4
R20	28	1/12/2023	50,8	50,6	50,9	5	23,54
R20	28	1/12/2023	50,8	50,8	50,6	5	23,15
R20	28	1/12/2023	50,8	50,8	50,5	5	22,53
R20	28	1/12/2023	50,7	50,9	50,5	5	23,21
R20	28	1/12/2023	51	50,8	50,4	5	25,09
R20	28	1/12/2023	50,5	50,6	49,9	5	21,69
R20	28	1/12/2023	50,7	51,2	50	5	25,26
R20	28	1/12/2023	50,7	50,9	50	5	21,75
R20	28	1/12/2023	50,5	50,7	49,5	5	22,5
R20	28	1/12/2023	50,7	50,6	49,9	5	19,53
R20	28	1/12/2023	50,6	50,5	50,5	5	25,51
R20	28	1/12/2023	50,2	50,7	50,4	5	22,68
R20	28	1/12/2023	50,5	50,5	49,9	5	21,35
R20	28	1/12/2023	50,7	50,7	49,3	5	24,24
R20	28	1/12/2023	50,6	50,6	50,5	5	27,08
R20	28	1/12/2023	50,6	50,6	49,9	5	24,26
R20	28	x	x	x	x	x	x
R20	28	5/12/2023	51	50,7	50,7	5	21,92
R20	28	5/12/2023	50,9	50,6	51	5	22,27
R20	28	5/12/2023	50,8	50,7	50,5	5	18,67
R20	28	5/12/2023	50,9	51	50,8	5	23,75
R20	28	5/12/2023	50,9	50,8	50,7	5	24,49
R20	28	5/12/2023	50,9	50,8	50,7	5	21,58
R20	28	5/12/2023	51	50,8	50,5	5	22,14
R20	28	5/12/2023	50,8	51	50,6	5	19,91
R20	28	5/12/2023	50,5	50,7	50,4	5	19,51
R20	14	21/11/2023	50,5	50,6	50,4	5	19,08
R20	14	21/11/2023	50,6	50,8	50,8	5	20,24
R20	14	21/11/2023	50,7	50,6	50,6	5	16,46
R20	14	24/11/2023	50,8	50,7	51	5	21,4
R20	14	24/11/2023	50,8	50,7	50,7	5	21,03
R20	14	24/11/2023	50,9	50,8	50,4	5	19,96
R20	14	24/11/2023	50,7	50,8	51	5	22,18
R20	14	24/11/2023	50,2	50,4	51	5	22,16
R20	14	24/11/2023	49,9	50,5	50,5	5	21,18
R20	14	24/11/2023	50,7	51,3	49,9	5	21,25

R20	14	24/11/2023	50,2	50,5	49,6	5	18,54
R20	14	24/11/2023	50,4	51	49,9	5	17,69
R20	14	24/11/2023	50,5	50,6	50	5	18,09
R20	14	24/11/2023	50,8	50,9	50,7	5	15,42
R20	14	24/11/2023	50,3	50,8	50	5	17,06

Tabla E-2: Resultados ensayos a compresión. Fuente: Elaboración Propia

F. Informes de análisis estadísticos por
Statgraphics

Ajuste de distribución de resistencia a la compresión

Ajuste de Distribuciones (Ajuste de Datos No Censurados) - Pt t

Datos/Variable: Pt t

15 valores con rango desde 21,36 a 31,38

Distribuciones Ajustadas

Normal
media = 26,1087
desviación estándar = 3,16995

Pruebas de Normalidad para Pt t

Prueba	Estadístico	Valor-P
Estadístico W de Shapiro-Wilk	0,934078	0,313685

El StatAdvisor

Esta ventana muestra los resultados de diversas pruebas realizadas para determinar si Pt t puede modelarse adecuadamente con una distribución normal. La prueba de Shapiro-Wilk está basada en la comparación de los cuartiles de la distribución normal ajustada a los datos.

Debido a que el valor-P más pequeño de las pruebas realizadas es mayor ó igual a 0,05, no se puede rechazar la idea de que Pt t proviene de una distribución normal con 95% de confianza.

Pruebas de Bondad-de-Ajuste para Pt t

Prueba de Kolmogorov-Smirnov

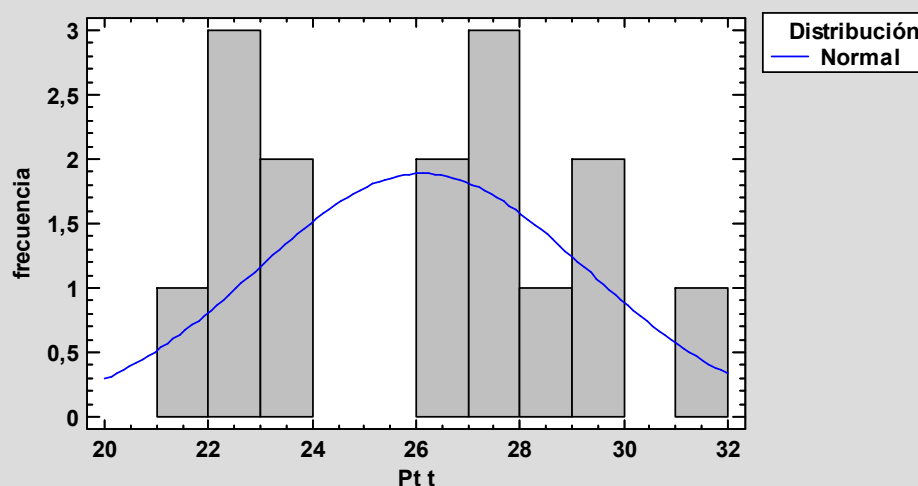
	Normal
DMAS	0,162906
DMENOS	0,193681
DN	0,193681
Valor-P	0,626963

El StatAdvisor

Esta ventana muestra los resultados de diversas pruebas realizadas para determinar si Pt t puede modelarse adecuadamente con una distribución normal.

Debido a que el valor-P más pequeño de las pruebas realizadas es mayor ó igual a 0,05, no se puede rechazar la idea de que Pt t proviene de una distribución normal con 95% de confianza.

Histograma para Pt t



Ajuste de Distribuciones (Ajuste de Datos No Censurados) - R10 t

Datos/Variable: R10 t

15 valores con rango desde 19,95 a 28,89

Distribuciones Ajustadas

Normal
media = 25,1933
desviación estándar = 2,67734

Pruebas de Normalidad para R10 t

Prueba	Estadístico	Valor-P
Estadístico W de Shapiro-Wilk	0,95536	0,612402

El StatAdvisor

Esta ventana muestra los resultados de diversas pruebas realizadas para determinar si R10 t puede modelarse adecuadamente con una distribución normal. La prueba de Shapiro-Wilk está basada en la comparación de los cuartiles de la distribución normal ajustada a los datos.

Debido a que el valor-P más pequeño de las pruebas realizadas es mayor ó igual a 0,05, no se puede rechazar la idea de que R10 t proviene de una distribución normal con 95% de confianza.

Pruebas de Bondad-de-Ajuste para R10 t

Prueba de Kolmogorov-Smirnov

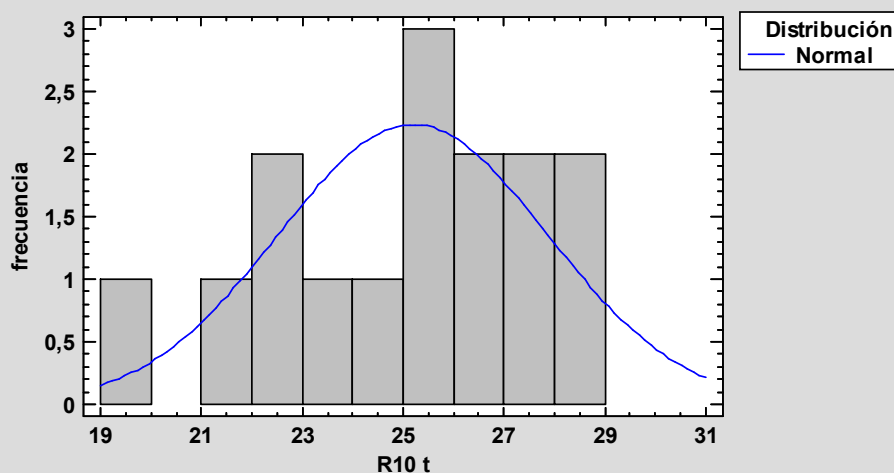
	Normal
DMAS	0,103082
DMENOS	0,152992
DN	0,152992
Valor-P	0,874011

El StatAdvisor

Esta ventana muestra los resultados de diversas pruebas realizadas para determinar si R10 t puede modelarse adecuadamente con una distribución normal.

Debido a que el valor-P más pequeño de las pruebas realizadas es mayor ó igual a 0,05, no se puede rechazar la idea de que R10 t proviene de una distribución normal con 95% de confianza.

Histograma para R10 t



Ajuste de Distribuciones (Ajuste de Datos No Censurados) - R15 t

Datos/Variable: R15 t

15 valores con rango desde 16,71 a 25,3

Distribuciones Ajustadas

Normal
media = 21,146
desviación estándar = 2,6578

Pruebas de Normalidad para R15 t

Prueba	Estadístico	Valor-P
Estadístico W de Shapiro-Wilk	0,951588	0,549811

El StatAdvisor

Esta ventana muestra los resultados de diversas pruebas realizadas para determinar si R15 t puede modelarse adecuadamente con una distribución normal. La prueba de Shapiro-Wilk está basada en la comparación de los cuartiles de la distribución normal ajustada a los datos.

Debido a que el valor-P más pequeño de las pruebas realizadas es mayor ó igual a 0,05, no se puede rechazar la idea de que R15 t proviene de una distribución normal con 95% de confianza.

Pruebas de Bondad-de-Ajuste para R15 t

Prueba de Kolmogorov-Smirnov

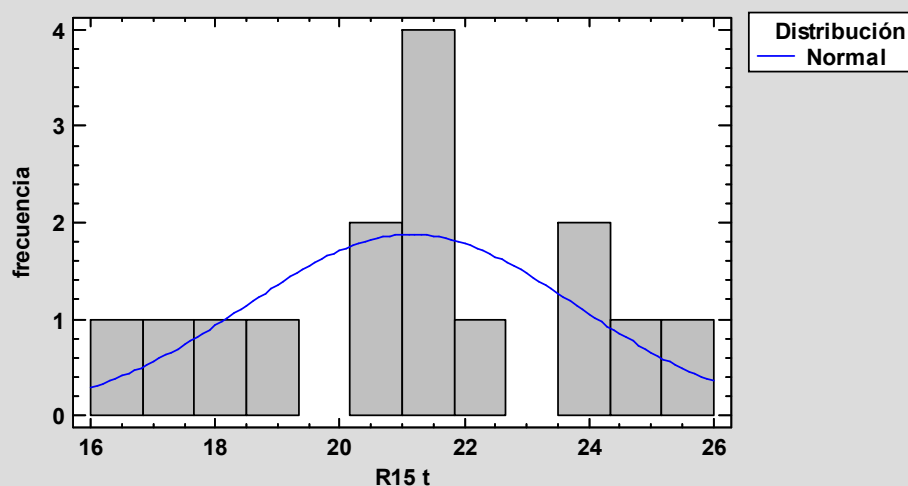
	Normal
DMAS	0,106255
DMENOS	0,123817
DN	0,123817
Valor-P	0,975546

El StatAdvisor

Esta ventana muestra los resultados de diversas pruebas realizadas para determinar si R15 t puede modelarse adecuadamente con una distribución normal.

Debido a que el valor-P más pequeño de las pruebas realizadas es mayor ó igual a 0,05, no se puede rechazar la idea de que R15 t proviene de una distribución normal con 95% de confianza.

Histograma para R15 t



Ajuste de Distribuciones (Ajuste de Datos No Censurados) - R20 t

Datos/Variable: R20 t

15 valores con rango desde 15,42 a 22,18

Distribuciones Ajustadas

Normal
media = 19,4493
desviación estándar = 2,15503

Pruebas de Normalidad para R20 t

Prueba	Estadístico	Valor-P
Estadístico W de Shapiro-Wilk	0,937035	0,34654

El StatAdvisor

Esta ventana muestra los resultados de diversas pruebas realizadas para determinar si R20 t puede modelarse adecuadamente con una distribución normal. La prueba de Shapiro-Wilk está basada en la comparación de los cuartiles de la distribución normal ajustada a los datos.

Debido a que el valor-P más pequeño de las pruebas realizadas es mayor ó igual a 0,05, no se puede rechazar la idea de que R20 t proviene de una distribución normal con 95% de confianza.

Pruebas de Bondad-de-Ajuste para R20 t

Prueba de Kolmogorov-Smirnov

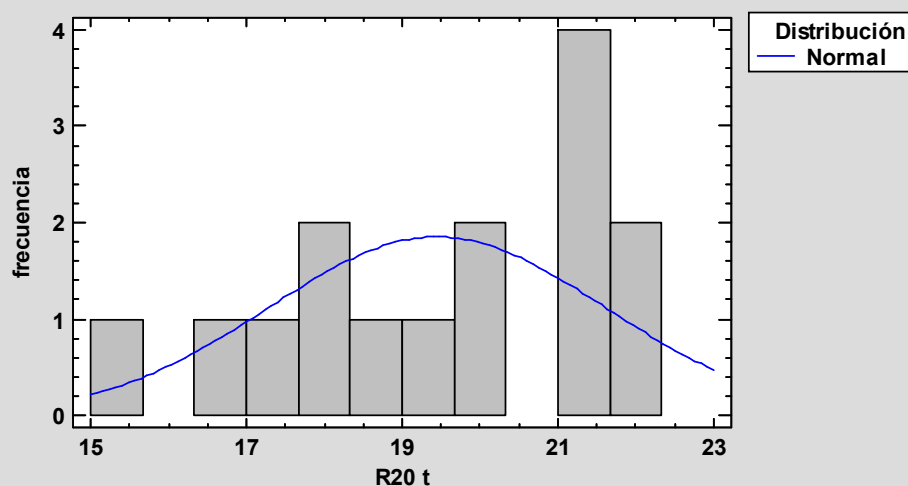
	Normal
DMAS	0,102557
DMENOS	0,168367
DN	0,168367
Valor-P	0,788778

El StatAdvisor

Esta ventana muestra los resultados de diversas pruebas realizadas para determinar si R20 t puede modelarse adecuadamente con una distribución normal.

Debido a que el valor-P más pequeño de las pruebas realizadas es mayor ó igual a 0,05, no se puede rechazar la idea de que R20 t proviene de una distribución normal con 95% de confianza.

Histograma para R20 t



Ajuste de Distribuciones (Ajuste de Datos No Censurados) - Pt u

Datos/Variable: Pt u

32 valores con rango desde 18,84 a 34,52

Distribuciones Ajustadas

Normal
media = 26,6841
desviación estándar = 4,06823

Pruebas de Normalidad para Pt u

Prueba	Estadístico	Valor-P
Estadístico W de Shapiro-Wilk	0,983111	0,883208

El StatAdvisor

Esta ventana muestra los resultados de diversas pruebas realizadas para determinar si Pt u puede modelarse adecuadamente con una distribución normal. La prueba de Shapiro-Wilk está basada en la comparación de los cuartiles de la distribución normal ajustada a los datos.

Debido a que el valor-P más pequeño de las pruebas realizadas es mayor ó igual a 0,05, no se puede rechazar la idea de que Pt u proviene de una distribución normal con 95% de confianza.

Pruebas de Bondad-de-Ajuste para Pt u

Prueba de Kolmogorov-Smirnov

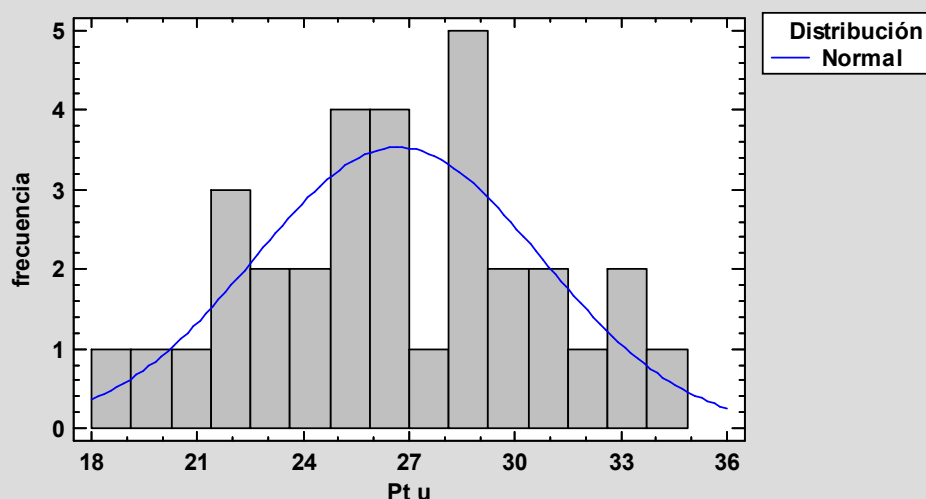
	Normal
DMAS	0,0795667
DMENOS	0,0606451
DN	0,0795667
Valor-P	0,98738

El StatAdvisor

Esta ventana muestra los resultados de diversas pruebas realizadas para determinar si Pt u puede modelarse adecuadamente con una distribución normal.

Debido a que el valor-P más pequeño de las pruebas realizadas es mayor ó igual a 0,05, no se puede rechazar la idea de que Pt u proviene de una distribución normal con 95% de confianza.

Histograma para Pt u



Ajuste de Distribuciones (Ajuste de Datos No Censurados) - R10 u

Datos/Variable: R10 u

32 valores con rango desde 18,59 a 30,59

Distribuciones Ajustadas

Normal
media = 24,935
desviación estándar = 2,9643

Pruebas de Normalidad para R10 u

Prueba	Estadístico	Valor-P
Estadístico W de Shapiro-Wilk	0,974772	0,639885

El StatAdvisor

Esta ventana muestra los resultados de diversas pruebas realizadas para determinar si R10 u puede modelarse adecuadamente con una distribución normal. La prueba de Shapiro-Wilk está basada en la comparación de los cuartiles de la distribución normal ajustada a los datos.

Debido a que el valor-P más pequeño de las pruebas realizadas es mayor ó igual a 0,05, no se puede rechazar la idea de que R10 u proviene de una distribución normal con 95% de confianza.

