

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA  
LA MOLINA**

**ESCUELA DE POSGRADO  
MAESTRÍA EN CIENCIAS AMBIENTALES**



**“APROVECHAMIENTO DE ABRASIVOS USADOS EN  
PREPARACIÓN DE SUPERFICIES Y RESIDUOS DE  
CONSTRUCCIÓN PARA LA FABRICACIÓN DE  
ADOQUINES PARA PAVIMENTO”**

**Presentada por:**

**ESTRELLA DE BELEN PINTO PAREJA**

**TESIS PARA OPTAR EL GRADO DE MAESTRO  
MAGISTER SCIENTIAE EN CIENCIAS AMBIENTALES**

**Lima – Perú**

**2024**

# 231128 Tesis - Estrella Pinto

## INFORME DE ORIGINALIDAD

8%

INDICE DE SIMILITUD

4%

FUENTES DE INTERNET

5%

PUBLICACIONES

1%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

## FUENTES PRIMARIAS

1	<a href="http://digibug.ugr.es">digibug.ugr.es</a> Fuente de Internet	<1 %
2	<a href="http://moam.info">moam.info</a> Fuente de Internet	<1 %
3	<a href="http://repositorio.lamolina.edu.pe">repositorio.lamolina.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1 %
4	TALISMAN (PERU) S.A.R.L. SUCURSAL PERUANA. "PAP de la Perforación Exploratoria del Pozo Situche Norte 4X en el Lote 64-IGA0002605", R.D. N° 023-2014-MEM/AAE, 2021 Publicación	<1 %
5	Submitted to Universidad Tecnologica de los Andes Trabajo del estudiante	<1 %
6	<a href="http://ribuni.uni.edu.ni">ribuni.uni.edu.ni</a> Fuente de Internet	<1 %
7	<a href="http://zombiedoc.com">zombiedoc.com</a> Fuente de Internet	<1 %

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA  
LA MOLINA**

**ESCUELA DE POSGRADO  
MAESTRÍA EN CIENCIAS AMBIENTALES**

**“APROVECHAMIENTO DE ABRASIVOS USADOS EN  
PREPARACIÓN DE SUPERFICIES Y RESIDUOS DE  
CONSTRUCCIÓN PARA LA FABRICACIÓN DE  
ADOQUINES PARA PAVIMENTO”**

**TESIS PARA OPTAR EL GRADO DE MAESTRO  
MAGISTER SCIENTIAE**

**Presentada por:**

**ESTRELLA DE BELEN PINTO PAREJA**

**Sustentada y aprobada ante el siguiente jurado:**

Mg.Sc. Diego Suarez Ramos  
**PRESIDENTE**

Mg.Sc. Víctor Miyashiro Kiyari  
**ASESOR**

Mg.Sc. Armando Aramayo Bazzetti  
**MIEMBRO**

Mg.Sc. Wilfredo Baldeón Quispe  
**MIEMBRO**

## **DEDICATORIA**

*Dedico el presente trabajo de investigación a:*

*A mi padre Gerardo, por haberme brindado un gran ejemplo de perseverancia y sentido de responsabilidad; y haberme motivado a tener valor para vencer mis miedos y a siempre superarme.*

*A mi madre Antonia, por su apoyo, motivación constante y amor incondicional, aún en los momentos más difíciles.*

*A mis hermanos, por ser mis constantes compañeros e inspirarme a esforzarme cada día más para cumplir mis metas.*

## **AGRADECIMIENTOS**

*A mis padres, hermanos, abuelitos, tíos y primos; por haber estado a mi lado en los momentos más importantes y a su vez más tristes, apoyándome, dándome palabras de aliento que me han ayudado a crecer como persona.*

*A mi asesor de tesis, Mg.Sc. Víctor Miyashiro, por sus conocimientos, tiempo, dedicación y paciencia durante el desarrollo del trabajo de investigación.*

*A los miembros del jurador calificador, Mg.Sc. Armando Aramayo, Mg.Sc. Wilfredo Baldeón y Mg.Sc. Diego Suarez; por sus conocimiento, tiempo y soporte en el desarrollo, revisión y calificación del presente trabajo de investigación.*

*A mis profesores y amigos del Programa de Maestría en Ciencias Ambientales, por su gran apoyo, compañerismo y profesionalismo, los cuales fueron muy importantes para enriquecer mis estudios profesionales.*

*A mis compañeros de trabajo, quienes durante mis estudios estuvieron a mi lado apoyándome y me dieron las facilidades posibles para el desarrollo y culminación de mis estudios profesionales.*

## ÍNDICE GENERAL

<b>I. INTRODUCCIÓN</b>	<b>1</b>
<b>II. REVISIÓN DE LITERATURA</b>	<b>3</b>
2.1 Normativa nacional sobre gestión de residuos sólidos	3
2.2 Normativa internacional sobre gestión de residuos sólidos	4
2.3 Actividades de preparación de superficies	5
2.3.1 Situación actual de los residuos de abrasivos usados en preparación de superficies	7
2.3.2 Caracterización de los residuos de abrasivos usados en preparación de superficies con fines de reaprovechamiento	10
2.4 Residuos de construcción y demolición	15
2.4.1 Situación actual de los residuos de construcción	16
2.4.2 Caracterización de los residuos de construcción con fines de reaprovechamiento	21
2.5 Concreto	22
2.5.1 Diseño de mezcla	22
2.6 Aprovechamiento de residuos de abrasivos usados en preparación de superficies y residuos de la construcción	23
2.6.1 Potenciales ventajas del aprovechamiento de residuos de abrasivos usados en preparación de superficies y residuos de construcción para la fabricación de piezas de albañilería	23
2.6.2 Referencias para la caracterización de residuos de abrasivos usados en preparación de superficies para su uso como agregados para la fabricación de piezas de albañilería	24
2.6.3 Requisitos para la aceptación de piezas de albañilería fabricadas a base de residuos de abrasivos usados en preparación de superficies y residuos de construcción	25

2.6.4 Experiencias de aprovechamiento de residuos de abrasivos usados en preparación de superficies para la fabricación de concreto y/o piezas de albañilería	28
2.6.5 Experiencias de aprovechamiento de residuos de construcción y otros tipos de residuos para la fabricación de piezas de albañilería: caso adoquines para pavimento	31
<b>III. MATERIALES Y MÉTODOS</b>	<b>36</b>
3.1 Diseño de investigación	36
3.2 Lugar de ejecución	37
3.3 Población y muestra	37
3.4 Materiales y equipos	38
3.5 Métodos y procedimientos	39
3.5.1 Caracterización de los residuos de abrasivos usados en preparación de superficies	39
3.5.2 Caracterización de los agregados reciclados a base de residuos de construcción	41
3.5.3 Diseño de mezcla para la fabricación de adoquines para pavimento tipo I a base de agregados reciclados provenientes de residuos de construcción	43
3.5.4 Diseño de tratamientos de reemplazo con residuos de abrasivos (garnet) en adoquines para pavimento tipo I fabricados con agregados reciclados provenientes de residuos de construcción	50
3.5.5 Fabricación de adoquines para pavimento tipo I a base de agregados reciclados provenientes de residuos de construcción y residuos de abrasivos (garnet)	52
3.5.6 Ensayos de laboratorio para determinar el cumplimiento de los requisitos de calidad de los adoquines para pavimento tipo I a base de agregados reciclados provenientes de residuos de construcción y residuos de abrasivos (garnet)	53
3.5.7 Análisis estadístico de los resultados de los ensayos realizados a los adoquines para pavimento tipo I a base de agregados reciclados provenientes de residuos de construcción y residuos de abrasivos (garnet)	54
3.5.8 Estimación de costos de las alternativas de manejo de los residuos de abrasivos (garnet) y residuos de construcción	55

<b>IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b>	<b>56</b>
4.1 Caracterización de los residuos de abrasivos usados en preparación de superficies	56
4.1.1 Estadísticas de generación de residuos de abrasivo (garnet)	56
4.1.2 Caracterización química de residuos de abrasivo (garnet)	57
4.1.3 Caracterización física de residuos de abrasivo (garnet)	60
4.2 Caracterización de los agregados reciclados a base de residuos de construcción	62
4.2.1 Estadísticas de generación de residuos de residuos de construcción	62
4.2.2 Caracterización química de los agregados reciclados a base de residuos de construcción	63
4.2.3 Caracterización física de los agregados reciclados a base de residuos de construcción	65
4.3 Diseño de mezcla para la fabricación de adoquines para pavimento tipo I a base de agregados reciclados provenientes de residuos de construcción	67
4.4 Diseño de tratamientos de reemplazo con residuos de abrasivos (garnet) en adoquines para pavimento tipo I fabricados con agregados reciclados provenientes de residuos de construcción	72
4.5 Ensayos de laboratorio para determinar el cumplimiento de los requisitos de calidad de los adoquines para pavimento tipo I fabricados con agregados reciclados provenientes de residuos de construcción y residuos de abrasivos (garnet)	74
4.5.1 Ensayo de variación dimensional	74
4.5.2 Ensayo de resistencia a la compresión	76
4.5.3 Ensayo de absorción de 24 horas	82
4.6 Análisis estadístico de los resultados de los ensayos de laboratorio realizados a los adoquines para pavimento tipo I fabricados con agregados reciclados provenientes de residuos de construcción y residuos de abrasivos (garnet)	85
4.6.1 Comprobación de hipótesis específica 1	85
4.6.2 Comprobación de hipótesis específica 2	95
4.6.3 Comprobación de hipótesis específica 3	101
4.6.4 Comprobación de hipótesis general	104
4.7 Estimación de costos de las alternativas de manejo de los residuos de abrasivos (garnet) y residuos de construcción	105

<b>V. CONCLUSIONES</b>	<b>108</b>
<b>VI. RECOMENDACIONES</b>	<b>111</b>
<b>VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	<b>114</b>
<b>VIII. ANEXOS</b>	<b>125</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

Cuadro 1: Concentraciones máximas de contaminantes para la caracterización de toxicidad	11
Cuadro 2: Estándares de Calidad Ambiental para Suelo	13
Cuadro 3: Criterios de calidad del recurso	14
Cuadro 4: Infraestructuras de valorización de residuos de construcción a nivel nacional	17
Cuadro 5: Rellenos sanitarios a nivel nacional que reciben residuos de construcción	18
Cuadro 6: Escombreras autorizadas a nivel nacional	20
Cuadro 7: Escombreras con infraestructuras de valorización a nivel nacional	20
Cuadro 8: Otras infraestructuras de recepción de residuos de construcción a nivel nacional	21
Cuadro 9: Valores de espesor nominal y resistencia a la compresión	26
Cuadro 10: Tolerancia dimensional	26
Cuadro 11: Valores de absorción	27
Cuadro 12: Referencia de los métodos de ensayo empleados	40
Cuadro 13: Referencia de los métodos de ensayo empleados	41
Cuadro 14: Resistencia a la compresión promedio	44
Cuadro 15: Valores de asentamiento	44
Cuadro 16: Requisitos aproximados de agua de mezcla y contenido de aire para diferentes valores de asentamiento y tamaños máximos nominales del agregado	45
Cuadro 17: Relación agua/cemento por resistencia a la compresión	47
Cuadro 18: Volumen de agregado grueso por unidad de volumen de concreto	48
Cuadro 19: Tratamientos de prueba para la fabricación de adoquines para pavimento	50
Cuadro 20: Fechas de fabricación de los adoquines para pavimento	53
Cuadro 21: Referencia de los métodos de ensayo empleados	54
Cuadro 22: Composición del material abrasivo: Garnet GMA ExtremeBlast™	57

Cuadro 23: Caracterización de peligrosidad de residuos de abrasivos	58
Cuadro 24: Propiedades físicas del material abrasivo: Garnet GMA ExtremeBlast™	60
Cuadro 25: Caracterización granulométrica de residuos de abrasivos	61
Cuadro 26: Caracterización física de residuos de abrasivos	62
Cuadro 27: Caracterización de peligrosidad de los agregados reciclados a base de residuos de construcción	64
Cuadro 28: Caracterización granulométrica de agregado reciclado fino a base de residuos de la construcción	65
Cuadro 29: Caracterización granulométrica de agregado reciclado grueso (confitillo) a base de residuos de la construcción	66
Cuadro 30: Caracterización física de los agregados reciclados	67
Cuadro 31: Diseño de mezcla para 1m <sup>3</sup> de concreto por cada tratamiento de prueba para la fabricación de adoquines para pavimento	73
Cuadro 32: Diseño de mezcla para 0.025m <sup>3</sup> de concreto por cada tratamiento de prueba para la fabricación de adoquines para pavimento	73
Cuadro 33: Análisis de variación dimensional en adoquines para pavimento	75
Cuadro 34: Resultados descriptivos de los adoquines ensayados a los 7 días de curado	86
Cuadro 35: Análisis de la corroboración de la distribución normal de la variable aleatoria (media de resultados de resistencia a la compresión) de los adoquines ensayados a los 7 días de curado	87
Cuadro 36: Análisis de los resultados de la prueba de homogeneidad de varianzas aplicando el estadístico de Levene para la comparación de los resultados obtenidos de resistencia a la compresión de los adoquines ensayados a los 7 días de curado	87
Cuadro 37: Análisis de la prueba de hipótesis aplicando ANOVA de un factor para los resultados obtenidos de resistencia a la compresión de los adoquines ensayados a los 7 días de curado	88
Cuadro 38: Resultados descriptivos de los adoquines ensayados a los 14 días de curado	89
Cuadro 39: Análisis de la corroboración de la distribución normal de la variable aleatoria (media de resultados de resistencia a la compresión) de los adoquines ensayados a los 14 días de curado	90

Cuadro 40: Análisis de los resultados de la prueba de homogeneidad de varianzas aplicando el estadístico de Levene para la comparación de los resultados obtenidos de resistencia a la compresión de los adoquines ensayados a los 14 días de curado	90
Cuadro 41: Análisis de la prueba de hipótesis aplicando ANOVA de un factor para los resultados obtenidos de resistencia a la compresión de los adoquines ensayados a los 14 días de curado	91
Cuadro 42: Resultados descriptivos de los adoquines ensayados a los 28 días de curado	92
Cuadro 43: Análisis de la corroboración de la distribución normal de la variable aleatoria (media de resultados de resistencia a la compresión) de los adoquines ensayados a los 28 días de curado	93
Cuadro 44: Análisis de los resultados de la prueba de homogeneidad de varianzas aplicando el estadístico de Levene para la comparación de los resultados obtenidos de resistencia a la compresión de los adoquines ensayados a los 28 días de curado	93
Cuadro 45: Análisis de la prueba de hipótesis aplicando ANOVA de un factor para los resultados obtenidos de resistencia a la compresión de los adoquines ensayados a los 28 días de curado	94
Cuadro 46: Resultados descriptivos de los adoquines ensayados a los 7 días de curado	95
Cuadro 47: Análisis de la corroboración de la distribución normal de la variable aleatoria (media de resultados de absorción) de los adoquines ensayados a los 7 días de curado	96
Cuadro 48: Análisis de los resultados de la prueba de homogeneidad de varianzas aplicando el estadístico de Levene para la comparación de los resultados obtenidos de absorción de los adoquines ensayados a los 7 días de curado	97
Cuadro 49: Análisis de la prueba de hipótesis aplicando ANOVA de un factor para los resultados obtenidos de absorción de los adoquines ensayados a los 7 días de curado	97
Cuadro 50: Resultados descriptivos de los adoquines ensayados a los 28 días de curado	98
Cuadro 51: Análisis de la corroboración de la distribución normal de la variable aleatoria (media de resultados de absorción) de los adoquines ensayados a los 28 días de curado	99

Cuadro 52: Análisis de los resultados de la prueba de homogeneidad de varianzas aplicando el estadístico de Levene para la comparación de los resultados obtenidos de absorción de los adoquines ensayados a los 28 días de curado	100
Cuadro 53: Análisis de la prueba de hipótesis aplicando ANOVA de un factor para los resultados obtenidos de absorción de los adoquines ensayados a los 28 días de curado	101
Cuadro 54: Resultados descriptivos de los adoquines ensayados	102
Cuadro 55: Análisis de la corroboración de la distribución normal de la variable aleatoria (media de resultados de análisis dimensional) de los adoquines ensayados	103
Cuadro 56: Análisis de los resultados de la prueba de homogeneidad de varianzas aplicando el estadístico de Levene para la comparación de los resultados obtenidos de análisis dimensional de los adoquines ensayados	103
Cuadro 57: Análisis de la prueba de hipótesis aplicando ANOVA de un factor para los resultados obtenidos de análisis dimensional de los adoquines ensayados	104
Cuadro 58: Costos unitarios de adoquines para pavimentos	107

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Preparación de superficies mediante la técnica de chorro abrasivo seco o arenado	6
Figura 2: Preparación de superficies mediante la técnica de chorro abrasivo húmedo o hidroarenado	6
Figura 3: Residuos de garnet	7
Figura 4: Residuos de escoria de cobre	7
Figura 5: Proceso de arenado en un astillero del Callao, Perú	8
Figura 6: Superficie de suelo desnudo cubierta con una capa de residuos de abrasivos usados en preparación de superficie mediante la técnica del chorro abrasivo húmedo	9
Figura 7: Coberturado y sistema de extracción de polvos en la estructura donde se realizan trabajos de preparación de superficie mediante la técnica del chorro abrasivo seco	9
Figura 8: Residuos de acopiados para disposición final	9
Figura 9: Adoquines de concreto	24
Figura 10: Generación anual de residuos de abrasivos	57
Figura 11: Generación anual de residuos de construcción	63
Figura 12: Valores individuales de resistencia a la compresión en adoquines patrón a 7, 14 y 28 días	77
Figura 13: Valores individuales de resistencia a la compresión en adoquines fabricados con reemplazos de residuos de abrasivos mediante la técnica del chorro abrasivo seco a 7, 14 y 28 días	78
Figura 14: Valores individuales de resistencia a la compresión en adoquines fabricados con reemplazos de residuos de abrasivos mediante la técnica del chorro abrasivo húmedo a 7, 14 y 28 días	79
Figura 15: Valores individuales de resistencia a la compresión en los diferentes tratamientos de adoquines a 7, 14 y 28 días	80

Figura 16: Valores promedio de resistencia a la compresión en adoquines a 7, 14 y 28 días	81
Figura 17: Valores individuales de absorción de 24 horas en adoquines para pavimento a 7 y 28 días	83
Figura 18: Valores promedio de absorción de 24 horas en adoquines para pavimento a 7 y 28 días	84

## ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO 1: Matriz de operacionalización de las variables	126
ANEXO 2: Matriz de consistencia del proyecto de investigación	127
ANEXO 3: Requisitos granulométricos para agregado fino y agregado grueso	128
ANEXO 4: Plano de ubicación de las instalaciones del Laboratorio N°1 de Ensayo de Materiales “Ing. Manuel Gonzáles De La Coterá”	129
ANEXO 5: Panel fotográfico de los principales materiales empleados	130
ANEXO 6: Estadística de manejo de residuos de abrasivo (garnet)	131
ANEXO 7: Estadística de manejo de residuos de construcción	132
ANEXO 8: Registro fotográfico del proceso de fabricación de adoquines para pavimento	133
ANEXO 9: Ficha de datos de seguridad del GMA ExtremeBlast™	136
ANEXO 10: Informes de ensayo de residuos de abrasivos y agregados reciclados a base de residuos de construcción - Laboratorio ALS LS PERÚ S.A.C.	148
ANEXO 11: Informes de ensayo de residuos de abrasivos - Laboratorio N°1 de Ensayo de Materiales	162
ANEXO 12: Informes de ensayo de agregados reciclados a base de residuos de construcción - Laboratorio N°1 de Ensayo de Materiales	169
ANEXO 13: Informe de diseño de mezcla verificado – Laboratorio N°1 de Ensayo de Materiales	175
ANEXO 14: Análisis de tolerancia dimensional de los adoquines para pavimento fabricados	180
ANEXO 15: Informes de ensayos de resistencia a la compresión en adoquines para pavimento – Laboratorio N°1 de Ensayo de Materiales	181
ANEXO 16: Informes de ensayos de absorción de 24 horas en adoquines para pavimento – Laboratorio N°1 de Ensayo de Materiales	184
ANEXO 17: Costos de transporte externo y disposición final como residuo no peligroso para los residuos de abrasivos	187

ANEXO 18: Costos de transporte externo, disposición final como residuo no peligroso y valorización de los residuos de construcción	188
ANEXO 19: Costos de fabricación de adoquines para pavimento con agregados reciclados provenientes de residuos de construcción y reemplazos de residuos de abrasivos (garnet)	188

## RESUMEN

La presente investigación nació con la finalidad de poder encontrar una alternativa, diferente a la disposición final en un relleno sanitario, para los residuos de abrasivos usados en preparación de superficie, buscando incorporarlos a un proceso productivo que permita la transición hacia la economía circular de este recurso. Dado que se cuenta con experiencias exitosas del empleo de diferentes tipos de residuos como insumos para la fabricación de unidades de albañilería, se propuso explorar la posibilidad de que los residuos de abrasivos (tipo garnet) usados en preparación de superficie mediante la técnica de chorro abrasivo seco y chorro abrasivo húmedo puedan ser usados como reemplazo parcial de agregados finos para la fabricación de adoquines para pavimento tipo I. Para ello, haciendo uso del método ACI 211, se diseñó un adoquín para pavimento tipo I a base de agregados reciclados provenientes de residuos de construcción, al cual se le realizaron reemplazos del 15, 30 y 50 por ciento; respectivamente, de los agregados finos reciclados por residuos de abrasivos (garnet) usados en preparación de superficie mediante la técnica de chorro abrasivo seco y chorro abrasivo húmedo, respectivamente; contando así con siete tratamientos en total. A continuación, de acuerdo con la NTP 399.611, se realizaron los ensayos de resistencia a la compresión (a los 7, 14 y 28 días), absorción (a los 7 y 28 días) y dimensionamiento; a fin de poder determinar si los adoquines fabricados cumplían con los requerimientos mínimos de calidad para su empleo. Finalmente, se determinó que únicamente el diseño de adoquín con 50 por ciento de reemplazo del agregado reciclado fino por residuos de abrasivos (garnet) proveniente de la técnica del chorro abrasivo húmedo superó la resistencia de 340 kg/cm<sup>2</sup>, así como el criterio de tolerancia dimensional permitidos de acuerdo con lo indicado en la NTP 399.611.

### **Palabras Clave:**

Residuos de construcción, abrasivos, adoquín, resistencia a la compresión, absorción y NTP.

## **ABSTRACT**

This research was born to find an alternative, different from the final disposal in a landfill, for spent abrasive used in surface preparation, seeking to incorporate it into a production process that allows the transition to the circular economy of this resource. Given that there are successful experiences of the use of different types of waste as inputs for the manufacture of masonry units, it was proposed to explore the possibility that spent abrasive (such as garnet) used in surface preparation through techniques such as dry abrasive blasting and wet abrasive blasting can be used as a partial replacement of fine aggregates for the manufacture of type I paving stones. To this end, using the ACI 211 method, a type I paving stone was designed using recycled aggregates from construction waste, being later the recycled fine aggregates replaced by 15, 30 and 50 percent; respectively, with spent abrasive (garnet) used in surface preparation by dry abrasive blasting and wet abrasive blasting techniques, respectively; thus counting on seven treatments in total. Then, according to NTP 399.611, compressive strength (at 7, 14 and 28 days), absorption (at 7 and 28 days) and dimensional tolerance tests were performed; in order to be able to determine if the manufactured paving stones met the minimum quality requirements for their use. Finally, it was determined that only the paving stones with 50 percent replacement of the fine recycled aggregate by spent abrasive (garnet) from the wet abrasive blasting technique exceeded the resistance of 340 kg/cm<sup>2</sup>, as well as the dimensional tolerance criteria allowed according to NTP 399.611.

### **Keywords:**

Construction waste, abrasives, paving stone, compressive strength, absorption and NTP.

## I. INTRODUCCIÓN

La preparación de superficies haciendo uso de abrasivos es una técnica cuyo objetivo es preparar las superficies con el fin de lograr un excelente nivel de limpieza y acabado superficial para la posterior aplicación de revestimientos tales como pinturas. Esta técnica utiliza fuerzas mecánicas para propulsar medios abrasivos tales como arena, garnet, escorias, etc., hacia las superficies a intervenir y es usualmente empleada en un sinnúmero de ámbitos, siendo los principales, el sector naviero, aeronáutico, metalmecánico e industrial.

Algunas de las técnicas de preparación de superficie más usadas son el chorro abrasivo seco, también conocido como arenado y el chorro abrasivo húmedo, también conocido como hidroarenado; las cuales además de los impactos ambientales que pueden generar, pueden suponer también riesgos para la seguridad y salud de los trabajadores. Entre los principales aspectos ambientales de dichas actividades se encuentran la generación de ruido proveniente de los equipos empleados, la liberación de material particulado (en caso la actividad se realice al aire libre o no se haya realizado un correcto encapsulado del área de trabajo), el consumo de agua (en el caso del hidroarenado) y la generación de residuos, principalmente material abrasivo usado el cual si bien, dependiendo del tipo de abrasivo seleccionado, puede ser reciclado varias veces mejorando así la eficiencia del uso del recurso, eventualmente es desechado debido a su pérdida de rendimiento, lo cual se traduce en grandes volúmenes de residuos en el área de trabajo los cuales no solo representan un problema debido a los costos asociados a su manejo, sino que también añaden presión adicional a las infraestructuras de disposición de residuos sólidos.

Siendo el manejo adecuado y eficiente de los residuos sólidos industriales una preocupación a nivel mundial que debe ser abordada en todos los niveles posibles de acción, involucrando a la sociedad civil, empresas privadas, autoridades y entes de gobierno; impulsando el desarrollo de iniciativas que permitan la minimización en la fuente de los residuos, el reciclaje y el reaprovechamiento de los mismos como materia prima o fuente de energía tomando como base un enfoque de economía circular; se han realizado diversos estudios

alrededor del mundo explorando el uso de materiales de desecho de diversos tipos como reemplazo parcial o total de los agregados vírgenes requeridos en el proceso de fabricación de piezas de concreto bajo la premisa que su aprovechamiento no solo es beneficioso desde el enfoque ambiental al reducir la cantidad de residuos que son dispuestos en infraestructuras de disposición final; sino también porque minimiza la necesidad de extraer materiales vírgenes, pudiendo llegar a tener beneficios económicos colaterales también.

En relación con lo anterior mencionado, existen varias experiencias donde se ha demostrado que los residuos de construcción y demolición pueden ser usados como agregados para diferentes mezclas con fines constructivos, siendo una de las aplicaciones más comunes la fabricación de unidades de albañilería como ladrillos o adoquines (Consamollo, 2019). Con respecto al reaprovechamiento de residuos de abrasivos usados, como el garnet o escoria de cobre (dos de los abrasivos más usados en actividades de preparación de superficies), ello es un campo aún no muy explorado; sin embargo, el estudio realizado Shukor *et al* (2020), demuestra que el garnet usado puede ser empleado hasta en una proporción del 50 por ciento como reemplazo de los agregados finos requeridos para la mezcla de mortero, mostrando resultados comparables a los obtenidos con una mezcla convencional preparada usando materiales vírgenes, lo cual serviría de base para partir en la búsqueda de otras alternativas similares de reaprovechamiento dentro del rubro de la albañilería.

En base a lo anterior expuesto, el objetivo general de la presente investigación fue evaluar la factibilidad del aprovechamiento de residuos de abrasivos usados en preparación de superficies mediante las técnicas de chorro abrasivo seco y húmedo y residuos de construcción para la fabricación de adoquines para pavimento tipo I. Asimismo, se establecieron como objetivos específicos determinar las características químicas y físicas de los residuos de abrasivos generados en una planta industrial en la costa sur del Perú, determinar las propiedades mecánicas de los residuos de abrasivos y residuos de construcción para su uso como agregados para la fabricación de adoquines para pavimento tipo I, evaluar la proporción de residuos de abrasivos que puede ser empleada junto con residuos de construcción para la fabricación de adoquines para pavimento tipo I que cumplan con los requerimientos mínimos de calidad y estimar las ventajas económicas de aprovechar los residuos de abrasivos usados y residuos de construcción para la fabricación de adoquines para pavimento frente a su disposición en infraestructuras de disposición de residuos.

## **II. REVISIÓN DE LITERATURA**

### **2.1 NORMATIVA NACIONAL SOBRE GESTIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS**

El Decreto Legislativo N°1278, el cual aprueba la Ley de Gestión Integral de Residuos Sólidos, establece que la primera finalidad en el país para la gestión integral de los residuos sólidos es la minimización o prevención de la generación de estos en la fuente, frente a cualquier otra opción. Luego, con referencia a los residuos ya generados, se opta por la valorización energética y material, así como por la recuperación de los residuos. Entre las alternativas con la que se cuenta se consideran el reúso, reciclaje, compostaje, coprocesamiento, entre otras; siempre que se asegure la protección del medio ambiente y la salud de las personas. Finalmente, se indica que la disposición final de los residuos sólidos en infraestructuras destinadas para tal fin debería constituir la última alternativa de manejo y realizarse en condiciones ambientalmente adecuadas. Asimismo, dicho documento también introduce el principio de “economía circular”, entendido como la consideración de todo el ciclo de vida de los productos procurándose, de manera eficiente, la regeneración y recuperación de los diferentes recursos dentro del ciclo técnico o biológico, según aplique.

El Decreto Supremo N°002-2022-VIVIENDA, el cual aprueba el Reglamento de Gestión y Manejo de Residuos Sólidos de la Construcción y Demolición, establece que los residuos generados durante el desarrollo de obras de infraestructuras, edificaciones y/o habilitaciones urbanas deben ser manejados y gestionados priorizando su valorización y, como última alternativa, considerar su disposición final. Es así como este Reglamento reconoce la necesidad de establecer mecanismos que permitan el aprovechamiento de este tipo de residuos, permitiendo reducir el volumen que debe ser dispuesto y a su vez la posibilidad de sustituir el uso de materiales que provienen de la explotación de recursos naturales. Por otro lado, cabe resaltar que este documento establece que los productos que sean obtenidos valorizando estos residuos, como podrían ser piezas de albañilería, deben satisfacer los requisitos técnicos que correspondan de acuerdo con el uso para el cual vayan a ser destinados.

Cabe destacar que el Ministerio de la Producción, entidad competente en acuicultura, pesquería, industria, micro y pequeña empresa y comercio interno; aprobó mediante Decreto Supremo N°237-2019-EF, el Plan Nacional de Competitividad y Productividad, estableciendo su Medida de Política N°9.3 denominada: “Economía Circular y Acuerdo de Producción Limpia en los sectores industria, pesca y agricultura”, considerándose como parte del enfoque 3, el aprovechamiento de material de descarte y gestión de residuos industriales, brindando así un punto de partida para realizar la evaluación e incorporación de estos temas como parte de la agenda Ambiental de las diferentes industrias (PRODUCE, 2020).

A fin de poder impulsar el intercambio de conocimiento y promover el desarrollo de investigaciones en el país con miras a enfrentar los desafíos de la gestión ambiental, el Ministerio del Ambiente preparó en el año 2013 el documento titulado Agenda de Investigación Ambiental 2013-2021, donde se señala que uno de los ejes temáticos prioritarios para la gestión ambiental en el país es la Gestión de la Calidad Ambiental, siendo uno de sus componentes claves los residuos sólidos peligrosos y no peligrosos. Es precisamente para este último componente que se define el eje temático de aprovechamiento de residuos sólidos, el cual tiene especial relevancia dado que apuntaría al desarrollo investigaciones ambientales (básicas o aplicadas) con el fin de diseñar y evaluar alternativas que permitan prevenir la disposición de residuos en infraestructuras destinadas para dicho fin (MINAM, 2013).

## **2.2 NORMATIVA INTERNACIONAL SOBRE GESTIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS**

La Directiva Marco sobre Residuos Sólidos (Waste Framework Directive) de la Unión Europea establece los conceptos y definiciones básicos relacionados con la gestión de residuos, indicando los principios que deben regir el manejo de residuos, los cuales son: (1) no poner en riesgo la salud humana ni el medio ambiente, (2) no poner en riesgo las fuentes de agua, aire, suelo, plantas o animales, (3) no causar molestias debido a ruido u olores y (4) no afectar adversamente el paisaje o lugares de especial interés. Asimismo, toma como fundamento la “jerarquía de manejo de residuos”, la cual establece las preferencias para su manejo y disposición, debiendo ser la prevención la alternativa deseable y la disposición de los residuos en alguna infraestructura de disposición final, la última alternativa a considerar (Directorate General Environment - European Commission, s.f.).

Adicionalmente, la Directiva 2008/98/EC de la Unión Europea ha fijado algunos criterios para especificar cuando un residuo deja de serlo (conocido como end-of-waste criteria, en inglés) y se convierte en un producto en una materia prima secundaria toda vez que ha pasado por procesos de recuperación (como puede ser el reciclaje) y cumple con ciertos criterios como: (a) la sustancia u objeto es usado para propósitos específicos, (b) existe un mercado o demanda para la sustancia u objeto, (c) el uso es lícito y la sustancia u objeto cumplen los requisitos técnicos para los fines específicos a los que se van a destinar así como la legislación y las normas vigentes aplicables a los productos, y (d) el uso no debe dar lugar a impactos adversos al medio ambiente o a la salud. Estos criterios deberán ser tomados como referencia cuando se plantee un modelo para el reaprovechamiento de cualquier residuo con miras a evitar su disposición final.

### **2.3 ACTIVIDADES DE PREPARACIÓN DE SUPERFICIE**

El tratamiento superficial por impacto, también conocido como preparación de superficie por chorro abrasivo, es usado por un sinnúmero de industrias con el fin de lograr un excelente nivel de limpieza y acabado superficial para la posterior aplicación de revestimientos (pinturas) (Abrasive blasting Code of practice 2021).