Pruebas de Bondad-de-Ajuste para R10 u

Prueba de Kolmogorov-Smirnov

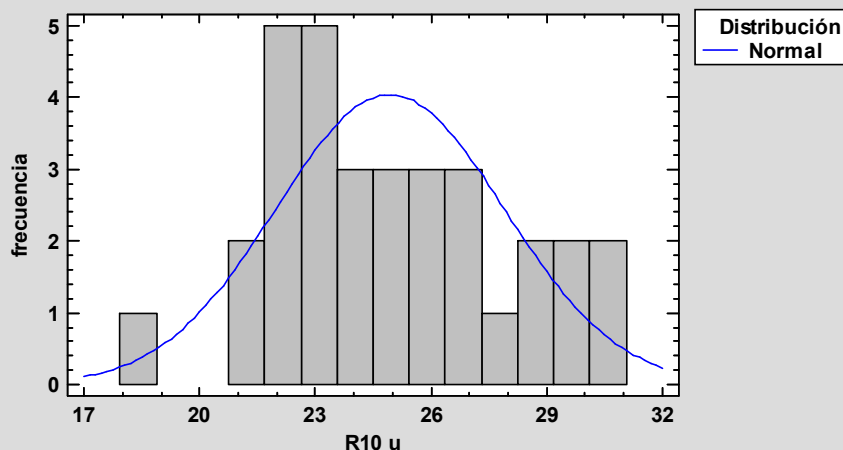
	Normal
DMAS	0,105265
DMENOS	0,0782572
DN	0,105265
Valor-P	0,870223

El StatAdvisor

Esta ventana muestra los resultados de diversas pruebas realizadas para determinar si R10 u puede modelarse adecuadamente con una distribución normal.

Debido a que el valor-P más pequeño de las pruebas realizadas es mayor ó igual a 0,05, no se puede rechazar la idea de que R10 u proviene de una distribución normal con 95% de confianza.

Histograma para R10 u



Ajuste de Distribuciones (Ajuste de Datos No Censurados) - R15 u

Datos/Variable: R15 u

32 valores con rango desde 17,14 a 29,15

Distribuciones Ajustadas

Normal
media = 24,9597
desviación estándar = 2,64694

Pruebas de Normalidad para R15 u

Prueba	Estadístico	Valor-P
Estadístico W de Shapiro-Wilk	0,954342	0,191225

El StatAdvisor

Esta ventana muestra los resultados de diversas pruebas realizadas para determinar si R15 u puede modelarse adecuadamente con una distribución normal. La prueba de Shapiro-Wilk está basada en la comparación de los cuartiles de la distribución normal ajustada a los datos.

Debido a que el valor-P más pequeño de las pruebas realizadas es mayor ó igual a 0,05, no se puede rechazar la idea de que R15 u proviene de una distribución normal con 95% de confianza.

Pruebas de Bondad-de-Ajuste para R15 u

Prueba de Kolmogorov-Smirnov

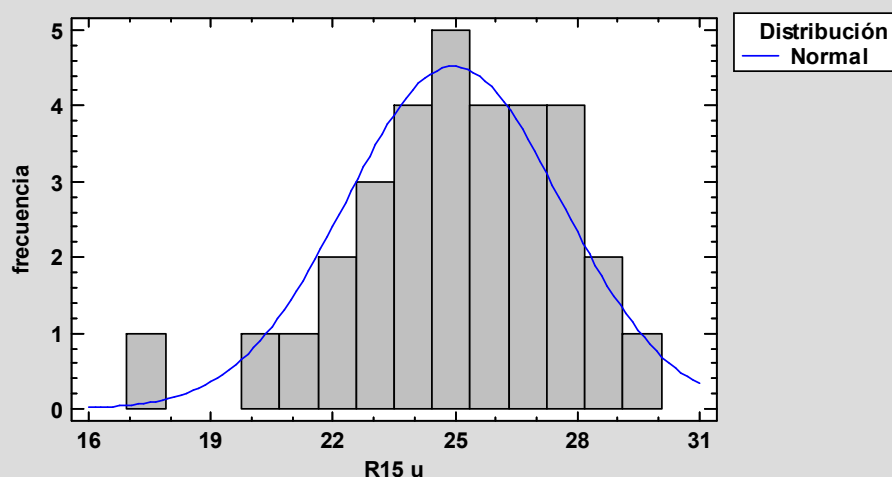
	Normal
DMAS	0,0682123
DMENOS	0,107362
DN	0,107362
Valor-P	0,854429

El StatAdvisor

Esta ventana muestra los resultados de diversas pruebas realizadas para determinar si R15 u puede modelarse adecuadamente con una distribución normal.

Debido a que el valor-P más pequeño de las pruebas realizadas es mayor ó igual a 0,05, no se puede rechazar la idea de que R15 u proviene de una distribución normal con 95% de confianza.

Histograma para R15 u



Ajuste de Distribuciones (Ajuste de Datos No Censurados) - R20 u

Datos/Variable: R20 u

32 valores con rango desde 18,67 a 27,08

Distribuciones Ajustadas

Normal
media = 22,5078
desviación estándar = 2,02633

Pruebas de Normalidad para R20 u

Prueba	Estadístico	Valor-P
Estadístico W de Shapiro-Wilk	0,976944	0,707142

El StatAdvisor

Esta ventana muestra los resultados de diversas pruebas realizadas para determinar si R20 u puede modelarse adecuadamente con una distribución normal. La prueba de Shapiro-Wilk está basada en la comparación de los cuartiles de la distribución normal ajustada a los datos.

Debido a que el valor-P más pequeño de las pruebas realizadas es mayor ó igual a 0,05, no se puede rechazar la idea de que R20 u proviene de una distribución normal con 95% de confianza.

Pruebas de Bondad-de-Ajuste para R20 u

Prueba de Kolmogorov-Smirnov

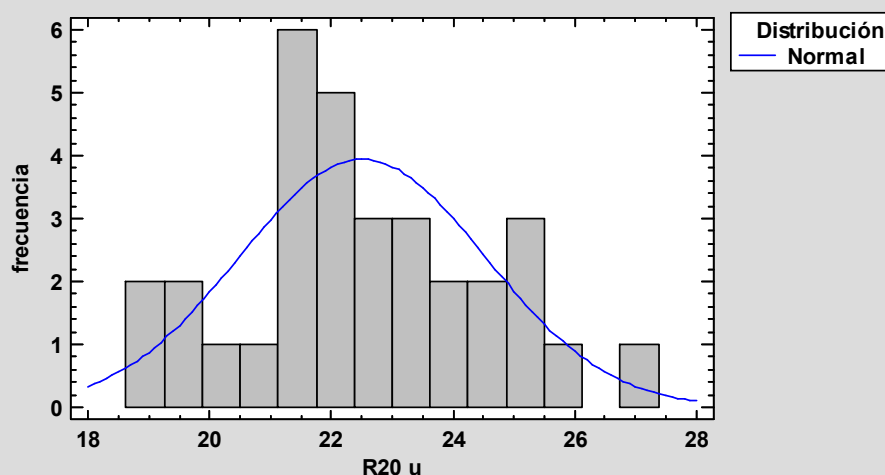
	Normal
DMAS	0,0911378
DMENOS	0,104768
DN	0,104768
Valor-P	0,873853

El StatAdvisor

Esta ventana muestra los resultados de diversas pruebas realizadas para determinar si R20 u puede modelarse adecuadamente con una distribución normal.

Debido a que el valor-P más pequeño de las pruebas realizadas es mayor ó igual a 0,05, no se puede rechazar la idea de que R20 u proviene de una distribución normal con 95% de confianza.

Histograma para R20 u



Análisis de una variable (resistencia última)

Análisis de Una Variable - Pt u

Datos/Variable: Pt u

32 valores con rango desde 18,84 a 34,52

Resumen Estadístico para Pt u

Recuento	32
Promedio	26,6841
Desviación Estándar	4,06823
Coefficiente de Variación	15,2459%
Mínimo	18,84
Máximo	34,52
Rango	15,68
Sesgo Estandarizado	0,195825
Curtosis Estandarizada	-0,767329

El StatAdvisor

Esta tabla muestra los estadísticos de resumen para Pt u. Incluye medidas de tendencia central, medidas de variabilidad y medidas de forma. De particular interés aquí son el sesgo estandarizado y la curtosis estandarizada, las cuales pueden utilizarse para determinar si la muestra proviene de una distribución normal. Valores de estos estadísticos fuera del rango de -2 a +2 indican desviaciones significativas de la normalidad, lo que tendería a invalidar cualquier prueba estadística con referencia a la desviación estándar. En este caso, el valor del sesgo estandarizado se encuentra dentro del rango esperado para datos provenientes una distribución normal. El valor de curtosis estandarizada se encuentra dentro del rango esperado para datos provenientes de una distribución normal.

Intervalos de Confianza para Pt u

Intervalos de confianza del 95,0% para la media: 26,6841 +/- 1,46676 [25,2173; 28,1508]

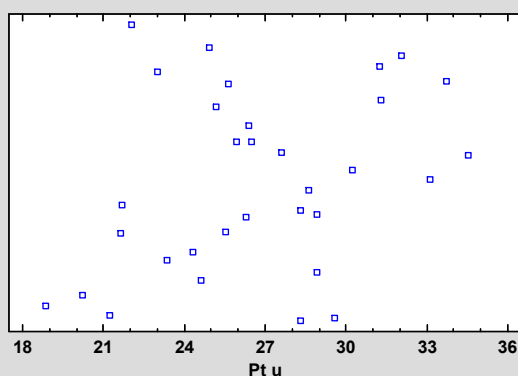
Intervalos de confianza del 95,0% para la desviación estándar: [3,26151; 5,40863]

El StatAdvisor

Este panel muestra los intervalos de confianza del 95,0% para la media y la desviación estándar de Pt u. La interpretación clásica de estos intervalos es que, en muestreos repetidos, estos intervalos contendrán la media verdadera ó la desviación estándar verdadera de la población de la que fueron extraídas las muestras, el 95,0% de las veces. En términos prácticos, puede establecerse con 95,0% de confianza, que la media verdadera de Pt u se encuentra en algún lugar entre 25,2173 y 28,1508, en tanto que la desviación estándar verdadera está en algún lugar entre 3,26151 y 5,40863.

Ambos intervalos asumen que la población de la cual proviene la muestra puede representarse por la distribución normal. Mientras que el intervalo de confianza para la media es bastante robusto y no muy sensible a violaciones de este supuesto, los intervalos de confianza para la desviación estándar son muy sensibles. Si los datos no provienen de una distribución normal, el intervalo para la desviación estándar puede ser incorrecto. Para verificar si los datos provienen de una distribución normal, seleccione Resumen Estadístico de la lista de Opciones Tabulares, ó escoja Gráfica de Probabilidad Normal de la lista de Opciones Gráficas.

Gráfico de Dispersión



Análisis de Una Variable - R10 u

Datos/Variable: R10 u

32 valores con rango desde 18,59 a 30,59

Resumen Estadístico para R10 u

Recuento	32
Promedio	24,935
Desviación Estándar	2,9643
Coefficiente de Variación	11,8881%
Mínimo	18,59
Máximo	30,59
Rango	12,0
Sesgo Estandarizado	0,453531
Curtosis Estandarizada	-0,552499

El StatAdvisor

Esta tabla muestra los estadísticos de resumen para R10 u. Incluye medidas de tendencia central, medidas de variabilidad y medidas de forma. De particular interés aquí son el sesgo estandarizado y la curtosis estandarizada, las cuales pueden utilizarse para determinar si la muestra proviene de una distribución normal. Valores de estos estadísticos fuera del rango de -2 a +2 indican desviaciones significativas de la normalidad, lo que tendería a invalidar cualquier prueba estadística con referencia a la desviación estándar. En este caso, el valor del sesgo estandarizado se encuentra dentro del rango esperado para datos provenientes una distribución normal. El valor de curtosis estandarizada se encuentra dentro del rango esperado para datos provenientes de una distribución normal.

Intervalos de Confianza para R10 u

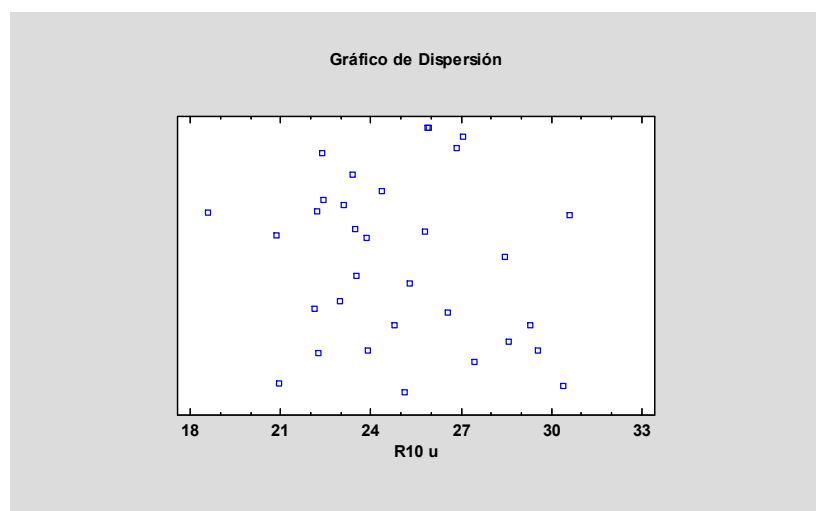
Intervalos de confianza del 95,0% para la media: 24,935 +/- 1,06875 [23,8663; 26,0037]

Intervalos de confianza del 95,0% para la desviación estándar: [2,37649; 3,94098]

El StatAdvisor

Este panel muestra los intervalos de confianza del 95,0% para la media y la desviación estándar de R10 u. La interpretación clásica de estos intervalos es que, en muestreos repetidos, estos intervalos contendrán la media verdadera ó la desviación estándar verdadera de la población de la que fueron extraídas las muestras, el 95,0% de las veces. En términos prácticos, puede establecerse con 95,0% de confianza, que la media verdadera de R10 u se encuentra en algún lugar entre 23,8663 y 26,0037, en tanto que la desviación estándar verdadera está en algún lugar entre 2,37649 y 3,94098.

Ambos intervalos asumen que la población de la cual proviene la muestra puede representarse por la distribución normal. Mientras que el intervalo de confianza para la media es bastante robusto y no muy sensible a violaciones de este supuesto, los intervalos de confianza para la desviación estándar son muy sensibles. Si los datos no provienen de una distribución normal, el intervalo para la desviación estándar puede ser incorrecto. Para verificar si los datos provienen de una distribución normal, seleccione Resumen Estadístico de la lista de Opciones Tabulares, ó escoja Gráfica de Probabilidad Normal de la lista de Opciones Gráficas.



Análisis de Una Variable - R15 u

Datos/Variable: R15 u

32 valores con rango desde 17,14 a 29,15

Resumen Estadístico para R15 u

Recuento	32
Promedio	24,9597
Desviación Estándar	2,63338
Coefficiente de Variación	10,5505%
Mínimo	17,14
Máximo	29,15
Rango	12,01
Sesgo Estandarizado	-1,99389
Curtosis Estandarizada	1,27535

El StatAdvisor

Esta tabla muestra los estadísticos de resumen para R15 u. Incluye medidas de tendencia central, medidas de variabilidad y medidas de forma. De particular interés aquí son el sesgo estandarizado y la curtosis estandarizada, las cuales pueden utilizarse para determinar si la muestra proviene de una distribución normal. Valores de estos estadísticos fuera del rango de -2 a +2 indican desviaciones significativas de la normalidad, lo que tendería a invalidar cualquier prueba estadística con referencia a la desviación estándar. En este caso, el valor de sesgo estandarizado se encuentra dentro del rango esperado para datos provenientes de una distribución normal. El valor de curtosis estandarizada se encuentra dentro del rango esperado para datos provenientes de una distribución normal.

Intervalos de Confianza para R15 u

Intervalos de confianza del 95,0% para la media: 24,9597 +/- 0,949436 [24,0103; 25,9091]

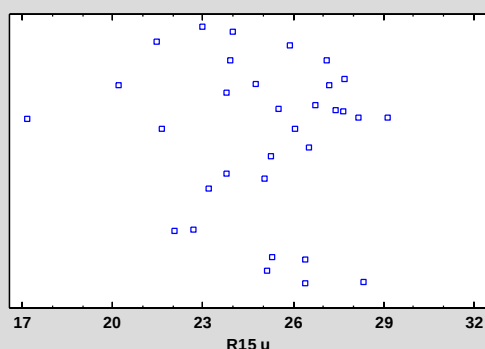
Intervalos de confianza del 95,0% para la desviación estándar: [2,11119; 3,50102]

El StatAdvisor

Este panel muestra los intervalos de confianza del 95,0% para la media y la desviación estándar de R15 u. La interpretación clásica de estos intervalos es que, en muestreos repetidos, estos intervalos contendrán la media verdadera ó la desviación estándar verdadera de la población de la que fueron extraídas las muestras, el 95,0% de las veces. En términos prácticos, puede establecerse con 95,0% de confianza, que la media verdadera de R15 u se encuentra en algún lugar entre 24,0103 y 25,9091, en tanto que la desviación estándar verdadera está en algún lugar entre 2,11119 y 3,50102.

Ambos intervalos asumen que la población de la cual proviene la muestra puede representarse por la distribución normal. Mientras que el intervalo de confianza para la media es bastante robusto y no muy sensible a violaciones de este supuesto, los intervalos de confianza para la desviación estándar son muy sensibles. Si los datos no provienen de una distribución normal, el intervalo para la desviación estándar puede ser incorrecto. Para verificar si los datos provienen de una distribución normal, seleccione Resumen Estadístico de la lista de Opciones Tabulares, ó escoja Gráfica de Probabilidad Normal de la lista de Opciones Gráficas.

Gráfico de Dispersión



Análisis de Una Variable - R20 u

Datos/Variable: R20 u

32 valores con rango desde 18,67 a 27,08

Resumen Estadístico para R20 u

Recuento	32
Promedio	22,5078
Desviación Estándar	2,02633
Coefficiente de Variación	9,00277%
Mínimo	18,67
Máximo	27,08
Rango	8,41
Sesgo Estandarizado	0,219785
Curtosis Estandarizada	-0,272633

El StatAdvisor

Esta tabla muestra los estadísticos de resumen para R20 u. Incluye medidas de tendencia central, medidas de variabilidad y medidas de forma. De particular interés aquí son el sesgo estandarizado y la curtosis estandarizada, las cuales pueden utilizarse para determinar si la muestra proviene de una distribución normal. Valores de estos estadísticos fuera del rango de -2 a +2 indican desviaciones significativas de la normalidad, lo que tendería a invalidar cualquier prueba estadística con referencia a la desviación estándar. En este caso, el valor del sesgo estandarizado se encuentra dentro del rango esperado para datos provenientes una distribución normal. El valor de curtosis estandarizada se encuentra dentro del rango esperado para datos provenientes de una distribución normal.