Una adecuada preparación de superficies depende de diversos factores como: (a) el tipo de superficie a ser tratada (acero inoxidable, acero al carbono, aluminio u otras), (b) del tipo y características del revestimiento a aplicar (espesor, dureza, etc.), (c) del tipo de máquina a ser usada (por aire comprimido o inyección de agua), y (d) del tipo de abrasivo utilizado en el proceso (CYM Materiales S.A., s.f.b).

La preparación de superficie mediante chorro abrasivo es comúnmente conocida como “arenado” dado que por mucho tiempo se empleó arena de sílice como material abrasivo, aunque en la actualidad existen varios materiales que son usados en esta actividad, cada uno de ellos con sus correspondientes ventajas y desventajas. La técnica más comúnmente empleada es el chorro abrasivo seco (Figura 1), la cual implica el uso de equipos de aire comprimido para impulsar a gran velocidad una corriente de partículas del tamaño de la arena para de esa manera limpiar la superficie de metales o estructuras de hormigón (Centers for Disease Control and Prevention, s.f.). Este proceso es principalmente empleado en estructuras complejas o de gran porte (CYM Materiales S.A., s.f.b). Por otro lado, se tiene

también la técnica de chorro abrasivo húmedo o hidroarenado (Figura 2), la cual mantiene el mismo principio que el chorro abrasivo seco tradicional con la particularidad que la propulsión de agua a alta presión a través de una boquilla de proyección permite efectuar limpiezas de alta calidad, disminuyendo la generación de polvos y haciendo esta técnica ideal para zonas de difícil acceso (CYM Materiales S.A., s.f.b).



**Figura 1: Preparación de superficies mediante la técnica de chorro abrasivo seco o arenado**



**Figura 2: Preparación de superficies mediante la técnica de chorro abrasivo húmedo o hidroarenado**

Dos de los abrasivos más usados comercialmente son:

- Garnet: grupo de minerales silicatos con similar estructura cristalina y composición química. El garnet usado como abrasivo es llamado Almandite ( $(\text{FeMg})_3\text{Al}_2(\text{SiO})_4$ ), siendo un producto natural químicamente inactivo sin ningún componente tóxico ni cuarzo. La dureza y forma del garnet lo convierte en un abrasivo agresivo, que puede ser reciclado hasta unas 5 veces (CYM Materiales S.A., s.f.).
- Escoria de cobre: subproducto formado por impurezas contenidas en los metales o los minerales en el momento de la fusión, la soldadura y otros procesos metalúrgicos y de combustión, tales como las escorias de cobre. Puede ser seleccionado de acuerdo con el trabajo a realizar, tomando como criterios de selección el tamaño de la partícula, así como la dureza en determinados rangos. Es un material altamente

reciclable y el polvo producido en la operación es básicamente el resultado de los materiales removidos sobre la superficie a tratar (CYM Materiales S.A., s.f.)



**Figura 3: Residuos de garnet**



**Figura 4: Residuos de escoria de cobre**

### **2.3.1 SITUACIÓN ACTUAL DE LOS RESIDUOS DE ABRASIVOS USADOS EN PREPARACIÓN DE SUPERFICIES**

El chorro abrasivo puede tener varios peligros asociados en un momento dado ya que, si el proceso no está completamente aislado del operador, los polvos respirables son un riesgo muy grande para la salud, especialmente si éstos tienen contenido de sílice. Adicionalmente, cuando se realiza esta actividad con el fin de eliminar la pintura a base de plomo en infraestructura de acero o similares, se pueden generar partículas de plomo que representan un riesgo para el sistema nervioso. Finalmente, además de los posibles peligros para la salud, el chorro abrasivo también puede significar algunos impactos ambientales debido a que este proceso normalmente produce una gran cantidad de polvo del abrasivo, ya sea producto de la fragmentación del material que se está usando o como parte de la abrasión de la superficie que viene siendo trabajada, el cual si no es manejado a través de coberturas o sistemas de colección o recuperación de polvos, puede esparcirse en las áreas aledañas y depositarse en el suelo o cursos de agua (Centers for Disease Control and Prevention, s.f.). Más importante aún resulta la generación de residuos que esta actividad conlleva y el consecuente trabajo para su recuperación, transporte y disposición final. Si bien la gran diversidad de materiales que pueden ser usados como abrasivos y la necesidad de minimizar el consumo de materiales

y consecuente generación de residuos ha permitido establecer prácticas de reúso de éstos últimos con el objetivo de prolongar su tiempo de vida; la generación de residuos procedente de esta actividad sigue siendo un factor importante para tomar en consideración desde el enfoque ambiental (The EcoEfficiency Group, 2012). En la figura 5 pueda apreciarse la gran cantidad de material de arenado generado en las actividades de mantenimiento en dique de dos embarcaciones en un astillero del Callao, Perú.



**Figura 5: Proceso de arenado en un astillero del Callao, Perú**

**Fuente:** Chirinos, G. & Hidalgo, A., 2019

Si bien no se cuentan con datos exactos sobre la generación de residuos de abrasivos, toda vez que la tasa de generación es variable, se tiene que solo en los años 90 se estima que el Grupo Astilleros Españoles consumía aproximadamente 60,000ton/año de abrasivos (granalla más escoria de mineral de cobre), produciéndose grandes cantidades de este material residual, los cuales representaban un problema por la falta de vertederos de material inerte de gran capacidad en las zonas próximas de dichas instalaciones (Colegio Oficial de Ingenieros Navales y Oceánicos, s.f.). Gorrill *et al* (2003), citados por Mokhtar *et al* (2022), señalaron que el consumo industrial de garnet a nivel mundial en el año 2002 habría sido de 440,000ton/año, información que resalta la importancia de establecer estrategias para el

manejo adecuado de los residuos de estos abrasivos, buscando asimismo la disminución del consumo de recursos naturales.

Con respecto al manejo ambiental de los residuos, se debe asegurar que: (a) todo el material residual sea recogido al término de cada operación de chorro abrasivo, (b) las áreas de trabajo se encuentren adecuadamente encapsuladas con el propósito de minimizar la dispersión del material hacia áreas aledañas a la zona de trabajo y (c) todo el material residual debe ser dispuesto en un relleno sanitario apropiado o en una instalación de tratamiento de residuo autorizada Environmental Protection - Abrasive Blasting – Regulations, 2004).



**Figura 6: Superficie de suelo desnudo cubierta con una capa de residuos de abrasivos usados en preparación de superficie mediante la técnica del chorro abrasivo húmedo**



**Figura 7: Coberturado y sistema de extracción de polvos en la estructura donde se realizan trabajos de preparación de superficie mediante la técnica del chorro abrasivo seco**



**Figura 8: Residuos de abrasivos acopiados para disposición final**

### **2.3.2 CARACTERIZACIÓN DE LOS RESIDUOS DE ABRASIVOS USADOS EN PREPARACIÓN DE SUPERFICIES CON FINES DE REAPROVECHAMIENTO**

A fin de poder definir las alternativas para el manejo de los residuos sólidos es necesario establecer, en primer lugar, si poseen alguna de las características de peligrosidad establecidas en el artículo 30 del Decreto Legislativo n°1278, las cuales son: explosividad, autocombustibilidad, reactividad, radioactividad, corrosividad, toxicidad o patogenicidad. Preliminarmente, y tomando como base la información contenida en los anexos del Decreto Supremo n°014-2017-MINAM, se podría afirmar que los dos abrasivos mencionados anteriormente (escoria de cobre y garnet) estarían incluidos dentro del “Anexo V – Lista B: Residuos No Peligrosos – B2 Residuos que contengan principalmente constituyentes inorgánicos, que a su vez puedan contener metales y materiales orgánicos”, dado que en la “categoría B2040 Otros desperdicios que contengan principalmente constituyentes inorgánicos”, en su ítem iii, se encontrarían incluidas las “escorias de la producción de cobre químicamente estabilizadas, con un elevado contenido de hierro (más del 20 por ciento) y elaboradas de conformidad con las especificaciones industrial (DIN 4301 y DIN 8201) principalmente con fines de construcción y de abrasión” (MINAM, 2017). En dicho anexo, si bien no existe alguna categoría que haga referencia directa a los residuos de garnet generados debido a las actividades de abrasión o preparación de superficies, tomando en cuenta las similitudes físicas, mecánicas y funcionales de este material con la escoria de cobre, podría considerarse dentro de la categoría mencionada anteriormente.

Por otro lado, y a fin de establecer las características de toxicidad de los residuos, existen una serie de evaluaciones que los generadores de éstos pueden aplicar con el propósito de poder caracterizarlos y, de esa manera, realizar la gestión adecuada de los mismos.

Una de estas evaluaciones, establecida en la publicación SW-846 “Test Methods for Evaluating Solid Waste, Physical/Chemical Methods” de la Environmental Protection Agency (EPA por sus siglas en inglés) de los Estados Unidos de Norteamérica, es el test Method 1311 – “Toxicity Characteristic Leaching Procedure” (TCLP por sus siglas en inglés); el cual está diseñado para simular las condiciones que se dan en un relleno sanitario donde, a través del tiempo, se tiene que el agua y otros líquidos percolan a través de éste reaccionando frecuentemente con los residuos sólidos ahí contenidos, pudiendo representar ello un riesgo al medio ambiente y a la salud pública debido a los contaminantes orgánicos

e inorgánicos que podrían estar en movimiento. De este modo, se tiene que un residuo sólido exhibirá las características de toxicidad, definida como la asignación de un código de residuo peligroso de acuerdo al Code of Federal Regulations (CFR por sus siglas en inglés) establecido en el Resource Conservation and Recovery Act (RCRA por sus siglas en inglés) 40 CFR Part 261 del D004 hasta el D052; y será considerado como un residuo peligroso, si empleando el Toxicity Characteristic Leaching Procedure en el extracto de una muestra representativa de dicho residuo, ésta presenta alguno de los 40 contaminantes listados en el cuadro 1 – Concentraciones máximas de contaminantes para la caracterización de toxicidad, en concentraciones iguales o mayores que los respectivos valores dados en el cuadro.

**Cuadro 1: Concentraciones máximas de contaminantes para la caracterización de toxicidad**

Contaminante	EPA HW No.	Nivel regulatorio (mg/L)
Arsénico	D004	5
Bario	D005	100
Benceno	D018	0.5
Cadmio	D006	1
Tetracloruro de carbono	D019	0.5
Clordano	D020	0.03
Clorobenceno	D021	100
Cloroformo	D022	6
Cromo	D007	5
o-cresol	D023	200
m-cresol	D024	200
p-cresol	D025	200
Cresol	D026	200
2,4-D	D016	10
1,4-Diclorobenceno	D027	7.5
1,2-Diclorobenceno	D028	0.5
1,1-Dicloroetileno	D029	0.7
2,4-Dinitrotolueno	D030	0.13
Endrina	D012	0.02

### Continuación

Contaminante	EPA HW No.	Nivel regulatorio (mg/L)
Heptacloro (y su epóxido)	D031	0.008
Hexaclorobenceno	D032	0.13
Hexaclorobutadieno	D033	0.5
Hexacloroetano	D034	3
Plomo	D008	5
Lindano	D013	0.4
Mercurio	D009	0.2
Metoxicloro	D014	10
Metil etil cetona	D035	200
Nitrobenceno	D036	2
Pentaclorofenol	D037	100
Piridina	D038	5
Selenio	D010	1
Plata	D011	5
Tetracloroetileno	D039	0.7
Toxafeno	D015	0.5
Tricloroetileno	D040	0.5
2,4,5-Triclorofenol	D041	400
2,4,6-Triclorofenol	D042	2
2,4,5-TP (Silvex)	D017	1
Cloruro de vinilo	D043	0.2

**Fuente:** RCRA 40 CFR Part 261.24 Toxicity characteristic, 2006; tomado de Legal Information Institute (LII), s.f.

Otra de las evaluaciones que resulta útil a fin de caracterizar un residuo, es la realización del test method EPA 8015C – Determinación de compuestos orgánicos no halogenados por cromatografía de gases, el cual permite establecer la concentración de una variedad de compuestos orgánicos volátiles no halogenados, compuestos orgánicos semi-volátiles e hidrocarburos de petróleo (TPH por sus siglas en inglés), a través del método de la cromatografía de gases. Usualmente, las pruebas a realizar se centran en evaluar las concentraciones de TPH, Benceno, Tolueno, Etilbenceno y Xilenos (BTEX) e Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos (PAH por sus siglas en inglés). De estos últimos, los

TPH son usados generalmente para describir la medida de hidrocarburos derivados de petróleo que se pueden encontrar en una matriz ambiental y, usualmente, son empleados como un indicador general de la contaminación por petróleo en el suelo y, por lo tanto, de su relativo potencial de riesgo para la salud humana.

Si bien no se cuenta con valores referenciales para estos parámetros desde el enfoque de la caracterización de residuos sólidos, sería posible tomar como referencia los valores establecidos en los “Estándares de Calidad Ambiental para Suelos” (Decreto Supremo n°011-2017-MINAM), entendiéndose que los residuos a evaluar no podrían presentar valores que sobrepasen los establecidos para la categoría de uso de suelo con la cual podría entrar en contacto durante cualquier etapa de su manejo.

**Cuadro 2: Estándares de Calidad Ambiental para Suelo**

Parámetros	Usos del suelo			Métodos de ensayo
	Suelo agrícola	Suelo residencial / parques	Suelo comercial / industrial / extractivo	
<b>Hidrocarburos aromáticos volátiles</b>				
Benceno	0.03 mg/kg	0.03 mg/kg	0.03 mg/kg	EPA 8260 EPA 8021
Etilbenceno	0.082 mg/kg	0.082 mg/kg	0.082 mg/kg	EPA 8260 EPA 8021
Tolueno	0.37 mg/kg	0.37 mg/kg	0.37 mg/kg	EPA 8260 EPA 8021
Xilenos	11 mg/kg	11 mg/kg	11 mg/kg	EPA 8260 EPA 8021
<b>Hidrocarburos poliaromáticos</b>				
Benzo(a)pireno	0.1 mg/kg	0.7 mg/kg	0.7 mg/kg	EPA 8270
Naftaleno	0.1 mg/kg	0.6 mg/kg	22 mg/kg	EPA 8260 EPA 8021 EPA 8270
<b>Hidrocarburos de petróleo</b>				
Fracción de hidrocarburos F1 (C6-C10)	200 mg/kg	200 mg/kg	500 mg/kg	EPA 8015
Fracción de hidrocarburos F2 (>C10-C28)	1200 mg/kg	1200 mg/kg	5000 mg/kg	EPA 8015
Fracción de hidrocarburos F3 (>C28-C40)	3000 mg/kg	3000 mg/kg	6000 mg/kg	EPA 8015
<b>Compuestos organoclorados</b>				
Bifenilos policlorados - PCB	0.5 mg/kg	1.3 mg/kg	33 mg/kg	EPA 8082 EPA 8270
Tetracloroetileno	0.1 mg/kg	0.2 mg/kg	0.5 mg/kg	EPA 8260
Tricloroetileno	0.01 mg/kg	0.01 mg/kg	0.01 mg/kg	EPA 8260

**Fuente:** Decreto Supremo n°011-2017-MINAM, 2017

Como parte de la iniciativa “End of Waste (EOW)” del Gobierno de Queensland, se vienen elaborando varios códigos en el marco del Waste Reduction and Recycling Act 2011 (WRR Act). Uno de ellos, aprobado en julio del 2021, es el EOW Code Garnet Sand (EOWC010000731), en el cual se busca establecer los requisitos relevantes o condiciones de uso que se deberán cumplir para que el garnet usado producto de actividades de limpieza abrasiva para remover pinturas, corrosión o similares de superficies metálicas pueda convertirse en un recurso con posibilidad de ser empleado en otra actividad y, de no cumplirse ello, que éste sea considerado como residuo y dispuesto en instalaciones aprobadas para tal fin.

De acuerdo con el código mencionado en el párrafo anterior, a fin de que el garnet usado pueda ser considerado como recurso, se considera que éste debe cumplir con los siguientes requisitos: (a) haber sido generado a partir de actividades de limpieza abrasiva (arenado) de superficies de acero, (b) contener más del 95 por ciento de almandita y menos del 0.5 por ciento de sílica cristalina (SiO<sub>2</sub>) y (c) cumplir con los criterios de calidad mostrados en el cuadro 3.

**Cuadro 3: Criterios de calidad del recurso**

<b>Características de calidad</b>	<b>Concentración máxima total (mg/kg peso seco, a menos se especifique de otra manera)</b>
Arsénico (As)	10
Cadmio (Cd)	1
Cromo (Cr-T)	30
Cobre (Cu)	20
Níquel (Ni)	30
Plomo (Pb)	20
Zinc (Zn)	60
Benceno	0.5
Etilbenceno	1.5
Tolueno	10
Naftaleno	0.5
Xilenos totales	1.6

## Continuación

Características de calidad	Concentración máxima total (mg/kg peso seco, a menos se especifique de otra manera)
Tributilo*	Sin límite

\*Solo es considerado cuando la superficie que ha sido sometida a tratamiento con garnet potencialmente lo contenga.

**Fuente:** Department of Environment and Science, 2021

Así, el garnet usado que cumpla con lo anteriormente mencionado podrá ser empleado como material agregado para mezclas de concreto, limitado a la fabricación de productos de concreto decorativos (como adoquines) y a productos de construcción no estructurales (como bermas). Adicionalmente, los productos de concreto deberán cumplir con estándares o especificaciones técnicas existentes y ser elaborados en instalaciones autorizadas (Department of Environmental and Science, 2021).

## 2.4 RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN Y DEMOLICIÓN

Se consideran residuos sólidos de construcción y demolición (RCD por sus siglas en español), a aquellos que son generados en las actividades y procesos de construcción, restauración, remodelación, rehabilitación y demolición de infraestructuras y edificaciones.

Según el Decreto Supremo n°002-2022-VIVIENDA, los residuos sólidos de construcción y demolición, en adelante residuos de construcción, son residuos municipales que por sus características especiales y volumen son gestionados directamente por el municipio o por la empresa operadora de residuos sólidos (EO-RS por sus siglas en español) a través del sistema implementado con dicho propósito.

A pesar del volumen de residuos que se producen en la construcción y de su tremenda importancia económica y ecológica, no existen datos fiables de la cantidad generada anualmente. La disparidad de los datos existentes se debe a que gran parte de los residuos no está controlada y se producen y abandonan sin el menor registro. También contribuye a la variabilidad de cifras existentes la discrepancia de criterio a la hora de cuantificar los excedentes de tierra generados en las obras.

En unos casos se consideran residuos de construcción y se contabilizan y tratan como el resto de los residuos, mientras que en otros casos se mantiene una contabilidad al margen, no entrando en el circuito de la gestión y el reciclado de los RCD. En lo que sí coinciden todas las mediciones es en la composición aproximada del total de los residuos. De todo lo generado, aproximadamente el 75 por ciento corresponde a residuos inertes de origen pétreo, comúnmente llamados “escombros”. El 25 por ciento restante es una combinación de distintos materiales de múltiples orígenes y peligrosidades.

#### **2.4.1 SITUACIÓN ACTUAL DE LOS RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN**

Las actividades de demolición y construcción generan grandes cantidades de desechos a nivel mundial, que representan más del 70-90 por ciento del total de los residuos de construcción generando en todo el mundo uno de los flujos de residuos más pesados y voluminosos, de los cuales la mayoría termina en vertederos, no siendo la excepción el Perú. El Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental (OEFA por sus siglas en español) ha manifestado que hay disposición inadecuada de grandes volúmenes de residuos de construcción en diferentes puntos no autorizados del territorio peruano. Por otro lado, se puede considerar como un factor importante en la disposición inadecuada de los RCD el alto grado de informalidad laboral en el país.

Uno de los principales problemas de la ciudad es la gran cantidad de desmonte originado por material de construcción y demolición, el cual debería ser manejado en infraestructuras acondicionadas para dicho fin de tal modo que se evite su acumulación en el ambiente.

Según el artículo 10 del D.S. n°002-2022-VIVIENDA, “las infraestructuras para el manejo de residuos sólidos de construcción y demolición son: (a) infraestructura de valorización, (b) rellenos sanitarios con celdas habilitadas para la disposición de estos residuos, (c) escombreras, (d) escombreras con infraestructuras de valorización; y (e) otras que determine la autoridad competente en el marco de las normas de residuos sólidos”.

A continuación, se hará un recuento de las alternativas de infraestructuras para el manejo de estos residuos a nivel nacional.

a. Infraestructura de valorización

De acuerdo con el artículo 62 del D.S. N°002-2022-VIVIENDA, la entidad encargada de promover el eficiente uso de materiales de construcción, el desarrollo tecnológico en los procesos de construcción y funcionamiento de las edificaciones, con el objetivo de minimizar el consumo de recursos naturales y su consecuente impacto sobre el ambiente es el Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. Para ello, dicho organismo promueve la innovación e investigación para la producción de materiales de construcción a partir de la valorización de residuos sólidos, tomando en consideración para ello criterios de calidad, durabilidad y seguridad; así como el uso de métodos, tecnologías, prácticas y procesos más limpias, con un bajo consumo en agua, energía y/o materiales.

En el cuadro 4 se muestran las infraestructuras de valorización de residuos de construcción y demolición existentes a la fecha a nivel nacional.

**Cuadro 4: Infraestructuras de valorización de residuos de construcción a nivel nacional**

Código	Razón Social	Dirección de planta de operaciones y/o infraestructura	Operaciones autorizadas	Manejo de residuos sólidos de normativa sectorial (RCD)
EO-RS-00027-2021-MINAM-VMGA/DGRS	BIRRAK CONSTRUCTORES S.A.C.	Planta de valorización y disposición final (Relleno sanitario y Relleno de seguridad): Av. Néstor Gambetta. (Altura km. 8.5 Parque Porcino) – Ventanilla, Callao	Valorización y Disposición final	-
EO-RS- 00159-2020-MINAM-VMGA/DGRS	CAJAS ECOLOGICAS S.A.C.	Mz. D1 Lote 3A A.H. Héroes de San Juan Sector 5 (Av. Pastor Sevilla con Av. Las Torres) – San Juan de Miraflores, Lima	Recolección y transporte; Valorización	Recolección y Transporte; Valorización
EO-RS-0255-19-150109	MP RECICLA S.A.C.	Carr. Lima Cieneguilla Exp. Agrícola Santa Rosa de Callanac Parcela 48 – Cieneguilla, Lima	Recolección y transporte	Recolección y Transporte

b. Rellenos sanitarios con celdas habilitadas para la disposición de residuos de construcción

De acuerdo con el artículo 32 del D.S. n°002-2022-VIVIENDA, los residuos sólidos de construcción y demolición de obras menores, considerados como no peligrosos, se deben

disponer en rellenos sanitarios en los cuales se haya habilitado celdas específicas para dicho tipo de residuos o en escombreras con la debida autorización. Los residuos sólidos peligrosos se deberán disponer en rellenos de seguridad. Asimismo, los proyectos para la construcción de nuevos rellenos sanitarios deben evaluar en su etapa de formulación la pertinencia de considerar celdas para disposición final de residuos sólidos de construcción y demolición, debiendo contar para ello con información referente a la generación de este tipo de residuos en el ámbito de la jurisdicción en la cual se pretende implementar dicha infraestructura, así como en el ámbito de influencia de esta.

Tomando en cuenta que en el Perú ya existe un déficit de rellenos sanitarios autorizados y que los existentes se localizan principalmente en la región costera y no están acondicionados con celdas para la recepción de residuos de construcción, es importante mencionar que es necesario que los municipios provinciales y distritales, junto con el resto de actores involucrados en el manejo de residuos sólidos, tomen acción para remediar esta situación con miras a mejorar la gestión de los residuos de construcción.

A continuación, en el cuadro 5 se muestran las infraestructuras de disposición final de residuos sólidos que a la fecha vienen recibiendo residuos de construcción.

**Cuadro 5: Rellenos sanitarios a nivel nacional que reciben residuos de la construcción**

<b>Código</b>	<b>Razón Social</b>	<b>Dirección de planta de operaciones y/o infraestructura</b>	<b>Operaciones autorizadas</b>	<b>Manejo de residuos sólidos de normativa sectorial (RCD)</b>
EO-RS-0064-2020-MINAM-VMGA/DGRS	PROD. Y SERV. DE MANTEN. Y SER. IND. S.R.L.	Urb. Parque Industrial Mza. C10, Lote 6 – La Esperanza, Trujillo	Barrido y limpieza de espacios públicos; recolección y transporte; tratamiento	Tratamiento*
EO-RS-00073-2020-MINAM	INNOVA AMBIENTAL S.A.	Car. Panamericana Sur Km. 62,5 (Fundos: Santa Isabel y Piedras Blancas – Sector San Rosa Quebrada Parca), Chilca, Lima	Transferencia, tratamiento, disposición final	Disposición final

## Continuación

Código	Razón Social	Dirección de planta de operaciones y/o infraestructura	Operaciones autorizadas	Manejo de residuos sólidos de normativa sectorial (RCD)
EO-RS-0026-20-150716	PETRAMAS S.A.C.	Quebrada Huaycoloro Km. 7, San Antonio, Lima Av. El Bierzo, margen derecha del río Chillón Km. 19 de la Av. Néstor Gambeta, Ventanilla, Callao	Barrido y limpieza de espacios públicos; recolección y transporte; valorización, disposición final	Disposición final
EO-RS-0365-19-110201	TOWER AND TOWER S.A.	Quebrada Cruz de Lázaro – Sector Lomas de Huatiana, Chincha Alta, Ica.	Recolección y transporte; valorización, disposición final	Disposición final

### c. Escombreras

Los residuos de construcción y demolición no reaprovechables (inertes) deben disponerse en escombreras. Según el artículo 49 del D.S. n°002-2022-VIVIENDA, la evaluación e identificación de espacios geográficos dónde podrían implementarse escombreras debe realizarse en conjunto por las municipalidades provinciales y las municipalidades distritales, respetando las jurisdicciones correspondientes. Asimismo, las municipalidades deben incluir las áreas evaluadas para la localización de escombreras en los instrumentos de planificación territorial y asignarles a dichas áreas la zonificación correspondiente de acuerdo con la normativa vigente referida a la gestión y planeamiento del territorio.

Actualmente, si bien se observa un gran avance en los proyectos de construcción, en el Perú se evidencia un déficit de escombreras autorizadas en base a los criterios definidos en el D.S. n°002-2022-VIVIENDA.

En el cuadro 6 se presentan las únicas instalaciones que a la fecha cuentan con autorización municipal para funcionar como escombreras.

**Cuadro 6: Escombreras autorizadas a nivel nacional**

Código	Autorización	Razón Social	Dirección de planta de operaciones y/o infraestructura	Operaciones autorizadas
EO-RS-00027-2021-MINAM-VMGA/DGRS	Resolución Gerencial N°039-2012-MPC-GGPMA	BIRRAK CONSTRUCTORES S.A.C. (ECO BIRRAK S.A.C.)	Planta de valorización y disposición final (Relleno sanitario y Relleno de seguridad): Av. Néstor Gambetta. (Altura km. 8.5 Parque Porcino) – Ventanilla, Callao	Valorización y Disposición final
-	Resolución Gerencial N°0110-2010-MPC-GGPMA	MINERA ROMAÑA S.A.C. (Escombrera Eco-Land)	Altura del Km 8.5 de la Av. Néstor Gambetta, Ventanilla, Callao	Disposición final

**d. Escombreras con infraestructuras de valorización**

De acuerdo con el artículo 51 del D.S. n°002-2022-VIVIENDA, las infraestructuras de valorización de residuos sólidos de construcción y demolición pueden integrarse con las escombreras siempre y cuando cumplan con las condiciones y aspectos mínimos, según dicha normativa, para ambas infraestructuras.

De las dos escombreras autorizadas existentes en el país, solo una de ellas cuenta con una Planta de Valorización y Reciclaje, cuyos datos se muestran en el cuadro 7.

**Cuadro 7: Escombreras con infraestructuras de valorización a nivel nacional**

Código	Autorización	Razón Social	Dirección de planta de operaciones y/o infraestructura	Operaciones autorizadas
EO-RS-00027-2021-MINAM-VMGA/DGRS	Resolución Gerencial N°039-2012-MPC-GGPMA	BIRRAK CONSTRUCTORES S.A.C. (ECO BIRRAK S.A.C.)	Planta de valorización y disposición final (Relleno sanitario y Relleno de seguridad): Av. Néstor Gambetta. (Altura km. 8.5 Parque Porcino) – Ventanilla, Callao	Valorización y Disposición final

**8.1.5. Otras que determine la autoridad competente**

Al no contar con escombreras en el país, el Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental (OEFA por sus siglas en español) recomienda disponer estos materiales en empresas mineras no metálicas que cuentan con estudio de impacto ambiental, y que hayan contemplado, dentro de su plan de cierre recibir estos residuos.

Lo anterior mencionado se encuentra contemplado en el artículo 49 del D.S. n°002-2022-VIVIENDA, donde se indica que, para la determinación del área para la implementación de infraestructura de disposición final de residuos de construcción deben priorizarse espacios cuyo paisaje se encuentre degradado, como lo son tajos abiertos de extracción minera no metálica o canteras. Ello con el objetivo de contribuir a la restauración, recuperación o aprovechamiento del área.

En el cuadro 8 se muestran las únicas instalaciones que a la fecha cuentan con autorización municipal para funcionar como escombreras.

**Cuadro 8: Otras infraestructuras de recepción de residuos de construcción a nivel nacional**

Razón Social	Dirección de planta de operaciones y/o infraestructura	Operaciones autorizadas	
ARENERA SAN MARTÍN S.A.C.	Av. Monteverde N°197 – Ex.Av. “A” – Ex Fundo Barbadillo (Ref. Km 6.2 de la Carr. Central), Ate Vitarte, Lima	Disposición final	Recepción de residuos de carácter sólido, no tóxicos ni peligrosos, que resultan de la demolición de obras, remoción de carreteras, movimiento de tierras y otros de similar naturaleza, los cuales pueden ser depositados dentro de áreas de relleno, habilitadas expresamente con tal finalidad.

#### **2.4.2 CARACTERIZACIÓN DE LOS RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN CON FINES DE REAPROVECHAMIENTO**

Según el D.S. n°002-2022-VIVIENDA, los residuos de construcción, debidamente clasificados como no peligrosos, pueden ser aprovechados de diferentes formas, entre las que se tienen: (a) obras que ameriten el relleno de zonas o conformación de terraplenes o taludes, (b) restauración o recuperación de áreas degradadas, (c) materia prima para procesos productivos; entre otros. De ser usados como materia prima, se debe tomar en cuenta que los productos obtenidos como resultado del proceso de valorización de los residuos de construcción deben cumplir con los requerimientos técnicos para el uso para el cual fueron fabricados.

## 2.5 CONCRETO

El concreto es un insumo de uso corriente, el cual se produce a través de la mezcla de tres componentes principales, los cuales son el cemento, agregados y agua. En algunos casos, se incorpora un cuarto componente, el aditivo. Cuando se mezclan estos componentes, se introduce a su vez un quinto participante, representado por el aire; y se produce lo que conoce comúnmente como concreto (Lovon *et al*, 2019).

### 2.5.1 DISEÑO DE MEZCLA

Según Kosmatka *et al* (2004), se llama diseño de mezcla al proceso de establecer las características que son requeridas para los propósitos para los cuales será empleado el concreto, llevando así al desarrollo de la especificación del concreto. Entre estas características se tiene (a) cualidades del concreto fresco, (b) cualidades mecánicas del concreto endurecido y (c) la exclusión, inclusión o límite de componentes específicos.

El proporcionamiento de la mezcla hace referencia al proceso de establecimiento de las dosis de los componentes del concreto, con el objetivo que se alcancen las características esperadas. Un concreto proporcionado adecuadamente debe portar las siguientes características: (a) concreto fresco de trabajabilidad aceptable, (b) concreto endurecido con apariencia uniforme, resistencia y durabilidad y (c) economía (Kosmatka *et al*, 2004).

Según Laura (2006), entre los datos necesarios para diseñar una mezcla de concreto se tiene: (a) Análisis granulométrico de los agregados, (b) Peso unitario compactado de los agregados (fino y grueso), (c) Peso específico de los agregados (fino y grueso), (d) Contenido de humedad y porcentaje de absorción de los agregados (fino y grueso), (e) Perfil y textura de los agregados, (f) Tipo y marca del cemento, (g) Peso específico del cemento, (h) Relaciones entre resistencia y (i) la relación agua/cemento, para combinaciones posibles de cemento y agregados.

Según Laura (2006), uno de los métodos más usados para diseñar mezclas de concreto normal es el método del American Concrete Institute (ACI por sus siglas en inglés), el cual consta de los siguientes pasos: (a) análisis detallado de las especificaciones técnicas y planos de obra, (b) selección de la resistencia a la compresión promedio requerida ( $f'_{cr}$ ), (c)

selección del asentamiento, revenimiento o slump, (d) selección del tamaño máximo del agregado grueso, (e) estimación del agua de mezclado y contenido de aire, (f) selección de la relación agua/cemento (a/c), (g) cálculo del contenido de cemento, (h) estimación del contenido de agregado fino y agregado grueso, (i) ajustes por absorción y humedad, (j) cálculo de proporciones en peso y (k) cálculo de proporciones en volumen.