Intervalos de Confianza para R20 u

Intervalos de confianza del 95,0% para la media: 22,5078 +/- 0,73057 [21,7772; 23,2384]

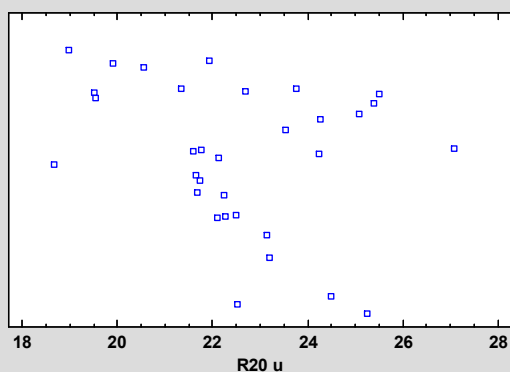
Intervalos de confianza del 95,0% para la desviación estándar: [1,62451; 2,69396]

El StatAdvisor

Este panel muestra los intervalos de confianza del 95,0% para la media y la desviación estándar de R20 u. La interpretación clásica de estos intervalos es que, en muestreos repetidos, estos intervalos contendrán la media verdadera ó la desviación estándar verdadera de la población de la que fueron extraídas las muestras, el 95,0% de las veces. En términos prácticos, puede establecerse con 95,0% de confianza, que la media verdadera de R20 u se encuentra en algún lugar entre 21,7772 y 23,2384, en tanto que la desviación estándar verdadera está en algún lugar entre 1,62451 y 2,69396.

Ambos intervalos asumen que la población de la cual proviene la muestra puede representarse por la distribución normal. Mientras que el intervalo de confianza para la media es bastante robusto y no muy sensible a violaciones de este supuesto, los intervalos de confianza para la desviación estándar son muy sensibles. Si los datos no provienen de una distribución normal, el intervalo para la desviación estándar puede ser incorrecto. Para verificar si los datos provienen de una distribución normal, seleccione Resumen Estadístico de la lista de Opciones Tabulares, ó escoja Gráfica de Probabilidad Normal de la lista de Opciones Gráficas.

Gráfico de Dispersión



Análisis de comparación con el grupo de control Pt

Comparación de Dos Muestras - Pt u & R10 u

Muestra 1: Pt u

Muestra 2: R10 u

Muestra 1: 32 valores en el rango de 18,84 a 34,52

Muestra 2: 32 valores en el rango de 18,59 a 30,59

Resumen Estadístico

	<i>Pt u</i>	<i>R10 u</i>
Recuento	32	32
Promedio	26,6841	24,935
Desviación Estándar	4,06823	2,9643
Coefficiente de Variación	15,2459%	11,8881%
Mínimo	18,84	18,59
Máximo	34,52	30,59
Rango	15,68	12,0
Sesgo Estandarizado	0,195825	0,453531
Curtosis Estandarizada	-0,767329	-0,552499

El StatAdvisor

Esta tabla contiene el resumen estadístico para las dos muestras de datos. Pueden utilizarse otras opciones tabulares, dentro de este análisis, para evaluar si las diferencias entre los estadísticos de las dos muestras son estadísticamente significativas. De particular interés son el sesgo estandarizado y la curtosis estandarizada que pueden usarse para comparar si las muestras provienen de distribuciones normales. Valores de estos estadísticos fuera del rango de -2 a +2 indican desviaciones significativas de la normalidad, lo que tendería a invalidar las pruebas que comparan las desviaciones estándar. En este caso, ambos valores de sesgo estandarizado se encuentran dentro del rango esperado. Ambas curtosis estandarizadas se encuentran dentro del rango esperado.

Comparación de Medias

Intervalos de confianza del 95,0% para la media de Pt u: 26,6841 +/- 1,46676 [25,2173; 28,1508]

Intervalos de confianza del 95,0% para la media de R10 u: 24,935 +/- 1,06875 [23,8663; 26,0037]

Intervalos de confianza del 95,0% intervalo de confianza para la diferencia de medias

suponiendo varianzas iguales: 1,74906 +/- 1,77875 [-0,0296876; 3,52781]

Prueba t para comparar medias

Hipótesis nula: media1 = media2

Hipótesis Alt.: media1 <> media2

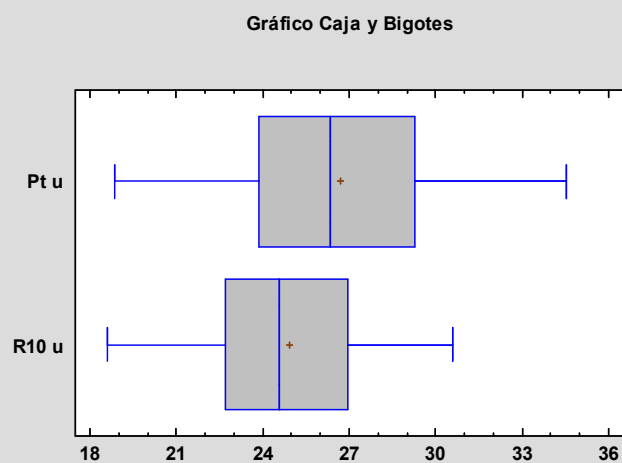
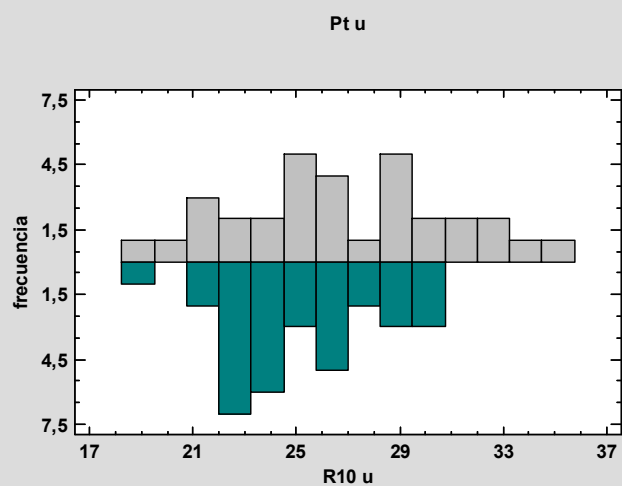
suponiendo varianzas iguales: t = 1,96561 valor-P = 0,0538264

No se rechaza la hipótesis nula para alfa = 0,05.

El StatAdvisor

Esta opción ejecuta una prueba-t para comparar las medias de las dos muestras. También construye los intervalos, ó cotas, de confianza para cada media y para la diferencia entre las medias. De interés particular es el intervalo de confianza para la diferencia entre las medias, el cual se extiende desde -0,0296876 hasta 3,52781. Puesto que el intervalo contiene el valor de 0, no hay diferencia significativa entre las medias de las dos muestras de datos, con un nivel de confianza del 95,0%.

También puede usarse una prueba-t para evaluar hipótesis específicas acerca de la diferencia entre las medias de las poblaciones de las cuales provienen las dos muestras. En este caso, la prueba se ha construido para determinar si la diferencia entre las dos medias es igual a 0,0 versus la hipótesis alterna de que la diferencia no es igual a 0,0. Puesto que el valor-P calculado no es menor que 0,05, no se puede rechazar la hipótesis nula.



Comparación de Dos Muestras - Pt u & R15 u

Muestra 1: Pt u

Muestra 2: R15 u

Muestra 1: 32 valores en el rango de 18,84 a 34,52

Muestra 2: 32 valores en el rango de 17,14 a 29,15

Resumen Estadístico

	<i>Pt u</i>	<i>R15 u</i>
Recuento	32	32
Promedio	26,6841	24,9597
Desviación Estándar	4,06823	2,63338
Coefficiente de Variación	15,2459%	10,5505%
Mínimo	18,84	17,14
Máximo	34,52	29,15
Rango	15,68	12,01
Sesgo Estandarizado	0,195825	-1,99389
Curtosis Estandarizada	-0,767329	1,27535

El StatAdvisor

Esta tabla contiene el resumen estadístico para las dos muestras de datos. Pueden utilizarse otras opciones tabulares, dentro de este análisis, para evaluar si las diferencias entre los estadísticos de las dos muestras son estadísticamente significativas. De particular interés son el sesgo estandarizado y la curtosis estandarizada que pueden usarse para comparar si las muestras provienen de distribuciones normales. Valores de estos estadísticos fuera del rango de -2 a +2 indican desviaciones significativas de la normalidad, lo que tendería a invalidar las pruebas que comparan las desviaciones estándar. En este caso, ambos valores de sesgo estandarizado se encuentran dentro del rango esperado. Ambas curtosis estandarizadas se encuentran dentro del rango esperado.

Comparación de Medias

Intervalos de confianza del 95,0% para la media de Pt u: 26,6841 +/- 1,46676 [25,2173; 28,1508]

Intervalos de confianza del 95,0% para la media de R15 u: 24,9597 +/- 0,949436 [24,0103; 25,9091]

Intervalos de confianza del 95,0% intervalo de confianza para la diferencia de medias

suponiendo varianzas iguales: 1,72438 +/- 1,7125 [0,0118799; 3,43687]

Prueba t para comparar medias

Hipótesis nula: media1 = media2

Hipótesis Alt.: media1 <> media2

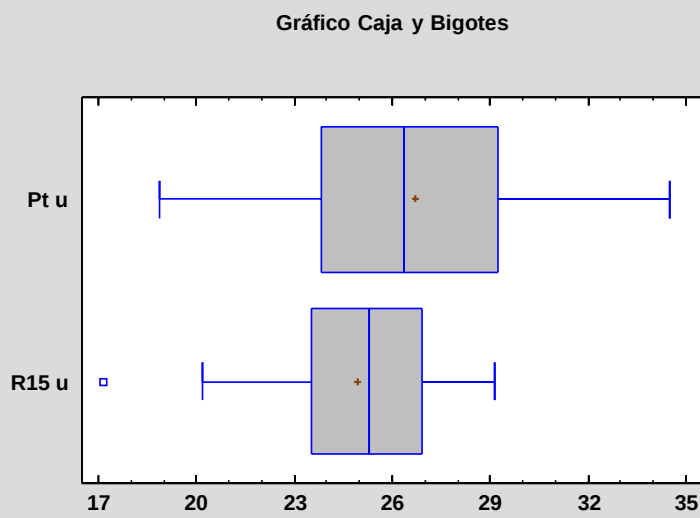
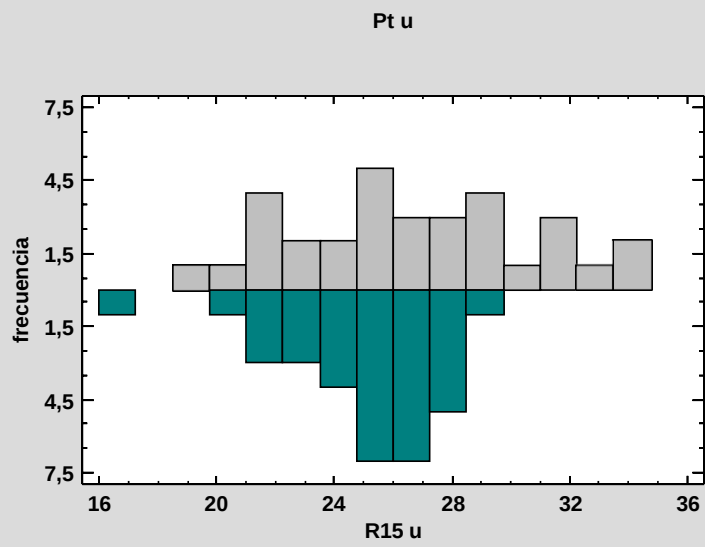
suponiendo varianzas iguales: t = 2,01284 valor-P = 0,0484791

Se rechaza la hipótesis nula para alfa = 0,05.

El StatAdvisor

Esta opción ejecuta una prueba-t para comparar las medias de las dos muestras. También construye los intervalos, ó cotas, de confianza para cada media y para la diferencia entre las medias. De interés particular es el intervalo de confianza para la diferencia entre las medias, el cual se extiende desde 0,0118799 hasta 3,43687. Puesto que el intervalo no contiene el valor 0, existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medias de las dos muestras, con un nivel de confianza del 95,0%.

También puede usarse una prueba-t para evaluar hipótesis específicas acerca de la diferencia entre las medias de las poblaciones de las cuales provienen las dos muestras. En este caso, la prueba se ha construido para determinar si la diferencia entre las dos medias es igual a 0,0 versus la hipótesis alterna de que la diferencia no es igual a 0,0. Puesto que el valor-P calculado es menor que 0,05, se puede rechazar la hipótesis nula en favor de la alterna.



Comparación de Dos Muestras - Pt u & R20 u

Muestra 1: Pt u

Muestra 2: R20 u

Muestra 1: 32 valores en el rango de 18,84 a 34,52

Muestra 2: 32 valores en el rango de 18,67 a 27,08

Resumen Estadístico

	<i>Pt u</i>	<i>R20 u</i>
Recuento	32	32
Promedio	26,6841	22,5078
Desviación Estándar	4,06823	2,02633
Coefficiente de Variación	15,2459%	9,00277%
Mínimo	18,84	18,67
Máximo	34,52	27,08
Rango	15,68	8,41
Sesgo Estandarizado	0,195825	0,219785
Curtosis Estandarizada	-0,767329	-0,272633

El StatAdvisor

Esta tabla contiene el resumen estadístico para las dos muestras de datos. Pueden utilizarse otras opciones tabulares, dentro de este análisis, para evaluar si las diferencias entre los estadísticos de las dos muestras son estadísticamente significativas. De particular interés son el sesgo estandarizado y la curtosis estandarizada que pueden usarse para comparar si las muestras provienen de distribuciones normales. Valores de estos estadísticos fuera del rango de -2 a +2 indican desviaciones significativas de la normalidad, lo que tendería a invalidar las pruebas que comparan las desviaciones estándar. En este caso, ambos valores de sesgo estandarizado se encuentran dentro del rango esperado. Ambas curtosis estandarizadas se encuentran dentro del rango esperado.

Comparación de Medias

Intervalos de confianza del 95,0% para la media de Pt u: 26,6841 +/- 1,46676 [25,2173; 28,1508]

Intervalos de confianza del 95,0% para la media de R20 u: 22,5078 +/- 0,73057 [21,7772; 23,2384]

Intervalos de confianza del 95,0% intervalo de confianza para la diferencia de medias

suponiendo varianzas iguales: 4,17625 +/- 1,60606 [2,57019; 5,78231]

Prueba t para comparar medias

Hipótesis nula: media1 = media2

Hipótesis Alt.: media1 <> media2

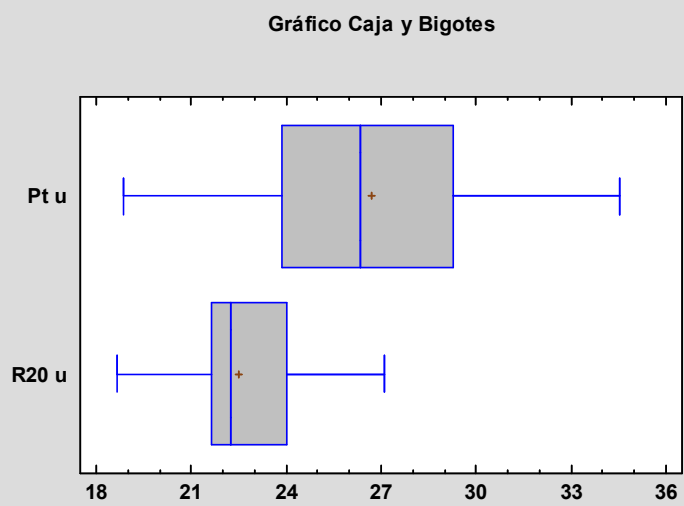
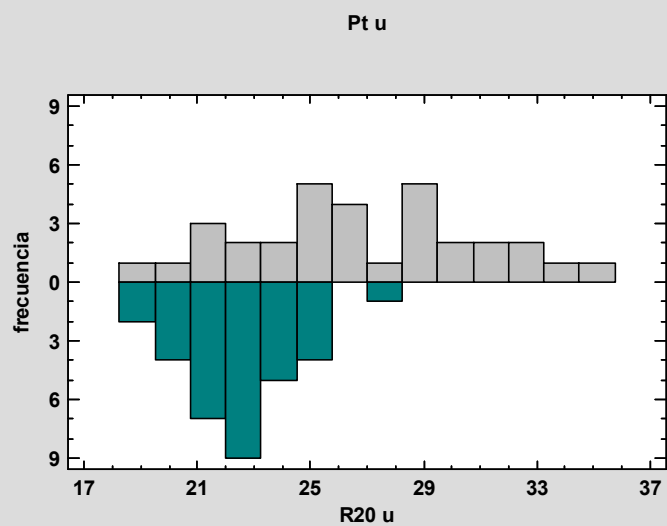
suponiendo varianzas iguales: t = 5,19796 valor-P = 0,00000239164

Se rechaza la hipótesis nula para alfa = 0,05.

El StatAdvisor

Esta opción ejecuta una prueba-t para comparar las medias de las dos muestras. También construye los intervalos, ó cotas, de confianza para cada media y para la diferencia entre las medias. De interés particular es el intervalo de confianza para la diferencia entre las medias, el cual se extiende desde 2,57019 hasta 5,78231. Puesto que el intervalo no contiene el valor 0, existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medias de las dos muestras, con un nivel de confianza del 95,0%.

También puede usarse una prueba-t para evaluar hipótesis específicas acerca de la diferencia entre las medias de las poblaciones de las cuales provienen las dos muestras. En este caso, la prueba se ha construido para determinar si la diferencia entre las dos medias es igual a 0,0 versus la hipótesis alterna de que la diferencia no es igual a 0,0. Puesto que el valor-P calculado es menor que 0,05, se puede rechazar la hipótesis nula en favor de la alterna.



Análisis estadístico Impedancia acústica

Comparación de Varias Muestras Sortividad Pt

Muestra 1: Pt1
Muestra 2: Pt2
Muestra 3: Pt3
Muestra 4: Pt4
Muestra 5: Pt5
Muestra 6: Pt6

Muestra 1: 18 valores en el rango de 0 a 8,4
Muestra 2: 18 valores en el rango de 0 a 8,6
Muestra 3: 18 valores en el rango de 0 a 8,9
Muestra 4: 18 valores en el rango de 0 a 9,0
Muestra 5: 18 valores en el rango de 0 a 9,0
Muestra 6: 18 valores en el rango de 0 a 8,9

Resumen Estadístico

	Recuento	Promedio	Desviación Estándar	Coefficiente de Variación
Pt1	18	3,75556	3,23769	86,2106%
Pt2	18	3,17222	3,32828	104,919%
Pt3	18	3,95556	3,44592	87,116%
Pt4	18	4,13333	3,41054	82,513%
Pt5	18	4,35556	3,32959	76,4446%
Pt6	18	4,05556	3,30636	81,5267%
Total	108	3,90463	3,28626	84,1632%

	Mínimo	Máximo	Rango	Sesgo Estandarizado
Pt1	0	8,4	8,4	0,856188
Pt2	0	8,6	8,6	1,27188
Pt3	0	8,9	8,9	0,864768
Pt4	0	9,0	9,0	0,817063
Pt5	0	9,0	9,0	0,568779
Pt6	0	8,9	8,9	0,82745
Total	0	9,0	9,0	1,94102

	Curtosis Estandarizada
Pt1	-1,36687
Pt2	-1,21165
Pt3	-1,38233
Pt4	-1,36278
Pt5	-1,39089
Pt6	-1,34272
Total	-3,15056

Tabla ANOVA

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	15,1138	5	3,02276	0,27	0,9284
Intra grupos	1140,43	102	11,1807		
Total (Corr.)	1155,55	107			

El StatAdvisor

La tabla ANOVA descompone la varianza de los datos en dos componentes: un componente entre-grupos y un componente dentro-de-grupos. La razón-F, que en este caso es igual a 0,270355, es el cociente entre el estimado entre-grupos y el estimado dentro-de-grupos. Puesto que el valor-P de la razón-F es mayor o igual que 0,05, no existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medias de las 6 variables con un nivel del 5% de significación.

Pruebas de Múltiple Rangos

Método: 95,0 porcentaje LSD

	Casos	Media	Grupos Homogéneos
Pt2	18	3,17222	A
Pt1	18	3,75556	A
Pt3	18	3,95556	A

Pt6	18	4,05556	A
Pt4	18	4,13333	A
Pt5	18	4,35556	A

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
Pt1 - Pt2		0,583333	2,21078
Pt1 - Pt3		-0,2	2,21078
Pt1 - Pt4		-0,377778	2,21078
Pt1 - Pt5		-0,6	2,21078
Pt1 - Pt6		-0,3	2,21078
Pt2 - Pt3		-0,783333	2,21078
Pt2 - Pt4		-0,961111	2,21078
Pt2 - Pt5		-1,18333	2,21078
Pt2 - Pt6		-0,883333	2,21078
Pt3 - Pt4		-0,177778	2,21078
Pt3 - Pt5		-0,4	2,21078
Pt3 - Pt6		-0,1	2,21078
Pt4 - Pt5		-0,222222	2,21078
Pt4 - Pt6		0,077778	2,21078
Pt5 - Pt6		0,3	2,21078

* indica una diferencia significativa.

El StatAdvisor

Esta tabla aplica un procedimiento de comparación múltiple para determinar cuáles medias son significativamente diferentes de otras. La mitad inferior de la salida muestra las diferencias estimadas entre cada par de medias. No hay diferencias estadísticamente significativas entre cualquier par de medias, con un nivel del 95,0% de confianza. En la parte superior de la página, se ha identificado un grupo homogéneo, según la alineación de las A's en columna. No existen diferencias estadísticamente significativas entre aquellos niveles que compartan una misma columna de letras. El método empleado actualmente para discriminar entre las medias es el procedimiento de diferencia mínima significativa (LSD) de Fisher. Con este método hay un riesgo del 5,0% al decir que cada par de medias es significativamente diferente, cuando la diferencia real es igual a 0.

Verificación de Varianza

	Prueba	Valor-P
Levene's	0,0496114	0,9985

Comparación	Sigma1	Sigma2	F-Ratio	P-Valor
Pt1 / Pt2	3,23769	3,32828	0,946305	0,9107
Pt1 / Pt3	3,23769	3,44592	0,882793	0,8001
Pt1 / Pt4	3,23769	3,41054	0,901206	0,8327
Pt1 / Pt5	3,23769	3,32959	0,94556	0,9095
Pt1 / Pt6	3,23769	3,30636	0,95889	0,9320
Pt2 / Pt3	3,32828	3,44592	0,932884	0,8878
Pt2 / Pt4	3,32828	3,41054	0,952342	0,9210
Pt2 / Pt5	3,32828	3,32959	0,999213	0,9987
Pt2 / Pt6	3,32828	3,30636	1,0133	0,9786
Pt3 / Pt4	3,44592	3,41054	1,02086	0,9665
Pt3 / Pt5	3,44592	3,32959	1,0711	0,8890
Pt3 / Pt6	3,44592	3,30636	1,0862	0,8666
Pt4 / Pt5	3,41054	3,32959	1,04922	0,9223
Pt4 / Pt6	3,41054	3,30636	1,06401	0,8997
Pt5 / Pt6	3,32959	3,30636	1,0141	0,9773

El StatAdvisor

Los estadísticos mostrados en esta tabla evalúan la hipótesis nula de que las desviaciones estándar dentro de cada una de las 6 columnas son iguales. De particular interés es el valor-P. Puesto que el valor-P es mayor o igual que 0,05, no existe una diferencia estadísticamente significativa entre las desviaciones estándar, con un nivel del 95,0% de confianza.

La tabla también muestra una comparación de las desviaciones típicas para cada par de muestras. P-valores por debajo de 0,05, de los cuales hay 0, indican una diferencia estadísticamente significativa entre las dos sigmas al 5% de nivel de significación.

Comparación de Varias Muestras Sortividad R10

Muestra 1: R10 1
Muestra 2: R10 2
Muestra 3: R10 3
Muestra 4: R10 4
Muestra 5: R10 5
Muestra 6: R10 6

Muestra 1: 18 valores en el rango de 0 a 9,7
Muestra 2: 18 valores en el rango de 0 a 9,7
Muestra 3: 18 valores en el rango de 0 a 9,9
Muestra 4: 18 valores en el rango de 0 a 9,9
Muestra 5: 18 valores en el rango de 0 a 10,1
Muestra 6: 18 valores en el rango de 0 a 9,5

Resumen Estadístico

	Recuento	Promedio	Desviación Estándar
R10 1	18	4,39444	3,52027
R10 2	18	4,40556	3,53128
R10 3	18	4,50556	3,67559
R10 4	18	4,31667	3,71091
R10 5	18	4,71667	3,72926
R10 6	18	3,81667	3,75253
Total	108	4,35926	3,57865

	Coefficiente de Variación	Mínimo	Máximo	Rango
R10 1	80,1073%	0	9,7	9,7
R10 2	80,1553%	0	9,7	9,7
R10 3	81,5791%	0	9,9	9,9
R10 4	85,9671%	0	9,9	9,9
R10 5	79,0655%	0	10,1	10,1
R10 6	98,3195%	0	9,5	9,5
Total	82,0931%	0	10,1	10,1

	Sesgo Estandarizado	Curtosis Estandarizada
R10 1	0,85139	-1,32788
R10 2	0,827181	-1,27735
R10 3	0,842274	-1,33574
R10 4	0,882164	-1,33047
R10 5	0,75086	-1,35175
R10 6	1,1415	-1,29139
Total	1,9837	-3,0985

Tabla ANOVA

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	8,07741	5	1,61548	0,12	0,9875
Intra grupos	1362,24	102	13,3553		
Total (Corr.)	1370,32	107			

El StatAdvisor

La tabla ANOVA descompone la varianza de los datos en dos componentes: un componente entre-grupos y un componente dentro-de-grupos. La razón-F, que en este caso es igual a 0,120962, es el cociente entre el estimado entre-grupos y el estimado dentro-de-grupos. Puesto que el valor-P de la razón-F es mayor o igual que 0,05, no existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medias de las 6 variables con un nivel del 5% de significación.

Pruebas de Múltiple Rangos

Método: 95,0 porcentaje LSD

	Casos	Media	Grupos Homogéneos
R10 6	18	3,81667	A
R10 4	18	4,31667	A
R10 1	18	4,39444	A

R10 2	18	4,40556	A
R10 3	18	4,50556	A
R10 5	18	4,71667	A

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
R10 1 - R10 2		-0,0111111	2,41623
R10 1 - R10 3		-0,111111	2,41623
R10 1 - R10 4		0,0777778	2,41623
R10 1 - R10 5		-0,322222	2,41623
R10 1 - R10 6		0,577778	2,41623
R10 2 - R10 3		-0,1	2,41623
R10 2 - R10 4		0,0888889	2,41623
R10 2 - R10 5		-0,311111	2,41623
R10 2 - R10 6		0,588889	2,41623
R10 3 - R10 4		0,188889	2,41623
R10 3 - R10 5		-0,211111	2,41623
R10 3 - R10 6		0,688889	2,41623
R10 4 - R10 5		-0,4	2,41623
R10 4 - R10 6		0,5	2,41623
R10 5 - R10 6		0,9	2,41623

* indica una diferencia significativa.

El StatAdvisor

Esta tabla aplica un procedimiento de comparación múltiple para determinar cuáles medias son significativamente diferentes de otras. La mitad inferior de la salida muestra las diferencias estimadas entre cada par de medias. No hay diferencias estadísticamente significativas entre cualquier par de medias, con un nivel del 95,0% de confianza. En la parte superior de la página, se ha identificado un grupo homogéneo, según la alineación de las A's en columna. No existen diferencias estadísticamente significativas entre aquellos niveles que compartan una misma columna de letras. El método empleado actualmente para discriminar entre las medias es el procedimiento de diferencia mínima significativa (LSD) de Fisher. Con este método hay un riesgo del 5,0% al decir que cada par de medias es significativamente diferente, cuando la diferencia real es igual a 0.

Verificación de Varianza

	Prueba	Valor-P
Levene's	0,0848944	0,9945

Comparación	Sigma1	Sigma2	F-Ratio	P-Valor
R10 1 / R10 2	3,52027	3,53128	0,993773	0,9899
R10 1 / R10 3	3,52027	3,67559	0,917272	0,8608
R10 1 / R10 4	3,52027	3,71091	0,899893	0,8304
R10 1 / R10 5	3,52027	3,72926	0,891062	0,8148
R10 1 / R10 6	3,52027	3,75253	0,880044	0,7952
R10 2 / R10 3	3,53128	3,67559	0,92302	0,8707
R10 2 / R10 4	3,53128	3,71091	0,905531	0,8403
R10 2 / R10 5	3,53128	3,72926	0,896646	0,8246
R10 2 / R10 6	3,53128	3,75253	0,885559	0,8050
R10 3 / R10 4	3,67559	3,71091	0,981053	0,9690
R10 3 / R10 5	3,67559	3,72926	0,971426	0,9530
R10 3 / R10 6	3,67559	3,75253	0,959415	0,9329
R10 4 / R10 5	3,71091	3,72926	0,990187	0,9840
R10 4 / R10 6	3,71091	3,75253	0,977943	0,9639
R10 5 / R10 6	3,72926	3,75253	0,987635	0,9798

El StatAdvisor

Los estadísticos mostrados en esta tabla evalúan la hipótesis nula de que las desviaciones estándar dentro de cada una de las 6 columnas son iguales. De particular interés es el valor-P. Puesto que el valor-P es mayor o igual que 0,05, no existe una diferencia estadísticamente significativa entre las desviaciones estándar, con un nivel del 95,0% de confianza.

La tabla también muestra una comparación de las desviaciones típicas para cada par de muestras. P-valores por debajo de 0,05, de los cuales hay 0, indican una diferencia estadísticamente significativa entre las dos sigmas al 5% de nivel de significación.

Comparación de Varias Muestras Sortividad R10

Muestra 1: R10 1
Muestra 2: R10 2
Muestra 3: R10 3
Muestra 4: R10 4
Muestra 5: R10 5
Muestra 6: R10 6

Muestra 1: 18 valores en el rango de 0 a 9,7
Muestra 2: 18 valores en el rango de 0 a 9,7
Muestra 3: 18 valores en el rango de 0 a 9,9
Muestra 4: 18 valores en el rango de 0 a 9,9
Muestra 5: 18 valores en el rango de 0 a 10,1
Muestra 6: 18 valores en el rango de 0 a 9,5

Resumen Estadístico

	Recuento	Promedio	Desviación Estándar
R10 1	18	4,39444	3,52027
R10 2	18	4,40556	3,53128
R10 3	18	4,50556	3,67559
R10 4	18	4,31667	3,71091
R10 5	18	4,71667	3,72926
R10 6	18	3,81667	3,75253
Total	108	4,35926	3,57865

	Coefficiente de Variación	Mínimo	Máximo	Rango
R10 1	80,1073%	0	9,7	9,7
R10 2	80,1553%	0	9,7	9,7
R10 3	81,5791%	0	9,9	9,9
R10 4	85,9671%	0	9,9	9,9
R10 5	79,0655%	0	10,1	10,1
R10 6	98,3195%	0	9,5	9,5
Total	82,0931%	0	10,1	10,1

	Sesgo Estandarizado	Curtosis Estandarizada
R10 1	0,85139	-1,32788
R10 2	0,827181	-1,27735
R10 3	0,842274	-1,33574
R10 4	0,882164	-1,33047
R10 5	0,75086	-1,35175
R10 6	1,1415	-1,29139
Total	1,9837	-3,0985

Tabla ANOVA

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	8,07741	5	1,61548	0,12	0,9875
Intra grupos	1362,24	102	13,3553		
Total (Corr.)	1370,32	107			

El StatAdvisor

La tabla ANOVA descompone la varianza de los datos en dos componentes: un componente entre-grupos y un componente dentro-de-grupos. La razón-F, que en este caso es igual a 0,120962, es el cociente entre el estimado entre-grupos y el estimado dentro-de-grupos. Puesto que el valor-P de la razón-F es mayor o igual que 0,05, no existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medias de las 6 variables con un nivel del 5% de significación.

Pruebas de Múltiple Rangos

Método: 95,0 porcentaje LSD

	Casos	Media	Grupos Homogéneos
R10 6	18	3,81667	A
R10 4	18	4,31667	A
R10 1	18	4,39444	A

R10 2	18	4,40556	A
R10 3	18	4,50556	A
R10 5	18	4,71667	A

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
R10 1 - R10 2		-0,0111111	2,41623
R10 1 - R10 3		-0,111111	2,41623
R10 1 - R10 4		0,0777778	2,41623
R10 1 - R10 5		-0,322222	2,41623
R10 1 - R10 6		0,577778	2,41623
R10 2 - R10 3		-0,1	2,41623
R10 2 - R10 4		0,0888889	2,41623
R10 2 - R10 5		-0,311111	2,41623
R10 2 - R10 6		0,588889	2,41623
R10 3 - R10 4		0,188889	2,41623
R10 3 - R10 5		-0,211111	2,41623
R10 3 - R10 6		0,688889	2,41623
R10 4 - R10 5		-0,4	2,41623
R10 4 - R10 6		0,5	2,41623
R10 5 - R10 6		0,9	2,41623

* indica una diferencia significativa.

El StatAdvisor

Esta tabla aplica un procedimiento de comparación múltiple para determinar cuáles medias son significativamente diferentes de otras. La mitad inferior de la salida muestra las diferencias estimadas entre cada par de medias. No hay diferencias estadísticamente significativas entre cualquier par de medias, con un nivel del 95,0% de confianza. En la parte superior de la página, se ha identificado un grupo homogéneo, según la alineación de las A's en columna. No existen diferencias estadísticamente significativas entre aquellos niveles que compartan una misma columna de letras. El método empleado actualmente para discriminar entre las medias es el procedimiento de diferencia mínima significativa (LSD) de Fisher. Con este método hay un riesgo del 5,0% al decir que cada par de medias es significativamente diferente, cuando la diferencia real es igual a 0.

Verificación de Varianza

	Prueba	Valor-P
Levene's	0,0848944	0,9945

Comparación	Sigma1	Sigma2	F-Ratio	P-Valor
R10 1 / R10 2	3,52027	3,53128	0,993773	0,9899
R10 1 / R10 3	3,52027	3,67559	0,917272	0,8608
R10 1 / R10 4	3,52027	3,71091	0,899893	0,8304
R10 1 / R10 5	3,52027	3,72926	0,891062	0,8148
R10 1 / R10 6	3,52027	3,75253	0,880044	0,7952
R10 2 / R10 3	3,53128	3,67559	0,92302	0,8707
R10 2 / R10 4	3,53128	3,71091	0,905531	0,8403
R10 2 / R10 5	3,53128	3,72926	0,896646	0,8246
R10 2 / R10 6	3,53128	3,75253	0,885559	0,8050
R10 3 / R10 4	3,67559	3,71091	0,981053	0,9690
R10 3 / R10 5	3,67559	3,72926	0,971426	0,9530
R10 3 / R10 6	3,67559	3,75253	0,959415	0,9329
R10 4 / R10 5	3,71091	3,72926	0,990187	0,9840
R10 4 / R10 6	3,71091	3,75253	0,977943	0,9639
R10 5 / R10 6	3,72926	3,75253	0,987635	0,9798

El StatAdvisor

Los estadísticos mostrados en esta tabla evalúan la hipótesis nula de que las desviaciones estándar dentro de cada una de las 6 columnas son iguales. De particular interés es el valor-P. Puesto que el valor-P es mayor o igual que 0,05, no existe una diferencia estadísticamente significativa entre las desviaciones estándar, con un nivel del 95,0% de confianza.

La tabla también muestra una comparación de las desviaciones típicas para cada par de muestras. P-valores por debajo de 0,05, de los cuales hay 0, indican una diferencia estadísticamente significativa entre las dos sigmas al 5% de nivel de significación.

Comparación de Varias Muestras Sortividad R15

Muestra 1: R15 1
Muestra 2: R15 2
Muestra 3: R15 3
Muestra 4: R15 4
Muestra 5: R15 5
Muestra 6: R15 6

Muestra 1: 18 valores en el rango de 0 a 11,6
Muestra 2: 18 valores en el rango de 0 a 11,2
Muestra 3: 18 valores en el rango de 0 a 11,7
Muestra 4: 18 valores en el rango de 0 a 11,2
Muestra 5: 18 valores en el rango de 0 a 10,8
Muestra 6: 18 valores en el rango de 0 a 11,5

Resumen Estadístico

	Recuento	Promedio	Desviación Estándar
R15 1	18	7,12222	4,11261
R15 2	18	6,98333	3,90268
R15 3	18	7,31111	4,11766
R15 4	18	5,81111	4,20264
R15 5	18	6,36667	3,89071
R15 6	18	7,41111	3,91346
Total	108	6,83426	3,97116

	Coefficiente de Variación	Mínimo	Máximo	Rango
R15 1	57,7434%	0	11,6	11,6
R15 2	55,8856%	0	11,2	11,2
R15 3	56,3206%	0	11,7	11,7
R15 4	72,3208%	0	11,2	11,2
R15 5	61,1107%	0	10,8	10,8
R15 6	52,8053%	0	11,5	11,5
Total	58,1067%	0	11,7	11,7

	Sesgo Estandarizado	Curtosis Estandarizada
R15 1	-0,649019	-1,32309
R15 2	-0,7239	-1,24015
R15 3	-0,80436	-1,24432
R15 4	0,113119	-1,46255
R15 5	-0,586331	-1,3723
R15 6	-0,972911	-1,08009
Total	-1,3332	-3,11069

Tabla ANOVA

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	34,7538	5	6,95076	0,43	0,8275
Intra grupos	1652,65	102	16,2024		
Total (Corr.)	1687,4	107			

El StatAdvisor

La tabla ANOVA descompone la varianza de los datos en dos componentes: un componente entre-grupos y un componente dentro-de-grupos. La razón-F, que en este caso es igual a 0,428994, es el cociente entre el estimado entre-grupos y el estimado dentro-de-grupos. Puesto que el valor-P de la razón-F es mayor o igual que 0,05, no existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medias de las 6 variables con un nivel del 5% de significación.