## **2.6 APROVECHAMIENTO DE RESIDUOS DE ABRASIVOS USADOS EN PREPARACIÓN DE SUPERFICIES Y RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN**

### **2.6.1 POTENCIALES VENTAJAS DEL APROVECHAMIENTO DE RESIDUOS DE ABRASIVOS USADOS EN PREPARACIÓN DE SUPERFICIES Y RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN PARA LA FABRICACIÓN DE PIEZAS DE ALBAÑILERÍA**

El potencial ambiental adicional que se podría plantear en torno a la fabricación de adoquines para pavimento empleando abrasivos usados y residuos de construcción en reemplazo los agregados finos y/o gruesos vírgenes se centraría en las ventajas competitivas prácticas y ambientales que éstos tienen frente a la construcción de pavimentos (camino o veredas) de concreto. Estas ventajas son señaladas por varios proveedores de estos materiales, siendo algunas de las señaladas por Cementos Yura (s.f.) las siguientes:

- Durabilidad: mayor vida útil en comparación con otros pavimentos
- Resistencia: pueden ser diseñados para diferentes tipos de tránsito (peatonal, vehicular y pesado/industrial)
- Fácil instalación/desinstalación: se pueden desinstalar e instalar (reutilizar) en otro lugar fácilmente, sin perder sus características originales. No necesita mano de obra calificada ni maquinaria costosa para su instalación
- Calidad: asegurada a través del cumplimiento de requisitos establecidos a través de Normas Técnicas Peruanas (NTP, por sus siglas en español), como la NTP 399.611.
- Ecológicos: fabricados a base de materiales reciclados, evitando así la extracción de materiales vírgenes
- Decorativos: ofrecen impacto visual positivo



**Figura 9: Adoquines de concreto**

**Fuente:** Tomado de Cemento Yura, s.f.

## **2.6.2 REFERENCIAS PARA LA CARACTERIZACIÓN DE RESIDUOS DE ABRASIVOS USADOS EN PREPARACIÓN DE SUPERFICIES PARA SU USO COMO AGREGADOS PARA LA FABRICACIÓN DE PIEZAS DE ALBAÑILERÍA**

Con el propósito de poder determinar si los residuos de abrasivos cumplen con las características técnicas para que puedan ser usados como reemplazo de agregados para la fabricación de piezas de albañilería se debe hacer uso de las Normas Técnicas Peruanas (NTP por sus siglas en español) existentes a la fecha. Siendo así, algunas de las NTP que pueden ser empleadas como referencia son:

- **NTP 400.012.2013 (revisada el 2018) “Agregados. Análisis granulométrico del agregado fino, grueso y global”.**
- **NTP 400.017.2020 Agregados. “Método de ensayo para determinar la masa por unidad de volumen o densidad (peso unitario) y los vacíos en los agregados”.**
- **NTP 400.019.2002 Agregados. “Método de ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a la degradación en agregados gruesos de tamaños menores por abrasión e impacto en la máquina de Los Ángeles (<math><1 \frac{1}{2}</math>”)**
- **NTP 400.020.2002 “Agregados. Método de ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a la degradación en agregados gruesos de**

tamaño grande por abrasión e impacto en la máquina de Los Ángeles ( $>1\frac{1}{2}$ ,  $<3$ )”.

- **NTP 400.021.2013 (revisada el 2018) “Agregados. Método de ensayo normalizado para la densidad, la densidad relativa (peso específico) y absorción del agregado grueso”.**
- **NTP 400.022.2013 (revisada el 2018) “Agregados. Método de ensayo normalizado para la densidad, la densidad relativa (peso específico) y absorción del agregado fino”.**
- **NTP 400.037.2018 “Agregados para concreto. Requisitos”.** Norma de referencia que establece los requisitos de gradación (granulometría) y calidad de los agregados fino y grueso para uso en concreto de peso normal. (Ver Anexo 3: Requisitos granulométricos para agregado fino y agregado grueso).
- **NTP 339.185.2013 (revisada el 2018) “Agregados. Método de ensayo normalizado para contenido de humedad total evaporable de agregados por secado”.**

### **2.6.3 REQUISITOS PARA LA ACEPTACIÓN DE PIEZAS DE ALBAÑILERÍA FABRICADAS A BASE DE RESIDUOS DE ABRASIVOS USADOS EN PREPARACIÓN DE SUPERFICIES Y RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN**

A fin de poder determinar si los adoquines fabricados haciendo uso parcial de residuos de abrasivos (garnet) cumplen con las características técnicas para su uso y/o son comparables a aquellos fabricados con materiales convencionales, se debe hacer uso de las Normas Técnicas Peruanas (NTP, por sus siglas en español) existentes a la fecha. Siendo así, algunas de las NTP que son empleadas como referencia son:

- **NTP 399.604.2002 (revisada el 2015) “Unidades de Albañilería. Métodos de muestreo y ensayo de unidades de albañilería de concreto”.** Norma de referencia que establece el procedimiento para el muestreo y ensayo de unidades de albañilería de concreto para determinar sus dimensiones, peso unitario (densidad), resistencia a la compresión, contenido de humedad y absorción.
- **NTP 399.611.2010 (revisada el 2015) “Unidades de Albañilería. Adoquines de concreto para pavimentos. Requisitos”.** Norma de referencia aplicable para la fabricación de adoquines de concreto para uso en pavimentos peatonales, vehiculares

y en patios industriales o de contenedores. El principal requisito que tomar en cuenta será la resistencia a la compresión, pero también se tomará como requisito complementario, la tolerancia dimensional y el requisito de absorción. Dichos requisitos se encuentran mostrados en los cuadros 9, 10 y 11, respectivamente.

La resistencia a la compresión es la relación entre la carga de rotura a compresión de un adoquín y su área. Este método consta en la aplicación de una carga a una sección del adoquín (he ahí la importancia de que las muestras estén en una buena posición para el ensayo), hasta que se produzca su rotura determinando así la resistencia de éste (Meza, 2018). En el cuadro 9: Valores de espesor nominal y resistencia a la compresión, se muestran los valores establecidos en la NTP 399.611 para cada tipo de adoquín para pavimento.

**Cuadro 9: Valores de espesor nominal y resistencia a la compresión**

Tipo	Espesor nominal (mm)	Resistencia a la compresión, mín. kg/cm <sup>2</sup> (MPa)	
		Unidad individual	Promedio de tres unidades
<b>I</b> (peatonal)	40	290 (28)	320 (31)
	60	290 (28)	320 (31)
<b>II</b> (Vehicular ligero)	60	420 (41)	380 (37)
	80	380 (37)	340 (33)
	100	360 (35)	325 (32)
<b>III</b> (Vehicular pesado, patios industriales o de contenedores)	≥ 80	561 (55)	510 (50)

**Fuente:** Adaptado de NTP 399.611.2010 (revisada el 2015)

De igual forma, la NTP 399.611 establece que deben medirse el ancho, longitud y espesor (altura) para cada unidad, los cuales deben cumplir con las dimensiones establecidas para cada tipo de adoquín para pavimento, indicadas en el cuadro 9, así como mantener la tolerancia dimensional establecida en el cuadro 10.

**Cuadro 10: Tolerancia dimensional**

Tolerancia dimensional, máx. (mm)		
Ancho	Longitud	Espesor
± 1,6	± 1,6	± 3,2

**Fuente:** Adaptado de NTP 399.611.2010 (revisada el 2015)

Finalmente, en el cuadro 11: Valores de absorción, se muestran los valores máximos establecidos por la NTP 399.611 para el requisito de absorción de agua. Guerra, 2015; citado por Mori (2022), indica que la absorción de agua es un proceso físico por el cual el concreto, al entrar en contacto con el agua, la retiene en sus poros y capilares. Este proceso es importante al hablar de materiales porosos dado que la cantidad real de absorción afecta la sequedad del material y, por otro lado, dado que a través del agua podrían introducirse sustancias que podrían actuar en detrimento de la calidad del material resultante. Sin embargo, este requisito toma más relevancia en el caso de adoquines destinados a pavimentos con posibilidad de estar expuestos a condiciones más exigentes de durabilidad (como es el caso de la exposición a sulfatos) o ciclos de hielo y deshielo (Meza, 2018). Ello debido a que un exceso de agua en los poros del concreto y su posterior exposición a condiciones climáticas extremas (como las anteriores mencionadas) podrían generar deterioro de las piezas de concreto en el tiempo (Mori, 2022).

**Cuadro 11: Valores de absorción**

Tipo de adoquín	Absorción máxima (%)	
	Unidad individual	Promedio de tres unidades
I y II	7.5	6
III	5	5

Fuente: Adaptado de NTP 399.611.2010 (revisada el 2015)

- **NTP 399.624.2006 “Unidades de Albañilería. Método de ensayo para determinar la resistencia al desgaste por abrasión de adoquines de concreto utilizando la máquina de desgaste”.** Norma referencial, usada bajo solicitud de acuerdo con las especificaciones de la obra o bajo acuerdo previo entre el comprador y el vendedor.
- **NTP 399.625.2006 “Unidades de Albañilería. Método de ensayo para determinar la resistencia a la abrasión de adoquines de concreto mediante chorro de arena”.** Norma de referencia que indica que los adoquines deben tener una pérdida de volumen no mayor de  $15\text{cm}^3/50\text{cm}^2$  y la pérdida del espesor promedio no debe exceder los 3mm.

Asimismo, es posible también utilizar normas internacionales para obtener parámetros de referencia adicionales. Una de las que podría ser usada es:

- **UNE-EN 13748-2:2005 (deroga UNE 127021:1999) “Baldosas de terrazo. Parte 2. Baldosas de terrazo para uso exterior”**. Norma de referencia que establece los requisitos físicos y mecánicos de baldosas en cuanto a su resistencia a flexión (MPa), carga de rotura (kN), desgaste por abrasión (mm), absorción (%) y resistencia al impacto (altura de caída en mm).

#### **2.6.4 EXPERIENCIAS DE APROVECHAMIENTO DE RESIDUOS DE ABRASIVOS USADOS EN PREPARACIÓN DE SUPERFICIES PARA LA FABRICACIÓN DE CONCRETO Y/O PIEZAS DE ALBAÑILERÍA**

El rápido crecimiento del sector construcción ha conllevado al aumento del consumo de agregados finos, lo cual contribuye al aumento de la extracción de recursos naturales. Es en ese escenario, que el empleo de residuos de garnet como reemplazo de los agregados finos resulta un campo interesante de estudio ya que no solo posibilitaría el aprovechamiento de este residuo, sino que también permitiría reducir la explotación de materias primas, como la arena de río, así como el espacio ocupado en los rellenos sanitarios a raíz de la disposición de estos residuos de abrasivos; abriendo finalmente una serie de oportunidades para mejorar la calidad y sostenibilidad de los productos de construcción (concreto, hormigón, unidades de albañilería, etc.) y reduciendo así los costos asociados (Siddique *et al*, 2008; Shukor *et al*, 2020; Aziera *et al* 2020).

OMAX (2016) señala que los abrasivos usados pueden ser dispuestos, reciclados o reaprovechados; y, en el caso se considere su reaprovechamiento, estos pueden ser mezclados con concreto y, dada la naturaleza de materiales como el garnet, estos actúan como aditivos en las mezclas contribuyendo a la dureza de esta. Adicionalmente, el reúso de material abrasivo como reemplazo del agregado más fino en las mezclas de concreto asfáltico constituye una opción económicamente viable para reciclar este material residual, evitando así el uso de rellenos sanitarios y reduciendo el consumo de recursos vírgenes en este sector (NAVFAC 1998).

Gomes *et al* (2010) señala la importancia de considerar una metodología adecuada para que los productos desarrollados a base del reaprovechamiento de residuos presenten un desempeño compatible con los patrones técnicos y no presenten un riesgo para ningún componente ambiental (por ejemplo, a través de la lixiviación en el tiempo de metales tóxicos).

Por ello, será importante definir una metodología para la caracterización y acondicionamiento de los residuos de abrasivos que se pretenden reaprovechar con fines de fabricación de piezas de albañilería. Con el propósito de determinar si los residuos de abrasivo pueden ser empleados en aplicaciones de concreto asfáltico, éstos primero deben ser tamizados a fin de remover partículas de mayor tamaño y se debe realizar un ensayo de lixiviación (TCLP) con el fin de estimar su contenido de contaminantes tóxicos, los cuales podrían entrar en contacto con el público y; tomando como referencia los resultados obtenidos, se clasificaría como residuo peligroso o no (Salt, *et al*, 1995; Townsend *et al*, 1997; NAVFAC, 1998; Nicolalde, 2008; Sua-iam *et al*, 2013; Lateef *et al*, 2018). Con respecto a ello, indica que si bien luego de ser usados, los abrasivos muestran un incremento en las concentraciones de Hierro, Zinc y Aluminio, lo cual es esperado debido a las superficies donde son empleados, no contiene contaminantes particularmente peligrosos como el Plomo o el Cadmio, lo cual permitiría asumir que pueden ser usados como reemplazo de agregados para mezclas de concreto (Borucka-Lipska *et al*, 2019). Adicionalmente, para que el abrasivo usado pueda ser considerado con fines constructivos, es importante caracterizarlo en términos de granulometría, densidad, superficie específica y estructura porosa (Buruiana *et al* 2011; Gomes *et al* 2012).

Estudios realizados en el Lawrence Livermore National Laboratory (LLNL) soportan la idea de que el uso de garnet residual en mezclas de concreto no presenta un riesgo de lixiviados de metales al suelo y, por ende, dicha práctica constituye una alternativa viable para su disposición; no obstante, no recomiendan el uso de dicho residuos para el llenado de zanjas o espacios abiertos a fin de prevenir el potencial lixiviado de metales en concentraciones lo suficientemente altas para amenazar la calidad de las aguas subterráneas (Mathews y Wilson, 1998).

Con respecto a experiencias de aprovechamiento de la escoria de cobre usada, se tiene que en el 1991, Madany *et al* evaluaron las propiedades físicas y químicas de este material

residual para la elaboración de cubos de mortero de 2" por 2" y bloques de concreto de 150mm x 150mm, usando proporciones en peso 1:1 (500 g/kg and 500 g/kg), 1:3 (250 g/kg y 750 g/kg), y 1:4 (200 g/kg y 800 g/kg) de cemento y escoria, y proporciones de agua/cemento por peso de 0.5 (500 g/kg), determinándose la resistencia la compresión a 3, 7, y 28 días. Los resultados que obtuvieron mostraron que la escoria de cobre gastada, si bien no sería recomendable para uso en aplicaciones de estructuras de concreto reforzado, podría ser usada como reemplazo de la arena marina para la fabricación de una serie de aplicaciones de concreto no reforzado, como los son los bloques de concreto, encontrándose que para estos últimos se cumple con las especificaciones técnicas de resistencia a la compresión aplicables para Bahrain, lugar donde fue llevado a cabo el estudio, siendo la proporción en peso de 1:3 (250 g/kg y 750 g/kg), la que presentó mejores resultados (Madany *et al.* 1991).

Por otro lado, Borucka-Lipska *et al* (2019), indican que la adición de residuos de escoria de cobre disminuye la trabajabilidad del mortero debido a la mayor cantidad de fracciones de polvo, las cuales se dan debido a la erosión del abrasivo durante el proceso de arenado a presión. Asimismo, indican que los residuos de escoria de cobre disminuyen el proceso de hidratación ya que, al ser un agregado no reactivo, probablemente incorporaría una vasta cantidad de agua de hidratación debido a sus menores tamaños de partícula; y se recomendaría el uso de aditivos para conseguir mejores resultados a futuros. Esta última recomendación coincide con lo indicado por Sua-iam *et al* (2013), quienes experimentaron con el reemplazo de alúmina gastada, otro abrasivo usado para la preparación de superficies, como agregado fino en una mezcla de concreto autocompactante encontrando que, a mayores proporciones de reemplazo por alúmina, era necesario considerar una mayor cantidad de plastificantes para conseguir una mejor trabajabilidad de la mezcla. Sin perjuicio de dichos hallazgos, dichos estudios concluyen que el uso de residuos de abrasivos para la producción de morteros contribuiría a la disminución de los altos costos de almacenamiento, transporte y disposición de residuos (Borucka-Lipska *et al*, 2019; Sua-iam *et al*, 2013).

Con respecto a estudios realizados en torno al aprovechamiento de residuos de garnet, se tiene que Lateef *et al* (2018) caracterizó estos residuos encontrando que poseen una gravedad específica de 3.0, la cual fue mayor que aquella para la arena natural, la cual varía en el rango de 2.6 a 2.7, pudiendo ser atribuido ello al elevado contenido de óxidos de Hierro ( $Fe_2O_3$ ). De igual manera, el valor de la absorción de agua fue 6 por ciento, siendo mayor del límite máximo (3 por ciento) recomendado según la normativa BS EN 1097-6 para agregados finos

y la densidad aparente fue  $1922 \text{ kg/m}^3$ , la cual fue mayor que la obtenida haciendo uso únicamente de arena de río y ello puede deberse a la reducción de espacios vacíos debido a que las partículas más finas del garnet usado llenan los poros y optimizan su estructura, lo cual sin embargo puede llevar a un mayor consumo de agua. Finalmente, con respecto a la gradación de los residuos de garnet, Lateef *et al* (2018) encontró que cumple con las recomendaciones de la normativa BS 882 (normativa usada de referencia para dicho estudio), por lo cual sería adecuado su uso como agregado fino para la producción de concreto.

Asimismo, cabe resaltar los estudios de Shukor *et al* en el 2020, donde se estudiaron los efectos en término de las propiedades físicas de usar los residuos de garnet como reemplazo de agregados finos en especímenes de mortero, estableciendo proporciones de reemplazo del 0, 25, 50, 75 y 100 por ciento, respectivamente; y realizando ensayos de densidad, resistencia a la compresión y absorción de agua a los especímenes a los 7, 14 y 28 días después del curado, encontrando que las propiedades de trabajabilidad del mortero aumentaban con la cantidad de garnet usado. Sus resultados indican que sería posible usar el garnet como reemplazo de hasta el 50 por ciento de los agregados finos en una mezcla de mortero, manteniendo resultados de resistencia a la compresión comparables con aquellos obtenidos con un mortero convencional, además de obtener una mejora del 16 por ciento en la prueba de absorción de agua.

#### **2.6.5 EXPERIENCIAS DE APROVECHAMIENTO DE RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN Y OTROS TIPOS DE RESIDUOS PARA LA FABRICACIÓN DE PIEZAS DE ALBAÑILERÍA: CASO ADOQUINES PARA PAVIMENTO**

Richardson *et al*, 2011; citado por Mefteh *et al* (2013) mencionan que un problema importante con el uso de agregados reciclados en concreto estructural es su alta capacidad de absorción de agua, la cual puede modificar las propiedades de resistencia y durabilidad del concreto. Dicho problema ya había sido demostrado por Poon *et al*, 2004; citado por Mefteh *et al* (2013) a través de ensayos realizados para conocer la influencia del contenido de humedad presente en las cualidades mecánicas del concreto, encontrando así que cuando se usan agregados reciclados a base de restos antiguos de concreto molidos en estado seco (secado al aire) como sustitución de agregados naturales, la trabajabilidad del concreto fresco y la resistencia a la compresión del concreto endurecido casi no presentan cambios en

contraste con los resultados obtenidos en el concreto preparado con agregados naturales. Sin embargo, se encontró que cuando el agregado reciclado usado ha sido secado al horno o usado en forma saturada, tanto la trabajabilidad como la resistencia a la compresión del concreto se ven afectados significativamente debido a la alta capacidad de absorción de agua del agregado reciclado. Finalmente, Poon *et al*, 2004; citado por Mefteh *et al* (2013) concluyeron en base a sus resultados que, para obtener resultados óptimos de producción de concreto en término de resistencia a la compresión, se debería emplear como máximo un reemplazo del 50 por ciento de agregados reciclados en estado seco (secado al aire). En base a lo anterior mencionado, resultará significativo considerar la capacidad de absorción de agua de los residuos de abrasivos (garnet) a fin de poder determinar cualquier posible afectación a las cualidades mecánicas de las piezas de albañilería a fabricar que pudiesen ser atribuidas a dicho factor.

Kaarthik y Maruthachalam (2020) investigaron el reemplazo de agregados finos reciclados obtenidos a partir de restos de demolición de concreto en la fabricación de piezas de concreto, encontrando que la resistencia a la compresión, resistencia a la flexión y resistencia a la tracción muestran una tendencia creciente hasta cuando se reemplaza el 60 por ciento de los agregados finos en la mezcla de concreto con agregados finos reciclados, excedida esa proporción la resistencia disminuye de manera proporcional al aumento de la proporción de reemplazo de los agregados finos reciclados; siendo así que se recomienda considerar únicamente hasta un 60 por ciento de reemplazo de agregados finos reciclados para la preparación de concreto para construcción. En un estudio realizado por Yavuz y Kaplan (2021), si bien indican que no se observan impactos negativos significativos en el concreto considerando hasta un 80 por ciento de reemplazo de los agregados finos por agregados finos reciclados, concluyen que resulta preferible usar concentraciones entre 10–20 por ciento. Independientemente de lo anterior, González-Fonteboa *et al* (2018), señalan que la reducción en la resistencia a la compresión dependerá no solo de la proporción de incremento del agregado reciclado a base de residuos de construcción, sino también del método de producción que dio lugar al concreto usado con fines de reciclaje, así como al tamaño de las partículas del agregado. Asimismo, debe considerarse que los agregados reciclados a base de residuos de construcción presentan una capacidad de absorción de agua por debajo del 8.5 por ciento y que, dada su mayor capacidad de absorción en comparación con un agregado virgen, su empleo para la fabricación de concreto reciclado dará como resultado piezas con

una mayor capacidad de absorción de agua (González-Fonteboa *et al*, 2013; citado por González-Fonteboa *et al*, 2018).

Con respecto a las experiencias puntuales del aprovechamiento de residuos de concreto y otros residuos para la fabricación de unidades de albañilería, entre ellas adoquines para pavimento, se puede mencionar los siguientes casos:

- Nicolalde (2008), determinó que la utilización de escorias y polvos de acería producidos por el horno de arco eléctrico del proceso de fundición de chatarra ferrosa para la fabricación de adoquines de hormigón aumenta su resistencia a la compresión, pero debido a que dichos adoquines contarían con un alto contenido de metales pesados (en especial Cromo, Cadmio y Plomo), no sería posible su fabricación, ya que los mismos estarían en contacto con el suelo o expuestos a la lluvia, resaltando así la importancia de caracterizar los agregados a ser usados para la elaboración de piezas de albañilería. Sin embargo, y a fin de dar una alternativa para el manejo sustentable de dicho residuo, se indica que podrían fabricarse en su lugar bloques huecos de hormigón para paredes divisorias interiores.
- Con respecto a la fabricación de adoquines haciendo uso de otros materiales residuales, Hidalgo *et al* (2013), encontró que los adoquines fabricados con un 25% de vidrio de grano fino presentaron una mayor resistencia a la compresión que aquellos con un 15% de vidrio de granulometría gruesa, presumiendo que ello se debe a la rigidez dada por las propiedades mecánicas del vidrio, geometría y tamaño.
- Montiel (2017) se propuso diseñar cuatro tipos de adoquines usando agregados de concreto reciclado con resistencias  $f'c = 250 \text{ kg/cm}^2$ ,  $f'c = 360 \text{ kg/cm}^2$ ,  $f'c = 420 \text{ kg/cm}^2$  y  $f'c = 480 \text{ kg/cm}^2$ ; concluyendo que es técnicamente factible la fabricación de adoquines, así como también la fabricación de una gran variedad de productos de concreto en los que no sea necesaria un alto desempeño o una alta resistencia. El método que empleó para diseñar las mezclas usadas fue el descrito por el American Concrete Institute (ACI) recalcando el hecho que, dado que los agregados reciclados presentan una gran absorción, se debe prestar especial atención al cálculo de la corrección de agua por absorción. Asimismo, indica que para el diseño de una mezcla de concreto es necesario conocer (a) el peso específico del cemento, de la arena y de la grava; (b) el módulo de finura del agregado fino, (c) la clasificación por tamaño del agregado grueso y (d) la relación agua/cemento en peso.

- Por otro lado, Liñan *et al* (2018) incorporaron PET en dosificaciones del 5, 10 y 15 por ciento, respectivamente; a una mezcla de adoquines para pavimento, observando que mientras mayor sea la cantidad de PET incorporada, menor era la capacidad de carga del adoquín. El adoquín con un 5 por ciento de PET cumplió con la resistencia mínima requerido para ser usado en tránsito vehicular ligero, mientras que el adoquín con un 10 por ciento podría ser usado en vías peatonales y, finalmente, el adoquín con un 15 por ciento de PET, al no cumplir con los requisitos mínimos, podría ser usado con fines de albañilería, ya que cumplía con lo requerido por la E.070 para ladrillos hasta de tipo V. Por otro lado, los tres diseños cumplieron con los requisitos de absorción requeridos por la NTP 399.611.
- Ramos (2018), tomando como base una resistencia  $f'c = 320 \text{ kg/cm}^2$ , diseñó cuatro mezclas para determinar la dosificación (0, 10, 30 y 50 por ciento, respectivamente) de concreto reciclado que podría ser usada como sustitución de agregado fino y grueso para la fabricación de unidades de pavimento de bajo tránsito. Luego de realizados los ensayos de resistencia a la compresión, resistencia a la flexión por tracción (módulo de rotura) y absorción, se concluyó que únicamente la mezcla al 10 por ciento cumple con lo establecido en la NTP 399.611.
- Cabeza *et al* (2018), concluyeron que la incorporación de cenizas de cascarilla de arroz en todos los ensayos realizados (al 5, 10 y 15 por ciento, respectivamente) no contribuye en mejorar las propiedades de resistencia a la compresión y absorción de los adoquines de concreto, observándose una disminución en los resultados obtenidos conforme se aumenta el porcentaje de incorporación de este material. Sin embargo, el estudio concluye que los adoquines fabricados con hasta un 10 por ciento de incorporación de cenizas de cascarilla de arroz cumplen con los requisitos establecidos para un adoquín para pavimento tipo I y II de acuerdo con lo establecido en la NTP 399.611.
- Lovon *et al* (2019), reemplazan el agregado grueso con agregado grueso reciclado proveniente de la fractura de briquetas de concreto de calidad  $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ , obteniendo un adoquín tipo II que cumple con los parámetros establecidos (resistencia a la compresión, tolerancia dimensional, absorción) en la NTP 399.611 y que por lo tanto podrían ser utilizados para tránsito vehicular ligero.
- Consamollo (2019), utilizó residuos de concreto de construcción para la fabricación de adoquines para pavimento encontrando que si bien los residuos de concreto cumplen con los parámetros de porcentaje de absorción, peso específico, peso

unitario suelto y peso unitario compactado para su uso como agregados de acuerdo con lo establecido en la NTP 400.037 y los adoquines para pavimento resultantes cumplen con los parámetros de resistencia a la compresión axial y absorción establecidos en la NTP 399.611; su costo de fabricación no sería rentable al ser un 54 por ciento más costoso que un adoquín convencional. Cabe indicar que, como parte de su proceso experimental, Consamollo (2019) partió de la consideración que los adoquines debían tener una resistencia  $f'_m = 175 \text{ kg/cm}^2$ , para lo cual diseñó 3 mezclas con diferentes relaciones agua/cemento: 0.45, 0.56 y 0.65 y, a través de ensayos a compresión axial a los 7 días, extrapola la relación agua/cemento (= 0.33) que se debía considerar para conseguir la resistencia óptima deseada.

- Por su lado, Barriga (2019) comparó dos diseños de mezcla para lograr adoquines con una resistencia  $f'_m = 300 \text{ kg/cm}^2$ , correspondiente a un adoquín tipo I de uso peatonal. Un diseño de mezcla contempló el uso de agregados convencionales locales y el otro contempló sustituir el agregado fino por agregado a base de residuos de construcción. Finalmente, luego de ejecutar los ensayos de resistencia a la compresión a los 7, 14 y 28 días a una muestra de seis adoquines por vez, el ensayo de absorción a los 7, 14 y 28 días a una muestra de tres adoquines por vez y el ensayo de desgaste por abrasión a una muestra de seis adoquines; concluyó que los adoquines fabricados con residuos de construcción triturados a dimensiones de un agregado fino son aceptables.
- Así como los casos mencionados anteriormente, otras investigaciones realizadas evalúan la influencia de otros residuos como las cenizas de ladrillos artesanales (Cruz, 2019), caucho (Marín, 2020), poliestireno expandido (Pinedo, 2018), entre otros; en las propiedades físico-mecánicas de los adoquines para pavimento, con el fin de ofrecer alternativas para el reaprovechamiento de dichos residuos.

### III. MATERIALES Y MÉTODOS

#### 6.1 DISEÑO DE INVESTIGACIÓN:

La presente investigación se define dentro de los siguientes tipos:

- **Finalidad:** es una investigación de tipo aplicada, toda vez que pretenderá analizar, desde la perspectiva de la economía circular, la posibilidad de aprovechar los residuos de abrasivos usados en preparación de superficies generados por una planta industrial al sur del país y residuos de construcción para la fabricación de adoquines para pavimento, dando así un valor agregado a los residuos de abrasivos y previniendo su disposición en infraestructuras de disposición final de residuos.
- **Profundidad:** es una investigación de tipo exploratoria, toda vez que se ha encontrado que no se ha profundizado ampliamente en la posibilidad de aprovechamiento los residuos de abrasivos como materia prima para la fabricación de unidades de albañilería, concretamente para la fabricación de adoquines para pavimento.
- **Enfoque:** es una investigación de tipo cuantitativo, ya que los resultados de los ensayos a ser ejecutados en las diferentes fases de la investigación serán numéricos, medibles y comparables entre sí.
- **Alcance temporal:** es una investigación de tipo longitudinal y prospectiva dado que los datos se irán recolectando a lo largo de toda la investigación y serán usados en conjunto para la definición de las conclusiones.
- **Diseño:** es una investigación de tipo experimental pues se recolectará la información en campo necesaria en torno a los residuos de abrasivos que servirán para el desarrollo de la investigación, se recolectará la muestra y se aplicarán diferentes tratamientos para la fabricación de los adoquines para pavimento usando una proporción de reemplazo a base de residuos de abrasivos, se determinará las características de los adoquines fabricados mediante ensayos de laboratorio y se formularán las conclusiones en torno a los resultados obtenidos.

### **3.2 LUGAR DE EJECUCIÓN:**

Los ensayos de caracterización química de los residuos de garnet mediante chorro abrasivo seco y chorro abrasivo húmedo, así como de los agregados reciclados a base de residuos de construcción, se realizaron en las instalaciones del Laboratorio ALS LS PERÚ S.A.C. con sede en Cercado de Lima: Av. República Argentina 1859, Cercado de Lima – Lima, el cual es un laboratorio acreditado por INACAL con cédula de notificación 0409-2022-INACAL/DA.

Los ensayos de caracterización física de los residuos de garnet (chorro abrasivo seco y chorro abrasivo húmedo) y de los agregados reciclados a base de residuos de construcción, así como el proceso de fabricación y ensayo de los adoquines para pavimento tipo I, se realizaron en las instalaciones del Laboratorio N°1 de Ensayo de Materiales “Ing. Manuel Gonzáles De La Cotera” de la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional de Ingeniería ubicada en Av. Túpac Amaru N°210, Lima 25, Lima (ver Anexo 4: Plano de ubicación de las instalaciones del Laboratorio N°1 de Ensayo de Materiales “Ing. Manuel Gonzáles De La Cotera”); el cual es un laboratorio especializado en ensayos para el sector construcción certificado con ISO 9001.

### **3.3 POBLACIÓN Y MUESTRA**

La muestra de residuos de abrasivo usado para mantenimiento de superficies fue proporcionada por una planta industrial localizada en la costa sur del país, mientras que los agregados reciclados fino y grueso a base de residuos de construcción fueron adquiridos a la empresa MP RECICLA S.A.C. dedicada a la fabricación de materiales de albañilería a base de residuos de construcción y demolición y ubicada en Av. Santa Rosa Parcela P-48, Santa Rosa de Collanac, Cieneguilla, Lima.

Para la recolección de la muestra de residuos de abrasivo usado se realizó una muestra compuesta de diferentes lotes de abrasivos usados del tipo garnet GMA ToughBlast™ del proveedor GMA Garnet (USA) Corp. La cantidad recolectada estuvo en base a la cantidad necesaria para los ensayos de caracterización en laboratorio más la cantidad necesaria para el desarrollo de cada uno de los tratamientos definidos para la fabricación de los adoquines

para pavimento tipo I. En total se recolectaron 200kg de residuos de garnet mediante la técnica de chorro abrasivo seco y chorro abrasivo húmedo, respectivamente.

### **3.4 MATERIALES Y EQUIPOS:**

Entre los principales materiales a utilizar se tendrán:

- Residuos de garnet (marca GMA ExtremeBlast™) usado para la preparación de superficies mediante chorro abrasivo seco
- Residuos de garnet (marca GMA ExtremeBlast™) usado para la preparación de superficies mediante chorro abrasivo húmedo
- Agregado reciclado fino y grueso a base de residuos de construcción
- Cemento Portland tipo I
- Agua potable
- Baldes de 4 y 20 litros
- Pala mediana
- Wincha métrica
- Bolsas de plástico
- Equipo de protección personal (casco, guantes de cuero, lentes de seguridad, zapatos punta de acero, chaleco reflectivo, entre otros)
- Materiales de escritorio (libreta de campo, marcadores)

Entre los principales equipos a utilizar se tendrán:

- Balanza electrónica
- Mezcladora de concreto de 50 litros
- Vibro compactadora
- Cámara fotográfica
- Laptop con programas estadísticos a utilizar para el análisis de los resultados

En el Anexo 5: Panel fotográfico de los principales materiales empleados, se incluyen algunas fotografías de los materiales listados anteriormente.