Pruebas de Múltiple Rangos

Método: 95,0 porcentaje LSD

	Casos	Media	Grupos Homogéneos
R15 4	18	5,81111	A
R15 5	18	6,36667	A
R15 2	18	6,98333	A

R15 1	18	7,12222	A
R15 3	18	7,31111	A
R15 6	18	7,41111	A

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
R15 1 - R15 2		0,138889	2,66134
R15 1 - R15 3		-0,188889	2,66134
R15 1 - R15 4		1,31111	2,66134
R15 1 - R15 5		0,755556	2,66134
R15 1 - R15 6		-0,288889	2,66134
R15 2 - R15 3		-0,327778	2,66134
R15 2 - R15 4		1,17222	2,66134
R15 2 - R15 5		0,616667	2,66134
R15 2 - R15 6		-0,427778	2,66134
R15 3 - R15 4		1,5	2,66134
R15 3 - R15 5		0,944444	2,66134
R15 3 - R15 6		-0,1	2,66134
R15 4 - R15 5		-0,555556	2,66134
R15 4 - R15 6		-1,6	2,66134
R15 5 - R15 6		-1,04444	2,66134

* indica una diferencia significativa.

El StatAdvisor

Esta tabla aplica un procedimiento de comparación múltiple para determinar cuáles medias son significativamente diferentes de otras. La mitad inferior de la salida muestra las diferencias estimadas entre cada par de medias. No hay diferencias estadísticamente significativas entre cualquier par de medias, con un nivel del 95,0% de confianza. En la parte superior de la página, se ha identificado un grupo homogéneo, según la alineación de las A's en columna. No existen diferencias estadísticamente significativas entre aquellos niveles que compartan una misma columna de letras. El método empleado actualmente para discriminar entre las medias es el procedimiento de diferencia mínima significativa (LSD) de Fisher. Con este método hay un riesgo del 5,0% al decir que cada par de medias es significativamente diferente, cuando la diferencia real es igual a 0.

Verificación de Varianza

	Prueba	Valor-P
Levene's	0,0818982	0,9949

Comparación	Sigma1	Sigma2	F-Ratio	P-Valor
R15 1 / R15 2	4,11261	3,90268	1,11048	0,8315
R15 1 / R15 3	4,11261	4,11766	0,997548	0,9960
R15 1 / R15 4	4,11261	4,20264	0,957614	0,9299
R15 1 / R15 5	4,11261	3,89071	1,11732	0,8217
R15 1 / R15 6	4,11261	3,91346	1,10437	0,8402
R15 2 / R15 3	3,90268	4,11766	0,898303	0,8276
R15 2 / R15 4	3,90268	4,20264	0,862342	0,7636
R15 2 / R15 5	3,90268	3,89071	1,00616	0,9900
R15 2 / R15 6	3,90268	3,91346	0,994497	0,9911
R15 3 / R15 4	4,11766	4,20264	0,959968	0,9339
R15 3 / R15 5	4,11766	3,89071	1,12007	0,8179
R15 3 / R15 6	4,11766	3,91346	1,10708	0,8363
R15 4 / R15 5	4,20264	3,89071	1,16677	0,7541
R15 4 / R15 6	4,20264	3,91346	1,15325	0,7722
R15 5 / R15 6	3,89071	3,91346	0,988409	0,9811

El StatAdvisor

Los estadísticos mostrados en esta tabla evalúan la hipótesis nula de que las desviaciones estándar dentro de cada una de las 6 columnas son iguales. De particular interés es el valor-P. Puesto que el valor-P es mayor o igual que 0,05, no existe una diferencia estadísticamente significativa entre las desviaciones estándar, con un nivel del 95,0% de confianza.

La tabla también muestra una comparación de las desviaciones típicas para cada par de muestras. P-valores por debajo de 0.05, de los cuales hay 0, indican una diferencia estadísticamente significativa

entre las dos sigmas al 5% de nivel de significación.

Comparación de Varias Muestras Sortividad R20

Muestra 1: R20 1
Muestra 2: R20 2
Muestra 3: R20 3
Muestra 4: R20 4
Muestra 5: R20 5
Muestra 6: R20 6

Muestra 1: 18 valores en el rango de 0 a 11,8
Muestra 2: 18 valores en el rango de 0 a 11,7
Muestra 3: 18 valores en el rango de 0 a 10,8
Muestra 4: 18 valores en el rango de 0 a 11,4
Muestra 5: 18 valores en el rango de 0 a 11,8
Muestra 6: 18 valores en el rango de 0 a 11,6

El StatAdvisor

Este procedimiento compara los datos en 6 columnas del archivo de datos actual. Realiza varias pruebas estadísticas y gráficas para comparar las muestras. La prueba-F en la tabla ANOVA determinará si hay diferencias significativas entre las medias. Si las hay, las Pruebas de Rangos Múltiples le dirán cuáles medias son significativamente diferentes de otras. Si le preocupa la presencia de valores atípicos, puede elegir la Prueba de Kruskal-Wallis la cual compara las medianas en lugar de las medias. Las diferentes gráficas le ayudarán a juzgar la significancia práctica de los resultados, así como le permitirán buscar posibles violaciones de los supuestos subyacentes en el análisis de varianza.

Resumen Estadístico

	Recuento	Promedio	Desviación Estándar
R20 1	18	6,57778	4,3418
R20 2	18	7,50556	4,21321
R20 3	18	6,64444	3,72278
R20 4	18	7,43333	3,86218
R20 5	18	7,38333	4,32955
R20 6	18	7,62222	4,03668
Total	108	7,19444	4,01643

	Coefficiente de Variación	Mínimo	Máximo	Rango
R20 1	66,0071%	0	11,8	11,8
R20 2	56,1346%	0	11,7	11,7
R20 3	56,0284%	0	10,8	10,8
R20 4	51,9576%	0	11,4	11,4
R20 5	58,6395%	0	11,8	11,8
R20 6	52,9593%	0	11,6	11,6
Total	55,8269%	0	11,8	11,8

	Sesgo Estandarizado	Curtosis Estandarizada
R20 1	-0,191566	-1,46828
R20 2	-0,964628	-1,19668
R20 3	-0,652726	-1,21802
R20 4	-1,04838	-1,00528
R20 5	-0,772445	-1,35467
R20 6	-1,11716	-1,02462
Total	-1,72217	-2,97337

Tabla ANOVA

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	18,9956	5	3,79911	0,23	0,9500
Intra grupos	1707,1	102	16,7363		
Total (Corr.)	1726,1	107			

El StatAdvisor

La tabla ANOVA descompone la varianza de los datos en dos componentes: un componente entre-grupos y un componente dentro-de-grupos. La razón-F, que en este caso es igual a 0,226998, es el cociente entre el estimado entre-grupos y el estimado dentro-de-grupos. Puesto que el valor-P de la razón-F es mayor o igual que 0,05, no existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medias de las 6 variables

con un nivel del 5% de significación.

Pruebas de Múltiple Rangos

Método: 95,0 porcentaje LSD

	Casos	Media	Grupos Homogéneos
R20 1	18	6,57778	A
R20 3	18	6,64444	A
R20 5	18	7,38333	A
R20 4	18	7,43333	A
R20 2	18	7,50556	A
R20 6	18	7,62222	A

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
R20 1 - R20 2		-0,927778	2,70483
R20 1 - R20 3		-0,0666667	2,70483
R20 1 - R20 4		-0,855556	2,70483
R20 1 - R20 5		-0,805556	2,70483
R20 1 - R20 6		-1,04444	2,70483
R20 2 - R20 3		0,861111	2,70483
R20 2 - R20 4		0,0722222	2,70483
R20 2 - R20 5		0,122222	2,70483
R20 2 - R20 6		-0,116667	2,70483
R20 3 - R20 4		-0,788889	2,70483
R20 3 - R20 5		-0,738889	2,70483
R20 3 - R20 6		-0,977778	2,70483
R20 4 - R20 5		0,05	2,70483
R20 4 - R20 6		-0,188889	2,70483
R20 5 - R20 6		-0,238889	2,70483

* indica una diferencia significativa.

El StatAdvisor

Esta tabla aplica un procedimiento de comparación múltiple para determinar cuáles medias son significativamente diferentes de otras. La mitad inferior de la salida muestra las diferencias estimadas entre cada par de medias. No hay diferencias estadísticamente significativas entre cualquier par de medias, con un nivel del 95,0% de confianza. En la parte superior de la página, se ha identificado un grupo homogéneo, según la alineación de las A's en columna. No existen diferencias estadísticamente significativas entre aquellos niveles que compartan una misma columna de letras. El método empleado actualmente para discriminar entre las medias es el procedimiento de diferencia mínima significativa (LSD) de Fisher. Con este método hay un riesgo del 5,0% al decir que cada par de medias es significativamente diferente, cuando la diferencia real es igual a 0

Verificación de Varianza

	Prueba	Valor-P
Levene's	0,405503	0,8440

Comparación	Sigma1	Sigma2	F-Ratio	P-Valor
R20 1 / R20 2	4,3418	4,21321	1,06197	0,9028
R20 1 / R20 3	4,3418	3,72278	1,36021	0,5328
R20 1 / R20 4	4,3418	3,86218	1,26379	0,6347
R20 1 / R20 5	4,3418	4,32955	1,00567	0,9908
R20 1 / R20 6	4,3418	4,03668	1,15689	0,7673
R20 2 / R20 3	4,21321	3,72278	1,28083	0,6155
R20 2 / R20 4	4,21321	3,86218	1,19004	0,7239
R20 2 / R20 5	4,21321	4,32955	0,94698	0,9119
R20 2 / R20 6	4,21321	4,03668	1,08938	0,8620
R20 3 / R20 4	3,72278	3,86218	0,929113	0,8813
R20 3 / R20 5	3,72278	4,32955	0,739348	0,5403
R20 3 / R20 6	3,72278	4,03668	0,850523	0,7424
R20 4 / R20 5	3,86218	4,32955	0,795757	0,6429
R20 4 / R20 6	3,86218	4,03668	0,915415	0,8575
R20 5 / R20 6	4,32955	4,03668	1,15037	0,7761

El StatAdvisor

Los estadísticos mostrados en esta tabla evalúan la hipótesis nula de que las desviaciones estándar dentro de cada una de las 6 columnas son iguales. De particular interés es el valor-P. Puesto que el valor-P es mayor o igual que 0,05, no existe una diferencia estadísticamente significativa entre las desviaciones estándar, con un nivel del 95,0% de confianza.

La tabla también muestra una comparación de las desviaciones típicas para cada par de muestras. P-valores por debajo de 0.05, de los cuales hay 0, indican una diferencia estadísticamente significativa entre las dos sigmas al 5% de nivel de significación.

G. Anexo: Datos de la muestra: Sortividad

Tiempo		$\sqrt{t}$ tiempo	Pt 1		
Descripción	Segundos (s)	s ^{1/2}	Masa	Δ Masa	Absorción (I1)
Inicio	0	0	276,82	0	0,0
1 Minuto	60	8	277,78	0,96	0,4
5 Minutos	300	17	278,45	1,63	0,7
10 Minutos	600	24	278,78	1,96	0,8
20 Minutos	1200	35	279,12	2,3	0,9
30 Minutos	1800	42	279,41	2,59	1,0
1 Hora	3600	60	280,17	3,35	1,3
2 Horas	7200	85	282,12	5,3	2,1
3 Horas	10800	104	283,27	6,45	2,6
4 Horas	14400	120	284,35	7,53	3,0
5 Horas	18000	134	285,14	8,32	3,3
6 Horas	21600	147	285,85	9,03	3,6
1 Día	86400	294	295,16	18,34	7,3
2 Días	172800	416	296,27	19,45	7,8
3 Días	259200	509	296,67	19,85	7,9
4 Días	345600	588	297,11	20,29	8,1
7 Días	604800	778	297,76	20,94	8,4
8 Días	691200	831	297,92	21,1	8,4

Tabla G-1: Registro sortividad Pt1. Fuente: Elaboración Propia

Evaluación de las propiedades acústicas del mortero con reemplazo parcial de ceniza de cascarilla de arroz.

Tiempo			Pt 2		
Descripción	Segundos (s)	$\sqrt{t}$	Masa	Δ Masa	Absorción (I2)
Inicio	0	0	281,51	0	0,0
1 Minuto	60	8	282,29	0,78	0,3
5 Minutos	300	17	282,56	1,05	0,4
10 Minutos	600	24	282,64	1,13	0,5
20 Minutos	1200	35	282,77	1,26	0,5
30 Minutos	1800	42	282,82	1,31	0,5
1 Hora	3600	60	283,2	1,69	0,7
2 Horas	7200	85	284,24	2,73	1,1
3 Horas	10800	104	285,01	3,5	1,4
4 Horas	14400	120	285,72	4,21	1,7
5 Horas	18000	134	286,43	4,92	2,0
6 Horas	21600	147	286,96	5,45	2,2
1 Día	86400	294	297,83	16,32	6,5
2 Días	172800	416	298,92	17,41	7,0
3 Días	259200	509	299,74	18,23	7,3
4 Días	345600	588	301,52	20,01	8,0
7 Días	604800	778	302,62	21,11	8,4
8 Días	691200	831	302,94	21,43	8,6

Tabla G-2: Registro sortividad Pt2. Fuente: Elaboración Propia

Tiempo			Pt 3		
Descripción	Segundos (s)	$\sqrt{t}$	Masa	Δ Masa	Absorción (I3)
Inicio	0	0	277,43	0	0,0
1 Minuto	60	8	278,54	1,11	0,4
5 Minutos	300	17	279,21	1,78	0,7
10 Minutos	600	24	279,52	2,09	0,8
20 Minutos	1200	35	279,77	2,34	0,9
30 Minutos	1800	42	280,06	2,63	1,1
1 Hora	3600	60	280,81	3,38	1,4
2 Horas	7200	85	282,69	5,26	2,1
3 Horas	10800	104	283,9	6,47	2,6
4 Horas	14400	120	285,15	7,72	3,1
5 Horas	18000	134	286,06	8,63	3,5
6 Horas	21600	147	286,96	9,53	3,8
1 Día	86400	294	297,3	19,87	7,9
2 Días	172800	416	298,14	20,71	8,3
3 Días	259200	509	298,54	21,11	8,4
4 Días	345600	588	298,66	21,23	8,5
7 Días	604800	778	299,36	21,93	8,8
8 Días	691200	831	299,71	22,28	8,9

Tabla G-3: Registro sortividad Pt3. Fuente: Elaboración Propia

Tiempo		$\sqrt{\text{tiempo}}$	Pt 4		
Descripción	Segundos (s)	s1/2	Masa	Δ Masa	Absorción (I4)
Inicio	0	0	276,43	0	0,0
1 Minuto	60	8	277,82	1,39	0,6
5 Minutos	300	17	278,67	2,24	0,9
10 Minutos	600	24	278,96	2,53	1,0
20 Minutos	1200	35	279,28	2,85	1,1
30 Minutos	1800	42	279,63	3,2	1,3
1 Hora	3600	60	280,42	3,99	1,6
2 Horas	7200	85	282,31	5,88	2,4
3 Horas	10800	104	283,56	7,13	2,9
4 Horas	14400	120	284,84	8,41	3,4
5 Horas	18000	134	285,8	9,37	3,7
6 Horas	21600	147	286,68	10,25	4,1
1 Día	86400	294	295,68	19,25	7,7
2 Días	172800	416	297,75	21,32	8,5
3 Días	259200	509	298,02	21,59	8,6
4 Días	345600	588	298,21	21,78	8,7
7 Días	604800	778	298,78	22,35	8,9
8 Días	691200	831	298,98	22,55	9,0

Tabla G-4: Registro sortividad Pt4. Fuente: Elaboración Propia

Tiempo		$\sqrt{\text{tiempo}}$	Pt 5		
Descripción	Segundos (s)	s1/2	Masa	Δ Masa	Absorción (I5)
Inicio	0	0	274,11	0	0,0
1 Minuto	60	8	275,68	1,57	0,6
5 Minutos	300	17	276,68	2,57	1,0
10 Minutos	600	24	277,03	2,92	1,2
20 Minutos	1200	35	277,41	3,3	1,3
30 Minutos	1800	42	277,92	3,81	1,5
1 Hora	3600	60	278,86	4,75	1,9
2 Horas	7200	85	281,2	7,09	2,8
3 Horas	10800	104	283,57	9,46	3,8
4 Horas	14400	120	283,86	9,75	3,9
5 Horas	18000	134	284,8	10,69	4,3
6 Horas	21600	147	285,64	11,53	4,6
1 Día	86400	294	294,49	20,38	8,2
2 Días	172800	416	295,08	20,97	8,4
3 Días	259200	509	295,36	21,25	8,5
4 Días	345600	588	295,56	21,45	8,6

Evaluación de las propiedades acústicas del mortero con reemplazo parcial de ceniza de cascarilla de arroz.