### **3.5 MÉTODOS Y PROCEDIMIENTOS:**

El estudio se realizará en ocho etapas, las cuales se describen a continuación:

#### **3.5.1 CARACTERIZACIÓN DE LOS RESIDUOS DE ABRASIVOS USADOS PARA PREPARACIÓN DE SUPERFICIES**

##### **a. Estadísticas de generación de residuos de abrasivo (garnet)**

A fin de poder tener un marco de referencia sobre la cantidad de residuos de abrasivos usados en preparación de superficies, ya sea mediante la técnica de chorro abrasivo seco o la técnica de chorro abrasivo húmedo, que se podrían tener disponibles para valorización se procedió a recopilar la información sobre la disposición de este residuo en los últimos seis años en una planta industrial localizada en la costa sur del Perú. Esta información sirvió para identificar el volumen mensual promedio generado, número de servicios de transporte externo requeridos para la disposición final de este residuo, así como los costos asociados al transporte externo y disposición en un relleno sanitario autorizado.

Los resultados de este levantamiento de información se presentan en el Anexo 6: Estadísticas de manejo de residuos de abrasivo (garnet).

##### **b. Caracterización química de residuos de abrasivo (garnet)**

Dado que fue necesario establecer, en comparación con estándares nacionales e internacionales, si los residuos de abrasivos usados en preparación de superficies, ya sea mediante la técnica de chorro abrasivo seco o la técnica de chorro abrasivo húmedo, poseían características de peligrosidad que hiciesen necesario un manejo especial para su disposición final y/o imposibilitaran su empleo con fines de valorización para la fabricación de unidades de albañilería, el 4 de setiembre del 2022 se procedió a enviar muestras de dichos residuos al Laboratorio ALS LS PERÚ S.A.C. para el análisis de los parámetros mostrados en el Cuadro 12: Referencia de los métodos de ensayo empleados.

**Cuadro 12: Referencia de los métodos de ensayo empleados**

Parámetro	Ensayo	Método de referencia	Descripción
Hidrocarburos totales de petróleo (Fracción 1, C6 - C10)	Hidrocarburos totales de petróleo (Fracción 1, C6 - C10)	EPA Method 8015 C, Rev. 3. February 2007	Nonhalogenated Organics by Gas Chromatography
Hidrocarburos totales de petróleo (Fracción 2, C10 – C28 / Fracción 3, C28 – C40)	Hidrocarburos totales de petróleo (Fracción 2, C10 – C28 / Fracción 3, C28 – C40)		
Hidrocarburos totales de petróleo (C9 - C40)	Hidrocarburos totales de petróleo (C9 - C40)		
Benceno	Hidrocarburos aromáticos volátiles – VOCs (BTEX)	EPA Method 8260 D, Rev. 4, June. 2018	Volatile Organic Compounds by Gas Chromatography/Mass Spectrometry
Tolueno			
Etilbenceno			
m-Xileno			
p-Xileno			
o-Xileno			
Xilenos			
Naftaleno	Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos (PAHs)	EPA Method 8270 E Rev. 6 June. 2018	Semivolatile Organic Compounds by Gas Chromatography / Mass Spectrometry (GC/MS)
Plata (Ag)	Metales TCLP por ICP OES	EPA Method 1311 Rev 0, 1992	Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometry
Arsénico (As)			
Bario (Ba)			
Berilio (Be)			
Cadmio (Cd)			
Cromo (Cr)			
Níquel (Ni)			
Plomo (Pb)			
Antimonio (Sb)			
Selenio (Se)			
Zinc (Zn)			

Los resultados de los ensayos realizados se presentan en la sección 7.1.2 del presente trabajo de investigación.

### **c. Caracterización física de residuos de abrasivo (garnet)**

Dado que fue necesario establecer, en comparación con estándares nacionales, si los residuos de abrasivos usados en preparación de superficies, ya sea mediante la técnica de chorro abrasivo seco o la técnica de chorro abrasivo húmedo, poseían características físicas que hicieran posible su empleo con fines de valorización para la fabricación de unidades de albañilería, el 3 de octubre del 2022 se procedió a enviar muestras de dichos residuos al Laboratorio N°1 de Ensayo de Materiales “Ing. Manuel Gonzáles De La Cotera” de la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional de Ingeniería para el análisis de los parámetros mostrados en el Cuadro 13: Referencia de los métodos de ensayo empleados.

**Cuadro 13: Referencia de los métodos de ensayo empleados**

<b>Ensayo</b>	<b>Norma de referencia</b>
Análisis granulométrico del agregado fino, grueso y global	NTP 400.012
Determinación del peso unitario y vacíos en los agregados	NTP 400.017
Determinación de peso específico y absorción del agregado grueso	NTP 400.021
Determinación de peso específico y absorción del agregado fino	NTP 400.022
Determinación de contenido de humedad total evaporable de agregados por secado	NTP 339.185
Determinación cuantitativa de sales solubles	NTP 339.152

Los resultados de los ensayos realizados se presentan en la sección 7.1.3 del presente trabajo de investigación.

## **3.5.2 CARACTERIZACIÓN DE LOS AGREGADOS RECICLADOS A BASE DE RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN**

### **a. Estadísticas de generación de residuos de construcción**

A fin de poder tener un marco de referencia sobre la cantidad de residuos de construcción, principalmente concreto, que se podrían tener disponibles para valorización se procedió a recopilar la información sobre la disposición de este residuo en los últimos dos años en una planta industrial localizada en la costa sur del Perú. Esta información sirvió para identificar el volumen mensual promedio generado, número de servicios de transporte externo

requeridos para la disposición final de este residuo, así como los costos asociados al transporte externo y disposición en un relleno sanitario autorizado.

Los resultados de este levantamiento de información se presentan en el Anexo 7: Estadísticas de manejo de residuos de construcción.

#### **b. Caracterización química de los agregados reciclados a base de residuos de residuos de construcción**

Dado que fue necesario establecer, en comparación con estándares nacionales e internacionales, si los residuos de construcción, poseían características de peligrosidad que hiciesen necesario un manejo especial para su disposición final y/o imposibilitaran su empleo con fines de valorización para la fabricación de unidades de albañilería, el 4 de setiembre del 2022 se procedió a enviar muestras de dichos residuos al Laboratorio ALS LS PERÚ S.A.C. para el análisis de los parámetros mostrados en el cuadro 12: Referencia de los métodos de ensayo empleados.

Los resultados de los ensayos realizados se presentan en la sección 7.2.2 del presente trabajo de investigación.

#### **c. Caracterización física de los agregados reciclados a base de residuos de residuos de construcción**

Dado que fue necesario establecer, en comparación con estándares nacionales, si los residuos de construcción, poseían características físicas que hicieran posible su empleo con fines de valorización para la fabricación de unidades de albañilería, el 3 de octubre del 2022 se procedió a enviar muestras de dichos residuos al Laboratorio N°1 de Ensayo de Materiales “Ing. Manuel Gonzáles De La Cotera” de la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional de Ingeniería para el análisis de los parámetros mostrados en el cuadro 13: Referencia de los métodos de ensayo empleados.

Los resultados de los ensayos realizados se presentan en la sección 7.2.3 del presente trabajo de investigación.

### **3.5.3 DISEÑO DE MEZCLA PARA LA FABRICACIÓN DE ADOQUINES PARA PAVIMENTO TIPO I A BASE DE AGREGADOS RECICLADOS PROVENIENTES DE RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN**

Con la información obtenida como parte de la caracterización física de los residuos de construcción, se procedió a usar el método del American Concrete Institute (ACI) para la elaboración del diseño de mezcla de adoquines para pavimento tipo I a base de agregados reciclados provenientes de residuos de construcción. Este diseño constituyó el adoquín patrón sobre el cual se realizaron los reemplazos para los tratamientos detallados en la sección 6.5.3.

La metodología ACI 2011.1 empleada consistió en los siguientes pasos mostrados a continuación:

#### **a) Estudio de las especificaciones técnicas de obra y planos**

Previo al diseño de la mezcla de concreto se debe revisar los requisitos que debe cumplir la obra y/o unidades de albañilería para que puedan cumplir los requisitos aplicables durante su vida útil. En este caso, será importante la revisión de las normas técnicas y similares vigentes.

#### **b) Elección de la resistencia a la compresión promedio requerida ( $f'_{cr}$ )**

La resistencia a la compresión requerida (o característica),  $f'_c$ , a los 28 días, es la resistencia que debe lograr o superar el promedio de cualquier agrupación de tres ensayos consecutivos de resistencia (Kosmatka *et al*, 2004).

La resistencia promedio (resistencia media) debe ser igual a la resistencia especificada más una tolerancia que debe considerar las variaciones de los materiales, de los métodos de mezcla, del transporte y vaciado del concreto y variaciones en la producción, curado y ensayo de probetas cilíndricas de concreto. La resistencia media, que es mayor que  $f'_c$ , se llama  $f'_{cr}$ , y es la resistencia requerida en el diseño de la mezcla y una de las maneras de calcularla se muestra en el cuadro 14 (Kosmatka *et al*, 2004).

**Cuadro 14: Resistencia a la compresión promedio**

$f'_c$	$f'_{cr}$
Menos de 210	$f'_c + 70$
210 a 350	$f'_c + 84$
Sobre 350	$f'_c + 98$

**Fuente:** Adaptado de Laura, 2006

**c) Elección del Asentamiento, Revenimiento o Slump**

El concreto producido debe tener consistencia, trabajabilidad y plasticidad adecuadas de acuerdo con los usos que se le va a dar. La consistencia es la capacidad del concreto de fluir. La trabajabilidad es la medida de la facilidad o de la dificultad de acomodo, consolidación y acabado del concreto. Plasticidad es la facilidad de moldeo del concreto. Si se emplea mayor cantidad de agregado en el concreto o si se incorpora menor cantidad de agua, la mezcla se vuelve más rígida (menos trabajable y menos plástica) y difícil de moldearse. Ni las mezclas muy secas y desmoronables, ni las muy aguadas y fluidas se pueden considerar plásticas (Kosmatka *et al*, 2004).

El asentamiento puede ser elegido del siguiente cuadro:

**Cuadro 15: Valores de asentamiento**

Consistencia	Asentamiento
Seca	0" (0mm) a 2" (50mm)
Plástica	3" (75mm) a 4" (100mm)
Fluida	$\geq 5"$ (125mm)

**Fuente:** Adaptado de Laura (2006)

**d) Elección del máximo tamaño del agregado grueso**

Se recomienda que el máximo tamaño nominal del agregado grueso sea el mayor que sea disponible económicamente, siempre que sea compatible con las cualidad y dimensiones de la estructura. Se estima que, cuando se aumenta el máximo tamaño del agregado, disminuyen los requerimientos del agua de mezcla, aumentándose la resistencia del concreto (Laura, 2006).

**e) Estimación del agua de mezclado y contenido de aire.**

El contenido de agua se ve influenciado por diversos factores tales como tamaño, forma y textura del agregado, asentamiento, relación agua-cemento, contenido de agua, aditivos y condiciones ambientales (Kosmatka *et al*, 2004).

En mezclas adecuadamente proporcionadas, el incremento del máximo tamaño del agregado lleva a la reducción del contenido de mortero y, consecuentemente, a la reducción del contenido de aire requerido en el concreto (Kosmatka *et al*, 2004).

En el Cuadro 16 se muestran los requisitos aproximados de agua de mezcla y contenido de aire para diferentes valores de asentamiento y máximos tamaños nominales del agregado.

**Cuadro 16: Requisitos aproximados de agua de mezcla y contenido de aire para diferentes valores de asentamiento y máximos tamaños nominales del agregado**

Agua en l/m <sup>3</sup> para los máximos tamaños nominales de agregado grueso y asentamiento indicados								
Asentamiento (pulg) / Máximo tamaño nominal del agregado	3/8"	1/2"	3/4"	1"	1 1/2"	2"	3"	6"
	9.5mm	12.5mm	19mm	25mm	37.5mm	50mm	75mm	150mm
	Concreto sin aire incorporado							
1" a 2"	207	199	190	179	166	154	130	113
3" a 4"	228	216	206	193	181	169	145	124
6" a 7"	243	228	216	202	190	178	160	--
Cantidad aproximada de aire atrapado en un concreto sin aire incluido (porcentaje)	3	2.5	2	1.5	1	0.5	0.3	0.2

## Continuación

Agua en l/m <sup>3</sup> para los máximos tamaños nominales de agregado grueso y asentamiento indicados								
Asentamiento (pulg) / Máximo tamaño nominal del agregado	3/8"	1/2"	3/4"	1"	1 1/2"	2"	3"	6"
	9.5mm	12.5mm	19mm	25mm	37.5mm	50mm	75mm	150mm
Concreto con aire incorporado								
1" a 2"	181	175	168	160	150	142	122	107
3" a 4"	202	193	184	175	165	157	133	119
6" a 7"	216	205	197	184	174	166	154	--
Promedio del contenido de aire total recomendado, para el nivel de exposición (porcentaje)		2.5	2	1.5	1	0.5	0.3	0.2
Exposición blanda	4.5	4.0	3.5	3.0	2.5	2.0	1.5	1.0
Exposición moderada	6.0	5.5	5.0	4.5	4.5	4.0	3.5	3.0
Exposición severa	7.5	7.0	6.0	6.0	5.5	5.0	4.5	4.0

**Fuente:** Adaptado de Kosmatka *et al*, 2004

### f) Selección de la relación agua/cemento (a/c).

La relación agua/cemento es la masa del agua dividida por la masa del material cementante (cemento portland, cemento adicionado, ceniza volante, escorie, etc.).

La relación agua/cemento seleccionada para un diseño de mezcla debe ser el menor valor necesario para soportar a las condiciones de exposición esperadas.

El Cuadro 17 muestra los valores para diferentes condiciones.

**Cuadro 17: Relación agua/cemento por resistencia a la compresión**

Resistencia la compresión a los 28 días ( $f'_{cr}$ ) (kg/cm <sup>2</sup> )	Relación agua/cemento en peso	
	Concretos sin aire incorporado	Concretos con aire incorporado
150	0.80	0.71
200	0.70	0.61
250	0.62	0.53
300	0.55	0.46
350	0.48	0.4
400	0.43	--
450	0.38	--

Fuente: Adaptado de Laura (2006)

**g). Cálculo del contenido de cemento.**

La cantidad de cemento por unidad de volumen del concreto es establecida dividiendo la cantidad de agua por la relación a/c y, en base a dicho resultado, es posible determinar el volumen de cemento requerido dividiendo el contenido de cemento por el peso específico del mismo; tal como se muestra en las ecuaciones mostradas líneas debajo (Laura, 2006).

$$\text{Contenido de cemento } \left(\frac{kg}{m^3}\right) = \frac{\text{Contenido de agua de mezclado } \left(\frac{lbs}{m^3}\right)}{\text{Relación } \frac{a}{c} \text{ (para } f'_{cr}\text{)}}$$

$$\text{Volumen de cemento } (m^3) = \frac{\text{Contenido de cemento } (kg)}{\text{Peso específico del cemento } (kg/m^3)}$$

**h). Determinación del contenido de agregado grueso y agregado fino.**

Se determina el contenido de agregado en función del tamaño máximo nominal del agregado grueso y del módulo de fineza del agregado fino.

El Cuadro 18 permite obtener un coeficiente b/b<sub>0</sub> resultante de la división del peso seco del agregado grueso entre el peso unitario seco y compactado del agregado grueso.

**Cuadro 18: Volumen de agregado grueso por unidad de volumen de concreto**

Tamaño máximo nominal del agregado grueso		Volumen de agregado grueso, seco y compactado (*) por unidad de volumen de concreto para diferentes módulos de fineza del agregado fino (b/b <sub>0</sub> )			
		Módulo de fineza del agregado fino			
		2.4	2.6	2.8	3
10	3/8"	0.5	0.48	0.46	0.44
12.5	1/2"	0.59	0.57	0.55	0.53
20	3/4"	0.66	0.64	0.62	0.6
25	1"	0.71	0.69	0.67	0.65
40	1 1/2"	0.76	0.74	0.72	0.7
50	2"	0.78	0.76	0.74	0.72
70	3"	0.81	0.79	0.77	0.75
150	6"	0.87	0.85	0.83	0.81

Fuente: Adaptado de Laura (2006)

Obtenido b/b<sub>0</sub>, se procede a estimar la cantidad de agregado grueso necesario para un metro cúbico de concreto, usando la fórmula mostrada a continuación:

$$\text{Peso seco del ag. grueso} \left( \frac{kg}{m^3} \right) = \frac{b}{b_0} \times \text{Peso unitario compactado del ag. grueso}$$

De tal forma, los volúmenes de los agregados grueso y fino serán:

$$\text{Vol. ag. grueso} (m^3) = \frac{\text{Peso seco del ag. grueso}}{\text{Peso específico del agr. grueso}}$$

$$\text{Vol. ag. fino} (m^3) = 1 - (\text{Vol. agua} + \text{Vol. cemento} + \text{Vol. ag. grueso})$$

Finalmente, el peso del agregado fino se calculará de la siguiente forma:

$$\text{Peso ag. fino} \left( \frac{kg}{m^3} \right) = (\text{Volumen ag. fino}) * (\text{Peso específico del ag. fino})$$

#### **i). Ajustes por humedad y absorción.**

Según Laura (2006), el contenido de agua adicionada para formar la pasta se verá influenciado por el contenido de humedad de los agregados. Si estos están secos al aire, absorberán agua y disminuirán la trabajabilidad y la relación a/c. Por otro lado, si estos tienen humedad libre en su superficie (es decir, se encuentran mojados) aportarán una fracción de esa agua a la pasta incrementando la trabajabilidad, la relación a/c y disminuyendo la resistencia a compresión. Por lo tanto, estos efectos deben ser estimados y la mezcla debe ser ajustada tomándolos en cuenta.