7 Días	604800	778	296,11	22	8,8
8 Días	691200	831	296,61	22,5	9,0

Tabla G-5: Registro sortividad Pt5. Fuente: Elaboración Propia

Tiempo		$\sqrt{\text{tiempo}}$	Pt 6		
Descripción	Segundos (s)	s1/2	Masa	Δ Masa	Absorción (I6)
Inicio	0	0	277,16	0	0,0
1 Minuto	60	8	278,60	1,44	0,6
5 Minutos	300	17	279,63	2,47	1,0
10 Minutos	600	24	279,77	2,61	1,0
20 Minutos	1200	35	280,10	2,94	1,2
30 Minutos	1800	42	280,51	3,35	1,3
1 Hora	3600	60	281,23	4,07	1,6
2 Horas	7200	85	283,10	5,94	2,4
3 Horas	10800	104	284,28	7,12	2,8
4 Horas	14400	120	285,48	8,32	3,3
5 Horas	18000	134	286,36	9,2	3,7
6 Horas	21600	147	287,20	10,04	4,0
1 Día	86400	294	295,89	18,73	7,5
2 Días	172800	416	297,18	20,02	8,0
3 Días	259200	509	298,24	21,08	8,4
4 Días	345600	588	298,66	21,5	8,6
7 Días	604800	778	299,00	21,84	8,7
8 Días	691200	831	299,30	22,14	8,9

Tabla G-6: Registro sortividad Pt6. Fuente: Elaboración Propia

Tiempo		$\sqrt{\text{tiempo}}$	R10 1		
Descripción	Segundos (s)	s1/2	Masa	Δ Masa	Absorción (I1)
Inicio	0	0	271,94	0	0,0
1 Minuto	60	8	273,92	1,98	0,8
5 Minutos	300	17	274,75	2,81	1,1
10 Minutos	600	24	274,92	2,98	1,2
20 Minutos	1200	35	275,33	3,39	1,4
30 Minutos	1800	42	275,76	3,82	1,5
1 Hora	3600	60	276,63	4,69	1,9
2 Horas	7200	85	278,55	6,61	2,6
3 Horas	10800	104	279,61	7,67	3,1
4 Horas	14400	120	280,45	8,51	3,4
5 Horas	18000	134	281,82	9,88	4,0
6 Horas	21600	147	282,52	10,58	4,2

1 Día	86400	294	293,2	21,26	8,5
2 Días	172800	416	293,41	21,47	8,6
3 Días	259200	509	293,72	21,78	8,7
4 Días	345600	588	294,06	22,12	8,8
7 Días	604800	778	295,83	23,89	9,6
8 Días	691200	831	296,22	24,28	9,7

Tabla G-7: : Registro sortividad R10 1 Fuente: Elaboración Propia

Tiempo		$\sqrt{\text{tiempo}}$	R10 2		
Descripción	Segundos (s)	s ^{1/2}	Masa	Δ Masa	Absorción (I2)
Inicio	0	0	270,6	0	0,0
1 Minuto	60	8	272,26	1,66	0,7
5 Minutos	300	17	273,17	2,57	1,0
10 Minutos	600	24	273,48	2,88	1,2
20 Minutos	1200	35	273,83	3,23	1,3
30 Minutos	1800	42	274,23	3,63	1,5
1 Hora	3600	60	275,15	4,55	1,8
2 Horas	7200	85	277,28	6,68	2,7
3 Horas	10800	104	278,51	7,91	3,2
4 Horas	14400	120	279,82	9,22	3,7
5 Horas	18000	134	280,82	10,22	4,1
6 Horas	21600	147	281,69	11,09	4,4
1 Día	86400	294	289,93	19,33	7,7
2 Días	172800	416	291,41	20,81	8,3
3 Días	259200	509	293,04	22,44	9,0
4 Días	345600	588	293,88	23,28	9,3
7 Días	604800	778	294,79	24,19	9,7
8 Días	691200	831	294,95	24,35	9,7

Tabla G-8: Registro sortividad R10 2 Fuente: Elaboración Propia

Tiempo		$\sqrt{\text{tiempo}}$	R10 3		
Descripción	Segundos (s)	s ^{1/2}	Masa	Δ Masa	Absorción (I3)
Inicio	0	0	275,01	0	0,0
1 Minuto	60	8	276,86	1,85	0,7
5 Minutos	300	17	277,71	2,7	1,1
10 Minutos	600	24	278,02	3,01	1,2
20 Minutos	1200	35	278,36	3,35	1,3
30 Minutos	1800	42	278,59	3,58	1,4
1 Hora	3600	60	279,61	4,6	1,8
2 Horas	7200	85	281,68	6,67	2,7
3 Horas	10800	104	282,45	7,44	3,0
4 Horas	14400	120	284,22	9,21	3,7
5 Horas	18000	134	285,15	10,14	4,1

Evaluación de las propiedades acústicas del mortero con reemplazo parcial de ceniza de cascarilla de arroz.

6 Horas	21600	147	285,95	10,94	4,4
1 Día	86400	294	295,69	20,68	8,3
2 Días	172800	416	297,14	22,13	8,9
3 Días	259200	509	298,32	23,31	9,3
4 Días	345600	588	298,75	23,74	9,5
7 Días	604800	778	299,58	24,57	9,8
8 Días	691200	831	299,81	24,8	9,9

Tabla G-9: Registro sortividad R10 3 Fuente: Elaboración Propia

Tiempo		$\sqrt{\text{tiempo}}$	R10 4		
Descripción	Segundos (s)	s ^{1/2}	Masa	Δ Masa	Absorción (I4)
Inicio	0	0	271,76	0	0,0
1 Minuto	60	8	273,05	1,29	0,5
5 Minutos	300	17	273,95	2,19	0,9
10 Minutos	600	24	274,22	2,46	1,0
20 Minutos	1200	35	274,32	2,56	1,0
30 Minutos	1800	42	274,47	2,71	1,1
1 Hora	3600	60	275,63	3,87	1,5
2 Horas	7200	85	277,73	5,97	2,4
3 Horas	10800	104	279,03	7,27	2,9
4 Horas	14400	120	280,42	8,66	3,5
5 Horas	18000	134	281,36	9,6	3,8
6 Horas	21600	147	282,2	10,44	4,2
1 Día	86400	294	292,25	20,49	8,2
2 Días	172800	416	293,54	21,78	8,7
3 Días	259200	509	294,1	22,34	8,9
4 Días	345600	588	295,41	23,65	9,5
7 Días	604800	778	295,93	24,17	9,7
8 Días	691200	831	296,52	24,76	9,9

Tabla G-10: Registro sortividad R10 4 Fuente: Elaboración Propia

Tiempo		$\sqrt{\text{tiempo}}$	R10 5		
Descripción	Segundos (s)	s ^{1/2}	Masa	Δ Masa	Absorción (I5)
Inicio	0	0	273,58	0	0,0
1 Minuto	60	8	275,27	1,69	0,7
5 Minutos	300	17	276,29	2,71	1,1
10 Minutos	600	24	276,72	3,14	1,3
20 Minutos	1200	35	277,24	3,66	1,5
30 Minutos	1800	42	277,62	4,04	1,6
1 Hora	3600	60	278,51	4,93	2,0
2 Horas	7200	85	280,79	7,21	2,9

3 Horas	10800	104	282,22	8,64	3,5
4 Horas	14400	120	283,53	9,95	4,0
5 Horas	18000	134	284,48	10,9	4,4
6 Horas	21600	147	285,34	11,76	4,7
1 Día	86400	294	295,86	22,28	8,9
2 Días	172800	416	296,06	22,48	9,0
3 Días	259200	509	297,29	23,71	9,5
4 Días	345600	588	297,87	24,29	9,7
7 Días	604800	778	298,61	25,03	10,0
8 Días	691200	831	298,86	25,28	10,1

Tabla G-11: Registro sortividad R10 5 Fuente: Elaboración Propia

Descripción	Tiempo		R10 6		
	Segundos (s)	$\sqrt{t}$ tiempo s ^{1/2}	Masa	Δ Masa	Absorción (I6)
Inicio	0	0	275,77	0	0,0
1 Minuto	60	8	276,64	0,87	0,3
5 Minutos	300	17	277,16	1,39	0,6
10 Minutos	600	24	277,27	1,5	0,6
20 Minutos	1200	35	277,49	1,72	0,7
30 Minutos	1800	42	277,69	1,92	0,8
1 Hora	3600	60	278,24	2,47	1,0
2 Horas	7200	85	279,78	4,01	1,6
3 Horas	10800	104	280,82	5,05	2,0
4 Horas	14400	120	281,88	6,11	2,4
5 Horas	18000	134	282,68	6,91	2,8
6 Horas	21600	147	283,39	7,62	3,0
1 Día	86400	294	294,05	18,28	7,3
2 Días	172800	416	297,79	22,02	8,8
3 Días	259200	509	298,01	22,24	8,9
4 Días	345600	588	298,62	22,85	9,1
7 Días	604800	778	299,09	23,32	9,3
8 Días	691200	831	299,52	23,75	9,5

Tabla G-12: Registro sortividad R10 6 Fuente: Elaboración Propia

Descripción	Tiempo		R15 1		
	Segundos (s)	$\sqrt{t}$ tiempo s ^{1/2}	Masa	Δ Masa	Absorción (I1)
Inicio	0	0	262,63	0	0,0
1 Minuto	60	8	265,88	3,25	1,3
5 Minutos	300	17	268,44	5,81	2,3
10 Minutos	600	24	269,34	6,71	2,7
20 Minutos	1200	35	270,56	7,93	3,2

Evaluación de las propiedades acústicas del mortero con reemplazo parcial de ceniza de cascarilla de arroz.

30 Minutos	1800	42	271,45	8,82	3,5
1 Hora	3600	60	273,7	11,07	4,4
2 Horas	7200	85	279,02	16,39	6,6
3 Horas	10800	104	282,1	19,47	7,8
4 Horas	14400	120	284,91	22,28	8,9
5 Horas	18000	134	286,58	23,95	9,6
6 Horas	21600	147	287,6	24,97	10,0
1 Día	86400	294	289,95	27,32	10,9
2 Días	172800	416	290,54	27,91	11,2
3 Días	259200	509	290,85	28,22	11,3
4 Días	345600	588	291,11	28,48	11,4
7 Días	604800	778	291,49	28,86	11,5
8 Días	691200	831	291,63	29	11,6

Tabla G-13: : Registro sortividad R15 1 Fuente: Elaboración Propia

Tiempo		$\sqrt{\text{tiempo}}$	R15 2		
Descripción	Segundos (s)	s1/2	Masa	Δ Masa	Absorción (I2)
Inicio	0	0	268,42	0	0,0
1 Minuto	60	8	271,61	3,19	1,3
5 Minutos	300	17	274,58	6,16	2,5
10 Minutos	600	24	275,42	7	2,8
20 Minutos	1200	35	276,8	8,38	3,4
30 Minutos	1800	42	277,31	8,89	3,6
1 Hora	3600	60	279,88	11,46	4,6
2 Horas	7200	85	284,79	16,37	6,5
3 Horas	10800	104	287,62	19,2	7,7
4 Horas	14400	120	290,16	21,74	8,7
5 Horas	18000	134	291,66	23,24	9,3
6 Horas	21600	147	292,61	24,19	9,7
1 Día	86400	294	294,87	26,45	10,6
2 Días	172800	416	295,41	26,99	10,8
3 Días	259200	509	295,73	27,31	10,9
4 Días	345600	588	295,93	27,51	11,0
7 Días	604800	778	296,18	27,76	11,1
8 Días	691200	831	296,46	28,04	11,2

Tabla G-14: Registro sortividad R15 2 Fuente: Elaboración Propia

Tiempo		$\sqrt{\text{tiempo}}$	R15 3		
Descripción	Segundos (s)	s1/2	Masa	Δ Masa	Absorción (I3)
Inicio	0	0	263,58	0	0,0
1 Minuto	60	8	266,51	2,93	1,2

5 Minutos	300	17	269,66	6,08	2,4
10 Minutos	600	24	270,64	7,06	2,8
20 Minutos	1200	35	272,12	8,54	3,4
30 Minutos	1800	42	273,16	9,58	3,8
1 Hora	3600	60	275,71	12,13	4,9
2 Horas	7200	85	281,33	17,75	7,1
3 Horas	10800	104	284,44	20,86	8,3
4 Horas	14400	120	287,09	23,51	9,4
5 Horas	18000	134	288,01	24,43	9,8
6 Horas	21600	147	289,43	25,85	10,3
1 Día	86400	294	291,06	27,48	11,0
2 Días	172800	416	291,59	28,01	11,2
3 Días	259200	509	291,89	28,31	11,3
4 Días	345600	588	292,08	28,5	11,4
7 Días	604800	778	292,51	28,93	11,6
8 Días	691200	831	292,86	29,28	11,7

Tabla G-15: Registro sortividad R15 3 Fuente: Elaboración Propia

Descripción	Tiempo	$\sqrt{\text{tiempo}}$	R15 4		
	Segundos (s)	s ^{1/2}	Masa	Δ Masa	Absorción (I4)
Inicio	0	0	266,52	0	0,0
1 Minuto	60	8	268,07	1,55	0,6
5 Minutos	300	17	269,62	3,1	1,2
10 Minutos	600	24	270,05	3,53	1,4
20 Minutos	1200	35	270,79	4,27	1,7
30 Minutos	1800	42	271,33	4,81	1,9
1 Hora	3600	60	273,06	6,54	2,6
2 Horas	7200	85	277,59	11,07	4,4
3 Horas	10800	104	280,14	13,62	5,4
4 Horas	14400	120	282,33	15,81	6,3
5 Horas	18000	134	283,8	17,28	6,9
6 Horas	21600	147	285,01	18,49	7,4
1 Día	86400	294	292,12	25,6	10,2
2 Días	172800	416	293,13	26,61	10,6
3 Días	259200	509	293,56	27,04	10,8
4 Días	345600	588	293,77	27,25	10,9
7 Días	604800	778	294,24	27,72	11,1
8 Días	691200	831	294,52	28	11,2

Tabla G-16: Registro sortividad R15 4 Fuente: Elaboración Propia

Tiempo	$\sqrt{\text{tiempo}}$	R15 5
--------	------------------------	-------

Evaluación de las propiedades acústicas del mortero con reemplazo parcial de ceniza de cascarilla de arroz.

Descripción	Segundos (s)	s1/2	Masa	Δ Masa	Absorción (I5)
Inicio	0	0	262,62	0	0,0
1 Minuto	60	8	264,36	1,74	0,7
5 Minutos	300	17	266,92	4,3	1,7
10 Minutos	600	24	267,67	5,05	2,0
20 Minutos	1200	35	269,62	7	2,8
30 Minutos	1800	42	269,94	7,32	2,9
1 Hora	3600	60	272,13	9,51	3,8
2 Horas	7200	85	277,22	14,6	5,8
3 Horas	10800	104	280,14	17,52	7,0
4 Horas	14400	120	282,65	20,03	8,0
5 Horas	18000	134	284,2	21,58	8,6
6 Horas	21600	147	285,16	22,54	9,0
1 Día	86400	294	287,68	25,06	10,0
2 Días	172800	416	288,16	25,54	10,2
3 Días	259200	509	288,47	25,85	10,3
4 Días	345600	588	288,68	26,06	10,4
7 Días	604800	778	289,14	26,52	10,6
8 Días	691200	831	289,58	26,96	10,8

Tabla G-17: Registro sortividad R15 5 Fuente: Elaboración Propia

Tiempo		$\sqrt{t}$ tiempo	R15 6		
Descripción	Segundos (s)	s1/2	Masa	Δ Masa	Absorción (I6)
Inicio	0	0	258,26	0	0,0
1 Minuto	60	8	261,91	3,65	1,5
5 Minutos	300	17	265,19	6,93	2,8
10 Minutos	600	24	266,25	7,99	3,2
20 Minutos	1200	35	267,84	9,58	3,8
30 Minutos	1800	42	268,89	10,63	4,3
1 Hora	3600	60	271,34	13,08	5,2
2 Horas	7200	85	276,96	18,7	7,5
3 Horas	10800	104	280,06	21,8	8,7
4 Horas	14400	120	282,11	23,85	9,5
5 Horas	18000	134	282,94	24,68	9,9
6 Horas	21600	147	283,34	25,08	10,0
1 Día	86400	294	285,19	26,93	10,8
2 Días	172800	416	285,74	27,48	11,0
3 Días	259200	509	286,11	27,85	11,1
4 Días	345600	588	286,38	28,12	11,2
7 Días	604800	778	286,87	28,61	11,4
8 Días	691200	831	287,04	28,78	11,5

Tabla G-18: Registro sortividad R15 6. Fuente: Elaboración Propia

Tiempo		$\sqrt{\text{tiempo}}$	R20 1		
Descripción	Segundos (s)	s1/2	Masa	Δ Masa	Absorción (I)
Inicio	0	0	262,54	0	0,0
1 Minuto	60	8	264,75	2,21	0,9
5 Minutos	300	17	266,73	4,19	1,7
10 Minutos	600	24	267,35	4,81	1,9
20 Minutos	1200	35	268,31	5,77	2,3
30 Minutos	1800	42	269,41	6,87	2,7
1 Hora	3600	60	270,82	8,28	3,3
2 Horas	7200	85	275,72	13,18	5,3
3 Horas	10800	104	278,79	16,25	6,5
4 Horas	14400	120	281,42	18,88	7,6
5 Horas	18000	134	283,59	21,05	8,4
6 Horas	21600	147	285,19	22,65	9,1
1 Día	86400	294	290,07	27,53	11,0
2 Días	172800	416	290,71	28,17	11,3
3 Días	259200	509	291,06	28,52	11,4
4 Días	345600	588	291,32	28,78	11,5
7 Días	604800	778	291,73	29,19	11,7
8 Días	691200	831	291,98	29,44	11,8

Tabla G-19: Registro sortividad R20 1. Fuente: Elaboración Propia

Tiempo		$\sqrt{\text{tiempo}}$	R20 2		
Descripción	Segundos (s)	s1/2	Masa	Δ Masa	Absorción (I)
Inicio	0	0	266,3	0	0,0
1 Minuto	60	8	268,46	2,16	0,9
5 Minutos	300	17	271,81	5,51	2,2
10 Minutos	600	24	273,48	7,18	2,9
20 Minutos	1200	35	275,35	9,05	3,6
30 Minutos	1800	42	276,49	10,19	4,1
1 Hora	3600	60	278,98	12,68	5,1
2 Horas	7200	85	285,27	18,97	7,6
3 Horas	10800	104	288,86	22,56	9,0
4 Horas	14400	120	291,4	25,1	10,0
5 Horas	18000	134	292,46	26,16	10,5
6 Horas	21600	147	292,83	26,53	10,6
1 Día	86400	294	293,98	27,68	11,1
2 Días	172800	416	294,46	28,16	11,3
3 Días	259200	509	294,74	28,44	11,4

Evaluación de las propiedades acústicas del mortero con reemplazo parcial de ceniza de cascarilla de arroz.

4 Días	345600	588	294,93	28,63	11,5
7 Días	604800	778	295,24	28,94	11,6
8 Días	691200	831	295,63	29,33	11,7

Tabla G-20: Registro sortividad R20 2u. Fuente: Elaboración Propia

Descripción	Tiempo	$\sqrt{t}$ tiempo	R20 3		
	Segundos (s)	s ^{1/2}	Masa	Δ Masa	Absorción (I)
Inicio	0	0	267,02	0	0,0
1 Minuto	60	8	270,02	3	1,2
5 Minutos	300	17	273,02	6	2,4
10 Minutos	600	24	273,93	6,91	2,8
20 Minutos	1200	35	275,01	7,99	3,2
30 Minutos	1800	42	276,01	8,99	3,6
1 Hora	3600	60	277,75	10,73	4,3
2 Horas	7200	85	282,57	15,55	6,2
3 Horas	10800	104	284,47	17,45	7,0
4 Horas	14400	120	287,43	20,41	8,2
5 Horas	18000	134	288,63	21,61	8,6
6 Horas	21600	147	289,52	22,5	9,0
1 Día	86400	294	292,28	25,26	10,1
2 Días	172800	416	292,96	25,94	10,4
3 Días	259200	509	293,31	26,29	10,5
4 Días	345600	588	293,54	26,52	10,6
7 Días	604800	778	293,86	26,84	10,7
8 Días	691200	831	293,99	26,97	10,8

Tabla G-21: Registro sortividad R20 3 Fuente: Elaboración Propia

Descripción	Tiempo	$\sqrt{t}$ tiempo	R20 4		
	Segundos (s)	s ^{1/2}	Masa	Δ Masa	Absorción (I)
Inicio	0	0	261,04	0	0,0
1 Minuto	60	8	264,6	3,56	1,4
5 Minutos	300	17	268,37	7,33	2,9
10 Minutos	600	24	269,5	8,46	3,4
20 Minutos	1200	35	270,92	9,88	4,0
30 Minutos	1800	42	272,01	10,97	4,4
1 Hora	3600	60	274,31	13,27	5,3
2 Horas	7200	85	279,95	18,91	7,6
3 Horas	10800	104	283,02	21,98	8,8
4 Horas	14400	120	285,07	24,03	9,6
5 Horas	18000	134	285,42	24,38	9,8
6 Horas	21600	147	286,38	25,34	10,1
1 Día	86400	294	287,82	26,78	10,7

2 Días	172800	416	288,32	27,28	10,9
3 Días	259200	509	288,67	27,63	11,1
4 Días	345600	588	288,87	27,83	11,1
7 Días	604800	778	289,21	28,17	11,3
8 Días	691200	831	289,5	28,46	11,4

Tabla G-22: Registro sortividad R20 4. Fuente: Elaboración Propia

Tiempo			R20 5		
Descripción	Segundos (s)	$\sqrt{t}$ tiempo s ^{1/2}	Masa	Δ Masa	Absorción (I)
Inicio	0	0	260,43	0	0,0
1 Minuto	60	8	263,04	2,61	1,0
5 Minutos	300	17	266,05	5,62	2,2
10 Minutos	600	24	267,02	6,59	2,6
20 Minutos	1200	35	268,3	7,87	3,1
30 Minutos	1800	42	269,37	8,94	3,6
1 Hora	3600	60	271,67	11,24	4,5
2 Horas	7200	85	278,05	17,62	7,0
3 Horas	10800	104	282,04	21,61	8,6
4 Horas	14400	120	285,08	24,65	9,9
5 Horas	18000	134	286,4	25,97	10,4
6 Horas	21600	147	287,01	26,58	10,6
1 Día	86400	294	288,47	28,04	11,2
2 Días	172800	416	289,02	28,59	11,4
3 Días	259200	509	289,41	28,98	11,6
4 Días	345600	588	289,53	29,1	11,6
7 Días	604800	778	289,88	29,45	11,8
8 Días	691200	831	290,03	29,6	11,8

Tabla G-23: Registro sortividad R20 5 Fuente: Elaboración Propia

Tiempo			R20 6		
Descripción	Segundos (s)	$\sqrt{t}$ tiempo s ^{1/2}	Masa	Δ Masa	Absorción (I)
Inicio	0	0	263,57	0	0,0
1 Minuto	60	8	265,95	2,38	1,0
5 Minutos	300	17	270,77	7,2	2,9
10 Minutos	600	24	271,95	8,38	3,4
20 Minutos	1200	35	273,46	9,89	4,0
30 Minutos	1800	42	274,68	11,11	4,4
1 Hora	3600	60	277,11	13,54	5,4
2 Horas	7200	85	283,43	19,86	7,9
3 Horas	10800	104	287,03	23,46	9,4
4 Horas	14400	120	289,12	25,55	10,2

Evaluación de las propiedades acústicas del mortero con reemplazo parcial
de ceniza de cascarilla de arroz.

5 Horas	18000	134	289,68	26,11	10,4
6 Horas	21600	147	289,97	26,4	10,6
1 Día	86400	294	290,89	27,32	10,9
2 Días	172800	416	291,44	27,87	11,1
3 Días	259200	509	291,63	28,06	11,2
4 Días	345600	588	291,88	28,31	11,3
7 Días	604800	778	292,21	28,64	11,5
8 Días	691200	831	292,61	29,04	11,6

Tabla G-24: Registro sortividad R20 6. Fuente: Elaboración Propia

Control de temperatura		Temperatura del agua en el momento de la lectura (°C)
Descripción	Tiempo Segundos (s)	
Inicio	0	21,7
1 Minuto	60	20,9
5 Minutos	300	20,7
10 Minutos	600	20,7
20 Minutos	1200	20,3
30 Minutos	1800	20,3
1 Hora	3600	19,8
2 Horas	7200	22,2
3 Horas	10800	22,1
4 Horas	14400	21,3
5 Horas	18000	22,3
6 Horas	21600	21,9
1 Día	86400	21,2
2 Días	172800	20,8
3 Días	259200	21,5
4 Días	345600	22,1
7 Días	604800	21,9
8 Días	691200	21,7

Tabla G-25: Registro de temperatura del agua del ensayo de sortividad para su control

Elaboración Propia

H. Anexo: Hojas de cálculo para la obtención de propiedades acústicas

Las **Figuras H-1 a H-11** son imágenes obtenidas del programa Microsoft Excel, correspondientes a los cálculos realizados para las muestras del grupo de estudio R10. El mismo procedimiento fue aplicado para los demás materiales analizados. Se tiene en cuenta que, al trabajar con un rango de frecuencias muy extenso, se tomaron mediciones en intervalos de 15 Hz y en las imágenes sólo se hacen visibles hasta la frecuencia 670.

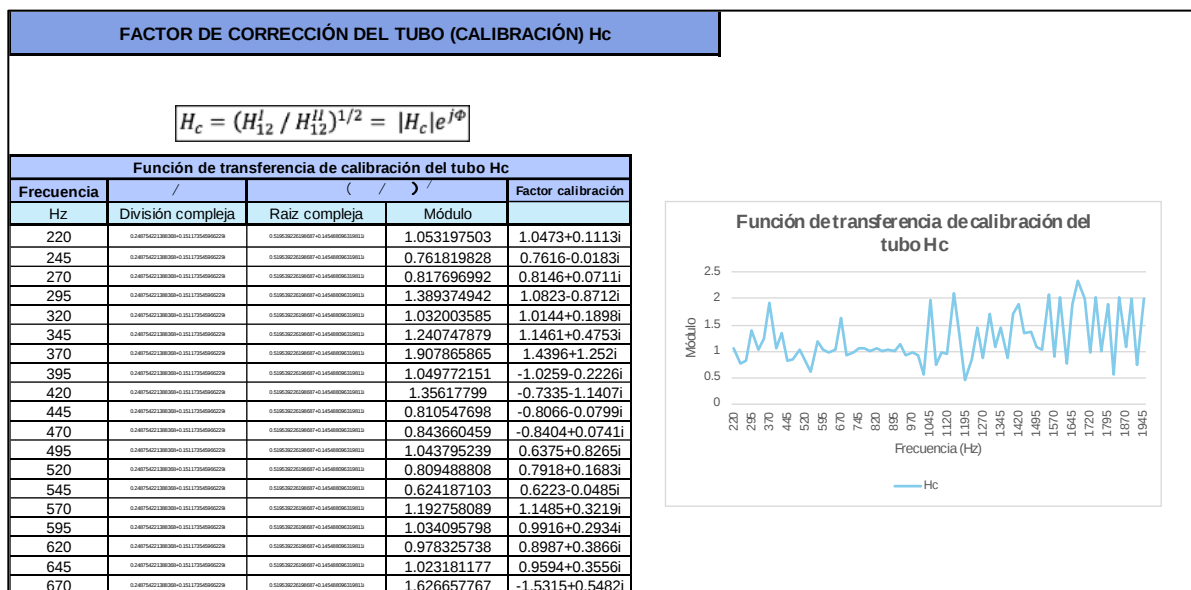


Figura H-1:Factor de calibración del tubo de impedancia. Fuente: Elaboración propia.

FUNCIÓN DE TRANSFERENCIA H12 SIN CORRECCIONES												
MATERIAL:			MORTERO R10									
Completar con base de datos			Completar con base de datos									
PROBETA 1												
Medición 1.1												
Frecuencia	Transformada de Fourier FFT Micrófono 1			Transformada de Fourier FFT Micrófono 2			Función de transferencia sin corrección					
Hz	Real	Imag	Complejo	Real	Imag	Complejo			Real	Imag	Módulo	
220	-4172.1754	-2639.2914	-4172.1754-2639.2914i	-5895.3214	5021.5245	-5895.3214+5021.5245i	0.46235950437759	-1.49781338613308	0.4654-1.498i	0.465	-1.498	1.569
245	1046.314	-2812.5681	1046.314-2812.5681i	-2316.1576	-5642.3074	-2316.1576-5642.3074i	1.49311264585159	-1.37896119383974	1.4931-1.379i	1.493	-1.379	2.032
270	-4794.8441	-656.2142	-4794.8441-656.2142i	-7925.5456	5751.5689	-7925.5456+5751.5689i	1.461139274674973	-1.39953571633209	1.4614-1.3995i	1.461	-1.400	2.023
295	-1042.896	-1108.102	-1042.896-1108.102i	-1307.9146	-1667.1436	-1307.9146-1667.1436i	1.38689454780206	-0.124863007964465	1.3869+0.125i	1.387	0.125	1.393
320	-1913.5189	1204.3104	-1913.5189+1204.3104i	-3093.4676	4273.2002	-3093.4676+4273.2002i	2.1348583358404	-0.870779624940465	2.1647-0.8708i	2.165	-0.871	2.333
345	254.9903	2723.8827	254.9903+2723.8827i	6800.2478	5224.7315	6800.2478+5224.7315i	2.133132265387573	-2.29683887072246	2.1331-2.2968i	2.133	-2.297	3.135
370	-1358.7689	-836.1146	-1358.7689-836.1146i	-2944.2524	3256.6171	-2944.2524+3256.6171i	0.92087780008869	-2.70581027075466	0.502-2.7056i	0.502	-2.706	2.752
395	-898.6374	1717.2928	-898.6374+1717.2928i	1526.8187	2917.4671	1526.8187+2917.4671i	0.96844278832278	-1.39565702611056	0.9684-1.3959i	0.968	-1.396	1.699
420	-1806.297	-2155.2691	-1806.297-2155.2691i	-1583.0481	1867.0828	-1583.0481+1867.0828i	-0.147373873272314	-0.86767052068486	-0.1473-0.8579i	-0.147	-0.858	0.870
445	-2296.6829	1936.049	-2296.6829+1936.049i	2410.4319	4685.0779	2410.4319+4685.0779i	0.391734233680029	-1.7097182170989	0.3917-1.7097i	0.392	-1.710	1.754
470	1340.1556	4401.294	1340.1556+4401.294i	6635.0969	-5413.839	6635.0969-5413.839i	-0.70560324807015	-1.72238388271588	-0.7056-1.7224i	-0.706	-1.722	1.861
495	5970.6728	-2733.6203	5970.6728-2733.6203i	1338.2256	505.7958	1338.2256+505.7958i	0.153236348777528	-0.154867625060024	0.1532+0.1549i	0.153	0.155	0.218
520	1547.6658	2690.6969	1547.6658+2690.6969i	351.0318	-3670.2797	351.0318-3670.2797i	-0.968574488388205	-0.607577031713903	-0.9686-0.6876i	-0.969	-0.688	1.188
545	-918.766	1211.8815	-918.766+1211.8815i	-575.9677	-1893.8546	-575.9677-1893.8546i	-0.7635503385893	-1.0544500031049	-0.7636+1.0541i	-0.764	1.054	1.302
570	-952.8632	2738.6571	-952.8632+2738.6571i	-1238.4812	-653.9054	-1238.4812-653.9054i	-0.073833785638581	-0.47483840359318	-0.0726+0.4775i	-0.073	0.478	0.483
595	4360.584	5389.2932	4360.584+5389.2932i	-1408.2969	-2716.2433	-1408.2969-2716.2433i	-0.432373897023076	-0.08830073623087	-0.4324-0.0885i	-0.432	-0.089	0.441
620	-1903.3611	641.93	-1903.3611+641.93i	-352.8355	-1389.2346	-352.8355-1389.2346i	-0.0546788761432338	-0.71477596261834	-0.0546+0.7115i	-0.055	0.712	0.714
645	2431.8928	6385.3566	2431.8928+6385.3566i	-3634.9041	-4908.933	-3634.9041-4908.933i	-0.8607338866615	-0.241441700640362	-0.8607+0.2414i	-0.861	0.241	0.894
670	-2588.9272	-1255.34	-2588.9272-1255.34i	3081.7418	2439.673	3081.7418+2439.673i	-1.333711265025	-0.295640359018773	-1.3337-0.2956i	-1.334	-0.296	1.366

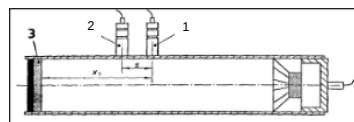


Figura H-2: Función de transferencia sin correcciones, probeta 1, medición 1/10. Fuente: Elaboración propia.

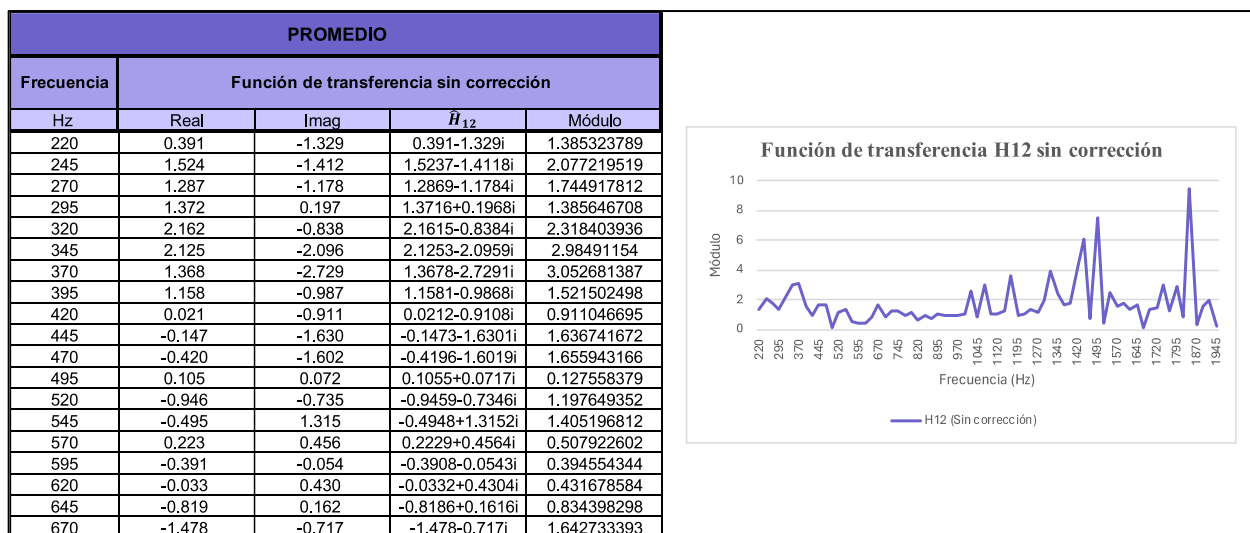


Figura H-3: Función de transferencia promedio. Fuente: Elaboración propia.

Evaluación de las propiedades acústicas del mortero con reemplazo parcial de ceniza de cascarilla de arroz.

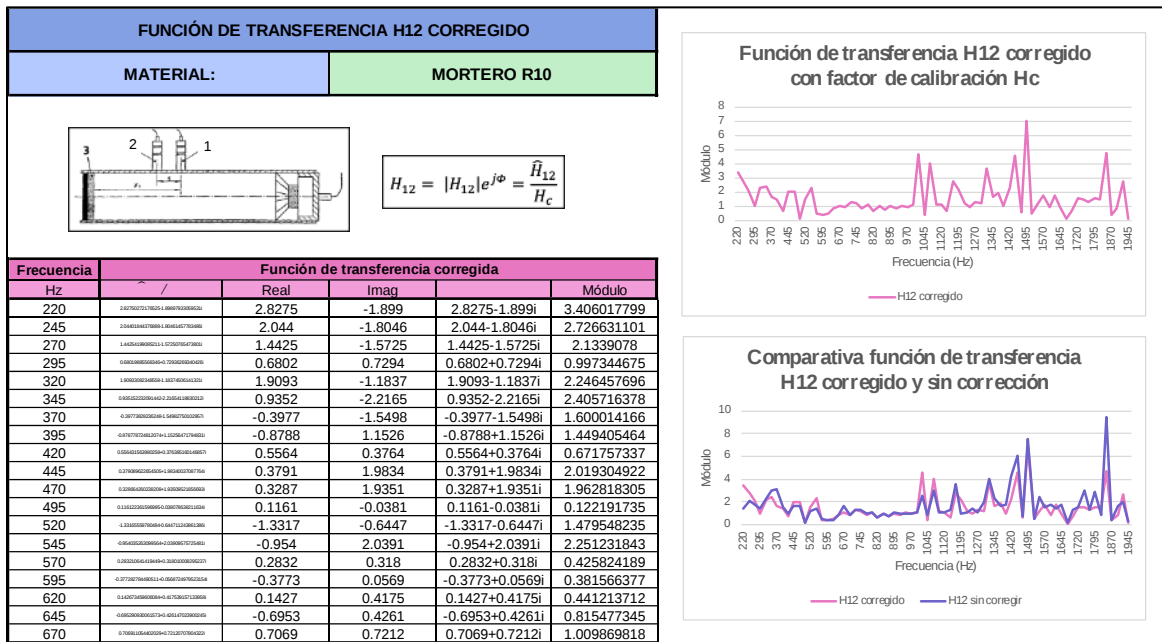


Figura H-4: Función de transferencia promedio corregida. Fuente: Elaboración propia.

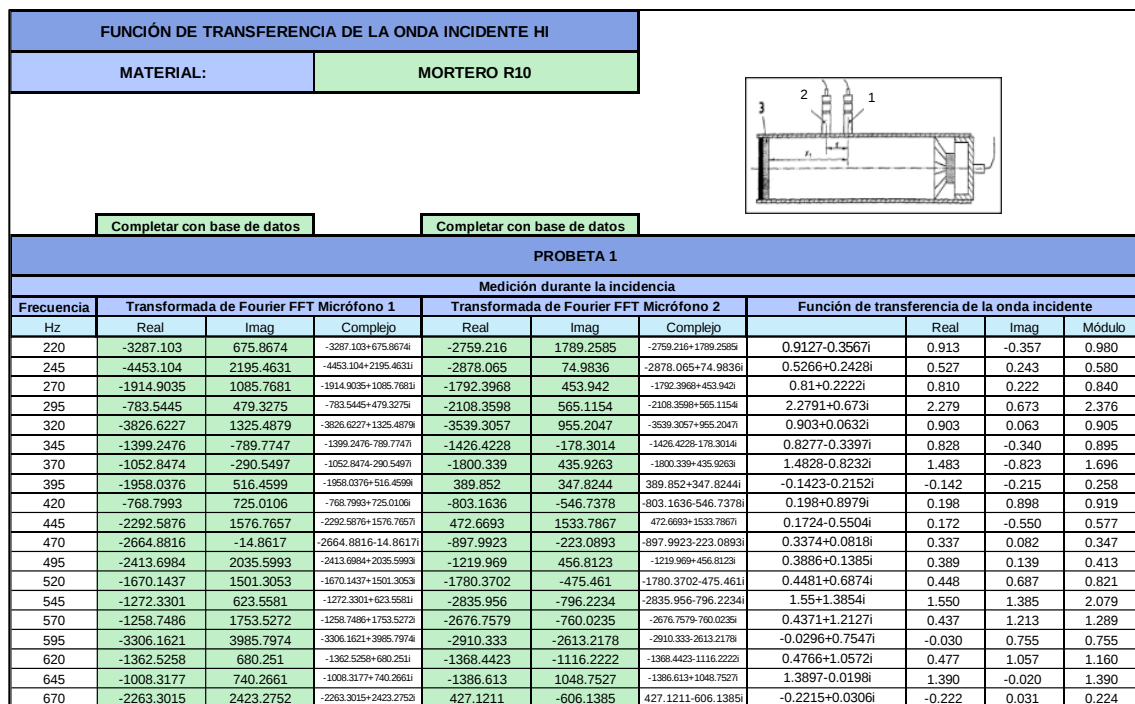


Figura H-5: Función de transferencia de la onda incidente, probeta 1, medición 1/10. Fuente: Elaboración propia.

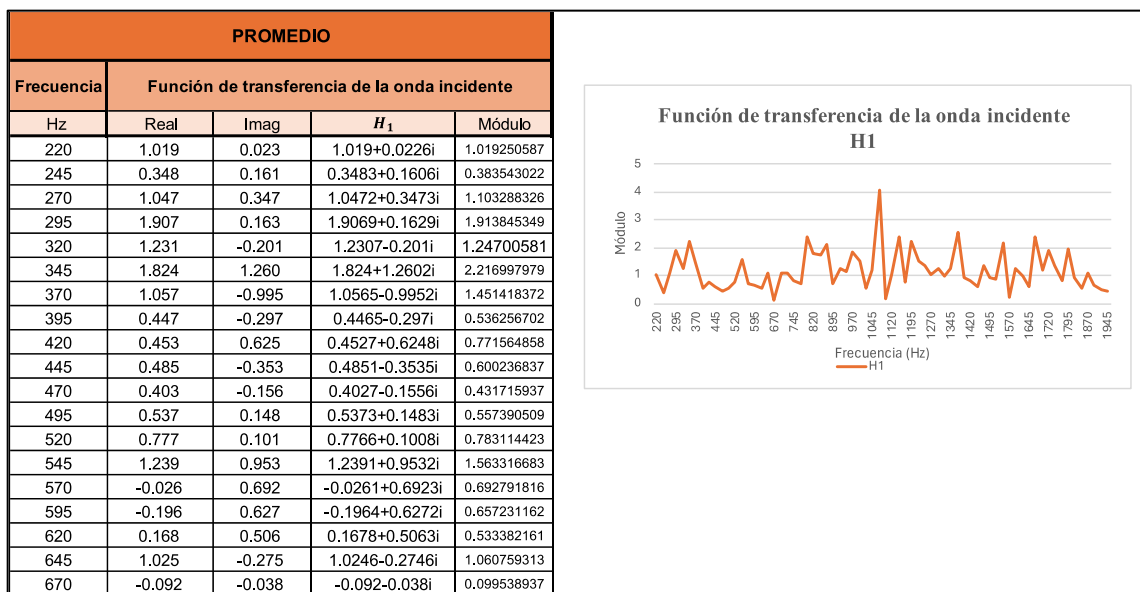


Figura H-6: Función de transferencia de la onda incidente promedio. Fuente: Elaboración propia.

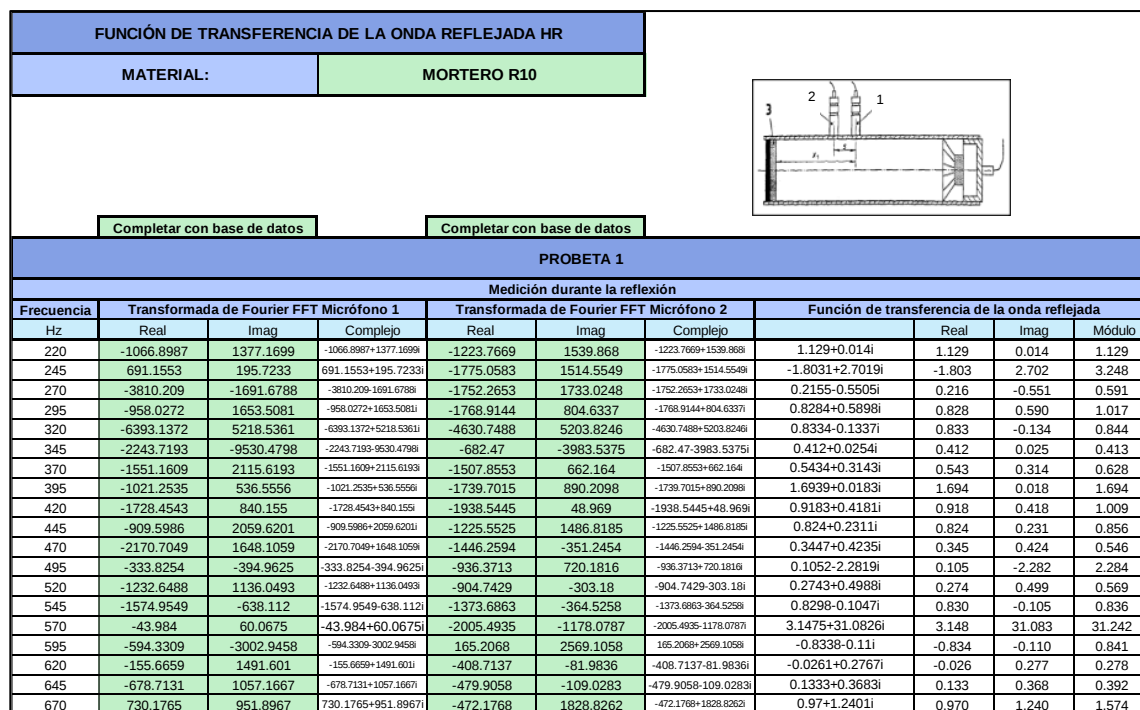


Figura H-7: Función de transferencia de la onda reflejada, probeta 1, medición 1/10. Fuente: Elaboración propia.

Evaluación de las propiedades acústicas del mortero con reemplazo parcial de ceniza de cascarilla de arroz.

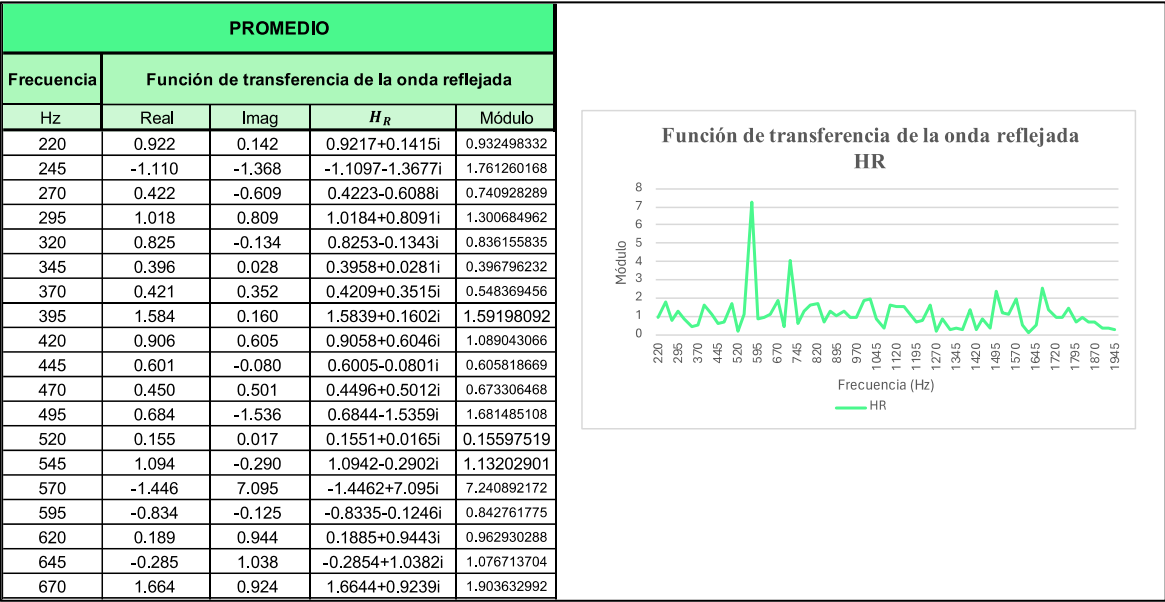


Figura H-8:Función de transferencia de la onda reflejada promedio. Fuente: Elaboración propia.

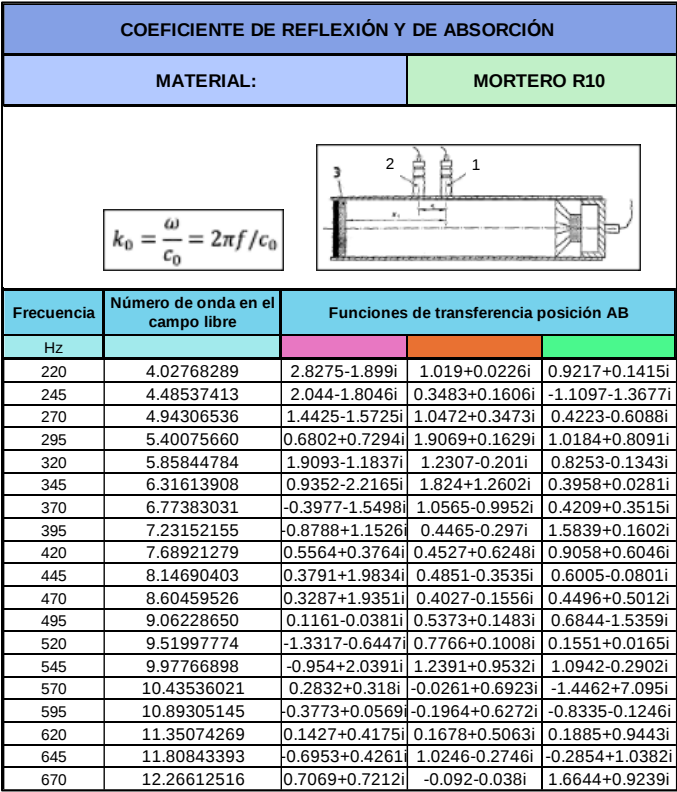


Figura H-9:Coeficiente de reflexión y absorción parte 1. Fuente: Elaboración propia.

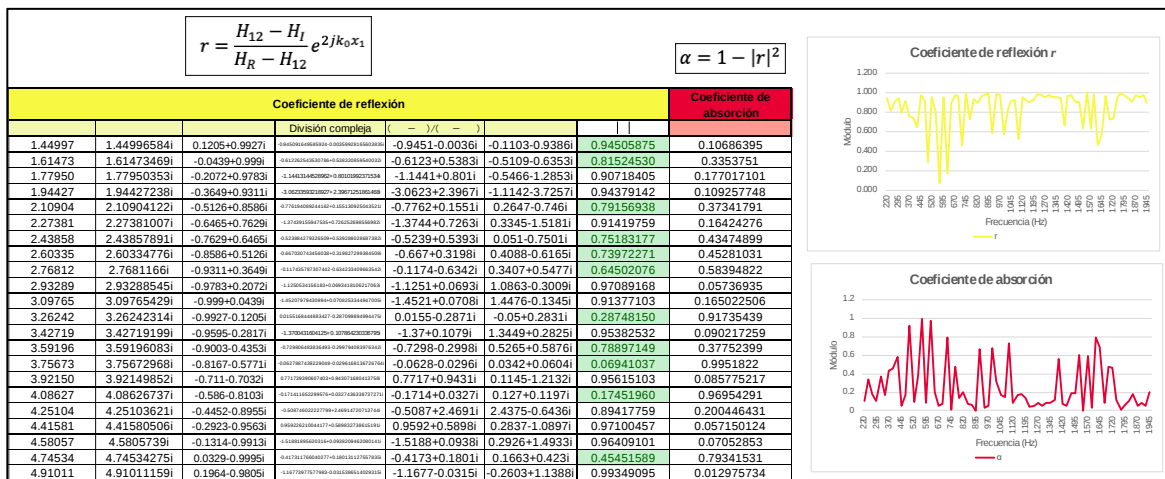


Figura H-10: Coeficiente de reflexión y absorción parte 2. Fuente: Elaboración propia.

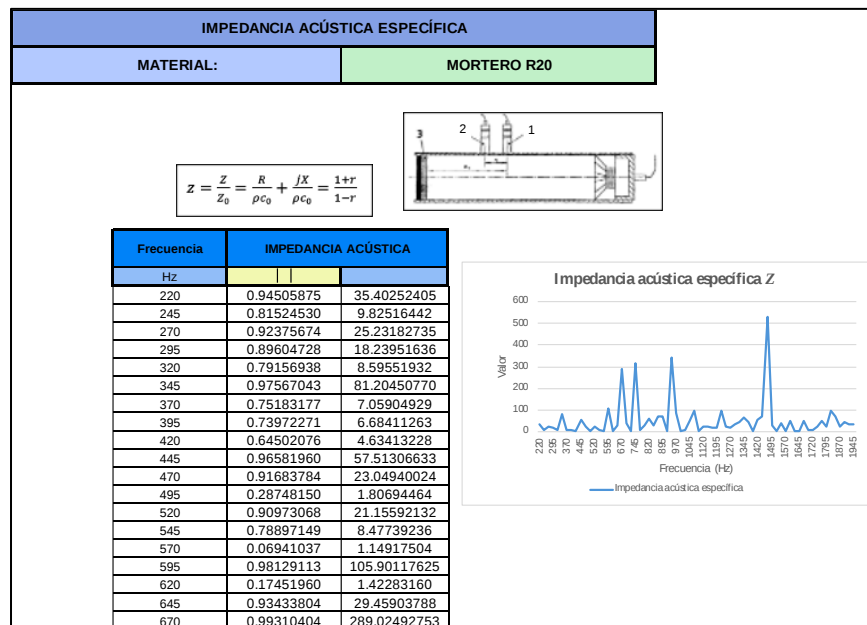


Figura H-11: Impedancia acústica específica. Fuente: Elaboración propia.

I. Anexo: Análisis de precios unitarios.

APU's por grupo de estudio:

Ítem	Cod	Descripción	Unidad	Cantidad
-----	-----	MORTERO 1:2	M3	1,00

2. Materiales

Descripción	Unidad	Cantidad	Desp.	Precio Unit.	Vr Unitario
CEMENTO GRIS	kg	672	5%	\$ 610,00	\$ 409.920,00
ARENA LAVADA DE RIO	M3	1,22	5%	\$ 35.000,00	\$ 42.700,00
AGUA	Lt	250	5%	\$ 6,00	\$ 1.500,00
SUBTOTAL					\$ 454.120,00

Tabla F-1: APU grupo Pt. Elaboración: propia

Ítem	Cod	Descripción	Unidad	Cantidad
-----	-----	MORTERO 1:2 RHA10%	M3	1,00

2. Materiales

Descripción	Unidad	Cantidad	Desp.	Precio Unit.	Vr Unitario
CEMENTO GRIS	kg	605	5%	\$ 610,00	\$ 369.050,00
ARENA LAVADA DE RIO	M3	1,22	5%	\$ 35.000,00	\$ 42.700,00

Anexo I. Análisis de precios unitarios

AGUA	Lt	250	5%	\$ 6,00	\$ 1.500,00
RHA	kg	67	5%	\$ 3.000,00	\$ 201.000,00
SUBTOTAL					\$ 614.250,00

Tabla F-2: APU grupo Pt. Elaboración: propia

Ítem	Cod	Descripción	Unidad	Cantidad
-----	-----	MORTERO 1:2 RHA15%	M3	1,00

2. Materiales

Descripción	Unidad	Cantidad	Desp.	Precio Unit.	Vr Unitario
CEMENTO GRIS	kg	571	5%	\$ 610,00	\$ 348.310,00
ARENA LAVADA DE RIO	M3	1,22	5%	\$ 35.000,00	\$ 42.700,00
AGUA	Lt	250	5%	\$ 6,00	\$ 1.500,00
RHA	kg	101	5%	\$ 3.000,00	\$ 303.000,00
SUBTOTAL					\$ 695.510,00

Tabla F-3: APU grupo R15. Elaboración: propia

Ítem	Cod	Descripción	Unidad	Cantidad
-----	-----	MORTERO 1:2 RHA20%	M3	1,00

2. Materiales

Descripción	Unidad	Cantidad	Desp.	Precio Unit.	Vr Unitario
CEMENTO GRIS	kg	538	5%	\$ 610,00	\$ 328.180,00

Evaluación de las propiedades acústicas del mortero con reemplazo parcial de ceniza de cascarilla de arroz.

ARENA LAVADA DE RIO	M3	1,22	5%	\$ 35.000,00	\$ 42.700,00
AGUA	Lt	250	5%	\$ 6,00	\$ 1.500,00
RHA	kg	134	5%	\$ 3.000,00	\$ 402.000,00
SUBTOTAL					\$ 774.380,00

Tabla F-4: APU grupo R20. Elaboración: propia

Material	Referencia	Url
Cemento gris	Homecenter	https://www.homecenter.com.co/homecenter-co/product/13846/cemento-argos-gris-50kg/13846/
Arena lavada	Anduquia	Mortero 1:2 en Colombia (geztio.co)
Agua	Anduquia	Mortero 1:2 en Colombia (geztio.co)
RHA	Lombritenjo	Cascarillas de arroz - Lombricultura de Tenjo

Tabla F-5: Referencias de precios para la construcción de los APU's. Elaboración: propia