Pesos de los agregados húmedos:

$$\text{Peso ag. grueso húmedo (kg)} = (\text{Peso ag. grueso seco}) * \left( \frac{\%humedad}{100} + 1 \right)$$

$$\text{Peso ag. fino húmedo (kg)} = (\text{Peso ag. fino seco}) * \left( \frac{\%humedad}{100} + 1 \right)$$

Agua efectiva:

$$\text{Agua en ag. grueso} = (\text{Peso ag. grueso seco}) * \left( \frac{\%humedad - \%absorción}{100} \right) = X$$

$$\text{Agua en ag. fino} = (\text{Peso ag. fino seco}) * \left( \frac{\%humedad - \%absorción}{100} \right) = Y$$

$$\text{Agua efectiva (Lts)} = \text{Agua de diseño} - (X + Y)$$

#### **j). Cálculo de proporciones en peso**

Cemento:	Agregado fino:	Agregado grueso:	Agua:
$\frac{\text{Peso cemento}}{\text{Peso cemento}}$	$\frac{\text{Peso ag. fino húmedo}}{\text{Peso cemento}}$	$\frac{\text{Peso g. grueso húmedo}}{\text{Peso cemento}}$	$\frac{\text{Agua efectiva}}{\text{Peso cemento}}$

#### **k). Cálculo de proporciones en volumen**

$$\text{Vol. cemento (m}^3\text{)} = \frac{\text{Peso cemento (kg)}}{\text{Peso unitario } \left( \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right)}$$

$$\text{Vol. ag. fino (m}^3\text{)} = \frac{\text{Peso ag. fino húmedo (kg)}}{\text{Peso unitario ag. fino húmedo } \left( \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right)}$$

$$\text{Vol. ag. grueso (m}^3\text{)} = \frac{\text{Peso ag. grueso húmedo (kg)}}{\text{Peso unitario ag. grueso húmedo } \left( \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right)}$$

En el caso del agua, éste se calculará en litros por bolsa de cemento (Lts/Bls), de la siguiente manera:

$$\text{Agua } \left( \frac{\text{Lts}}{\text{Bls}} \right) = \frac{\text{Cantidad de agua por m}^3 \text{ de cemento}}{\left( \frac{\text{Peso cemento por m}^3 \text{ de cemento}}{\text{Peso cemento por bolsa (= 42.5kg)}} \right)}$$

Finalmente, las proporciones por volumen se expresarán:

Cemento:	Agregado fino:	Agregado grueso:	Agua:
$\frac{Vol. cemento}{Vol. cemento}$	$\frac{Vol. ag. fino húmedo}{Vol. cemento}$	$\frac{Vol. ag. grueso húmedo}{Vol. cemento}$	Agua (Lts/bls)

El desarrollo del diseño de mezcla del adoquín patrón a base de agregados reciclados de residuos de construcción y demolición se presenta en la sección 7.3 del presente trabajo de investigación.

### **3.5.4 DISEÑO DE TRATAMIENTOS DE REEMPLAZO CON RESIDUOS DE ABRASIVOS (GARNET) EN ADOQUINES PARA PAVIMENTO TIPO I FABRICADOS CON AGREGADOS RECICLADOS PROVENIENTES DE RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN**

Una vez que se contó con el diseño de mezcla del adoquín patrón a base de agregados reciclados de residuos de construcción se procedió a determinar los tratamientos de reemplazo con abrasivos usados, tanto mediante la técnica de chorro abrasivo seco como la técnica de chorro abrasivo húmedo.

El diseño experimental escogido consistió en siete tratamientos (T) con una sola réplica considerando un tratamiento blanco (T-0) representado por el adoquín patrón a base exclusivamente de agregados reciclados provenientes de residuos de construcción, tres tratamientos a base de los residuos de abrasivo generados mediante la técnica de chorro abrasivo seco (T-S) y tres tratamientos a base de los residuos de abrasivo generados mediante la técnica de chorro abrasivo húmedo (T-H). La descripción de los tratamientos se muestra en el Cuadro 19.

**Cuadro 19: Tratamientos de prueba para la fabricación de adoquines para pavimento**

Código	Descripción del tratamiento
T0	100 por ciento de agregado reciclado fino a base de residuos de la construcción, 100 por ciento de agregado reciclado grueso a base de residuos de construcción, concreto portland tipo I y agua potable.
T1-S	15 por ciento residuos de abrasivo (garnet) generado por la técnica de chorro abrasivo seco + 85 por ciento de agregado reciclado fino a base de residuos de construcción, 100 por ciento de agregado reciclado grueso a base de residuos de construcción, concreto portland tipo I y agua potable.

## Continuación

Código	Descripción del tratamiento
T2-S	30 por ciento residuos de abrasivo (garnet) generado por la técnica de chorro abrasivo seco + 70 por ciento de agregado reciclado fino a base de residuos de construcción, 100 por ciento de agregado reciclado grueso a base de residuos de construcción, concreto portland tipo I y agua potable.
T3-S	50 por ciento residuos de abrasivo (garnet) generado por la técnica de chorro abrasivo seco + 50 por ciento de agregado reciclado fino a base de residuos de construcción, 100 por ciento de agregado reciclado grueso a base de residuos de construcción, concreto portland tipo I y agua potable.
T1-H	15 por ciento residuos de abrasivo (garnet) generado por la técnica de chorro abrasivo húmedo + 85 por ciento de agregado reciclado grueso a base de residuos de construcción, 100 por ciento de agregado reciclado fino a base de residuos de construcción, concreto portland tipo I y agua potable.
T2-H	30 por ciento residuos de abrasivo (garnet) generado por la técnica de chorro abrasivo húmedo + 70 por ciento de agregado reciclado grueso a base de residuos de construcción, 100 por ciento de agregado reciclado fino a base de residuos de construcción, concreto portland tipo I y agua potable.
T3-H	50 por ciento residuos de abrasivo (garnet) generado por la técnica de chorro abrasivo húmedo + 50 por ciento de agregado reciclado grueso a base de residuos de construcción, 100 por ciento de agregado reciclado fino a base de residuos de construcción, concreto portland tipo I y agua potable.

En total, se definió que se fabricarían 15 unidades de adoquines para pavimento por cada tratamiento, cantidad suficiente para permitir la realización de todos los ensayos considerados como parte del presente trabajo de investigación.

El desarrollo del diseño específico de mezcla para cada tratamiento de reemplazo con residuos de abrasivo (garnet) se muestra en la sección 7.4 del presente trabajo de investigación.

### **3.5.5 FABRICACIÓN DE ADOQUINES PARA PAVIMENTO TIPO I A BASE DE AGREGADOS RECICLADOS PROVENIENTES DE RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN Y RESIDUOS DE ABRASIVOS (GARNET)**

Una vez se contó con los diseños de mezcla de todos los tratamientos a ser realizados, los días 19 al 21 de octubre de 2022 se procedió a la fabricación de los adoquines para pavimento en las instalaciones del Laboratorio N°1 de Ensayo de Materiales “Ing. Manuel Gonzáles De La Cotera” de la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional de Ingeniería. Los pasos llevados a cabo para la fabricación de los adoquines para pavimento se detallan a continuación:

- a) Fabricación de moldes de adoquines.- se fabricó con material fenólico un total de 60 moldes de adoquines de dimensiones 20cm de largo, 10cm de ancho y 6 cm de altura.
- b) Segregación de impurezas.- se vio por conveniente realizar el tamizado de los residuos de abrasivos usados a fin de retirar partículas extrañas de mayor tamaño tales como escorias de óxido, escamas de pintura, alambres, etc.
- c) Pesaje de los insumos.- se realizó con el fin de cumplir con las proporciones establecidas en cada uno de los tratamientos definidos.
- d) Mezclado.- se utilizó una mezcladora de concreto eléctrica de 50lt de capacidad a fin de formar una mezcla semihúmeda homogénea, la cual luego fue retirada para facilitar su vaciado en los moldes de adoquines correspondiente.
- e) Vibro compactado y moldeado.- la mezcla se depositó en los moldes fabricados los cuales fueron previamente engrasados con petróleo y aceite para facilitar el posterior retiro de las piezas de adoquín. La mezcla fue sometida a compactación en una máquina vibro compactadora por un periodo entre 2-5 minutos a fin de conseguir una mejor distribución de la mezcla en el molde y reducir así los espacios vacíos en las piezas de adoquín. Una vez concluido el proceso de vibro compactado los moldes de adoquines fueron rotulados y llevados a la zona de secado.
- f) Secado.- los moldes de adoquines fueron colocados en una superficie plana, sin exposición directa al sol por 24 horas. Luego de ello fueron desmoldados, rotulados y llevados a la zona de curado. Los moldes fueron limpiados y reensamblados para su reuso.
- g) Curado.- los adoquines fueron sumergidos en agua como parte del proceso de curado, siendo retirados el día anterior a la realización de los ensayos correspondientes.

En el cuadro 20 se muestran las fechas exactas en las que cuales se procedió con la fabricación de los diferentes tratamientos de adoquines para pavimentos del presente trabajo de investigación.

**Cuadro 20: Fechas de fabricación de los adoquines para pavimento**

<b>Código de tratamiento</b>	<b>Fecha de fabricación</b>
T1-S / T2-S / T3-S	19 de octubre de 2022
T1-H / T2-H / T3-H	20 de octubre de 2022
T-0	21 de octubre de 2022

En el Anexo 8: Registro fotográfico del proceso de fabricación de adoquines para pavimento, se presenta el desarrollo de los pasos previamente.

### **3.5.6 ENSAYOS DE LABORATORIO PARA DETERMINAR EL CUMPLIMIENTO DE LOS REQUISITOS DE CALIDAD DE LOS ADOQUINES PARA PAVIMENTO TIPO I A BASE DE AGREGADOS RECICLADOS PROVENIENTES DE RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN Y RESIDUOS DE ABRASIVOS (GARNET)**

Una vez concluido el proceso de fabricación de los adoquines y, de acuerdo con los tiempos definidos para cada ensayo planteado, se procedió a realizar los ensayos considerados para determinar si los adoquines fabricados cumplían con los requisitos de calidad establecidos en las Normas Técnicas Peruanas (NTP por su siglas en español) correspondientes para su aceptación y uso. Dichos ensayos fueron realizados en las instalaciones del Laboratorio N°1 de Ensayo de Materiales “Ing. Manuel Gonzáles De La Cotera” de la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional de Ingeniería, siguiendo los métodos y procedimientos de acuerdo con la NTP 399.604.2002 (revisada el 2015) “Unidades de Albañilería. Métodos de muestreo y ensayo de unidades de albañilería de concreto”.

En el Cuadro 21 se muestra el detalle de los ensayos realizados a los adoquines para pavimento como parte del presente trabajo de investigación, así como las normas de referencia, cantidad de unidades de adoquines a ensayar y los tiempos de ensayo correspondientes.

**Cuadro 21: Referencia de los métodos de ensayo empleados**

<b>Ensayo</b>	<b>Norma de referencia</b>	<b>Cantidad de unidades requeridas por ensayo</b>	<b>Tiempo de ensayo</b>
Medida de tamaño (dimensionamiento) en unidades de albañilería	NTP 399.613	3 unidades	A los 7 días
Ensayo de comprensión en unidades de adoquines	NTP 399.611	3 unidades	A los 7, 14 y 28 días
Ensayo de absorción en unidades de adoquines	NTP 399.611	3 unidades	A los 7 y 28 días

Los resultados de los ensayos por cada tratamiento planteado se muestran en la sección 7.5 del presente trabajo de investigación.

### **3.5.7 ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LOS RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE LABORATORIO REALIZADOS A LOS ADOQUINES PARA PAVIMENTO TIPO I A BASE DE AGREGADOS RECICLADOS PROVENIENTES DE RESIDUOS CONSTRUCCIÓN Y RESIDUOS DE ABRASIVOS (GARNET)**

Para el análisis estadístico de los datos se empleó la Inferencia Estadística de acuerdo con las hipótesis planteadas anteriormente, para lo cual se establecieron afirmaciones en cada caso para la hipótesis nula ( $H_0$ ) y la hipótesis alterna ( $H_1$ ). El instrumento utilizado fue la prueba de ANOVA, la cual permitió analizar las diferencias entre los siete tratamientos establecidos para los adoquines para pavimento. Como parte del análisis, se realizó la prueba de Shapiro-Wilk para comprobar si se cumple con el criterio de Normalidad, luego se utilizó la prueba de Levene para corroborar si se cumplía con la igualdad de varianzas y; finalmente, se realizó la prueba de hipótesis mediante ANOVA de un factor. Para facilitar el ordenamiento de los datos se utilizó una plantilla de Excel, así como el software estadístico SPSS (Statistical Package For The Social Sciences).

Con lo anterior mencionado, se buscó determinar el mejor tratamiento haciendo énfasis en el cumplimiento de los requisitos de calidad establecidos en las Normas Técnicas Peruanas (NTP por sus siglas en español) correspondientes para la aceptación y uso de los adoquines para pavimento fabricados.

Los resultados del análisis estadístico realizado por cada tratamiento planteado se muestran en la sección 7.6 del presente trabajo de investigación.

### **3.5.8 ESTIMACIÓN DE COSTOS DE LAS ALTERNATIVAS DE MANEJO DE RESIDUOS DE ABRASIVOS (GARNET) Y RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN**

En base a la información recopilada en sección 7.1 y 7.2, se calcularon los costos aproximados asociados al manejo de los residuos de abrasivos (garnet) y residuos de construcción de una planta industrial localizada en la costa sur del país haciendo énfasis en los costos de transporte y disposición final. Asimismo, se calculó el costo de producción de los adoquines para pavimento elaborados haciendo uso de agregados reciclados provenientes de residuos de construcción y residuos de abrasivos, para lo fue necesario identificar y estimar los diferentes costos parciales que debían ser tomados en cuenta para tal fin.

Por último, se realizó un análisis comparativo de los costos obtenidos para ambas alternativas a fin de determinar si el aprovechamiento de los residuos de abrasivos para su empleo como reemplazo de agregados en una mezcla para la fabricación de adoquines para pavimento tipo I representa alguna ventaja económica frente a su disposición.

Los resultados de la estimación de costos se muestran en la sección 7.7 del presente trabajo de investigación.

## **IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

En el presente capítulo se mostrarán los resultados obtenidos en cada una de las etapas del trabajo de investigación.

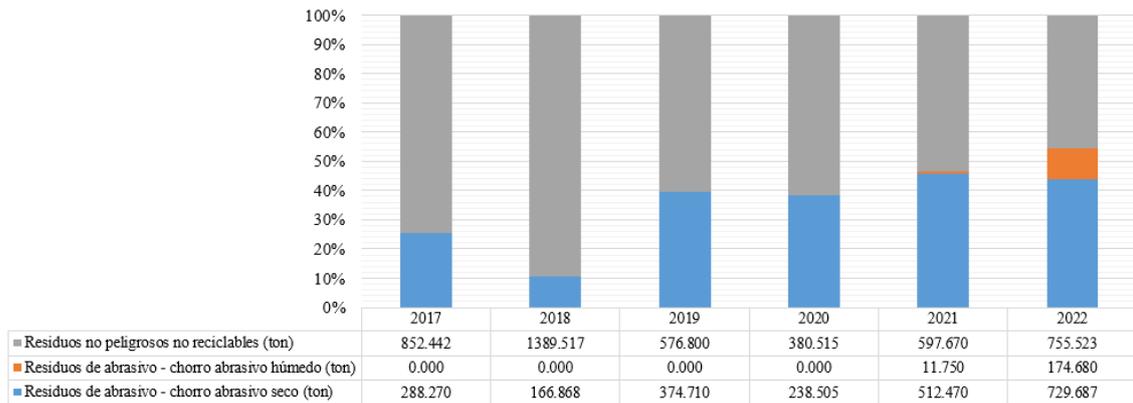
### **4.1 CARACTERIZACIÓN DE LOS RESIDUOS DE ABRASIVOS USADOS EN PREPARACIÓN DE SUPERFICIES**

#### **4.1.1 ESTADÍSTICAS DE GENERACIÓN DE RESIDUOS DE ABRASIVO (GARNET)**

La información obtenida sobre la generación de residuos de abrasivos usados en preparación de superficies ya sea mediante la técnica de chorro abrasivo seco o la técnica de chorro abrasivo húmedo, de los últimos seis años en una planta industrial localizada en la costa sur del Perú se muestra en el Anexo 6: Estadísticas de manejo de residuos de abrasivo (garnet).

En la Figura 10: Generación anual de residuos de abrasivos, se puede observar cómo los residuos de abrasivos representan un porcentaje considerable en comparación con la generación total de residuos, el cual va entre el 6.95 por ciento en el año 2018 y el 25.60 por ciento en el año 2022. Se puede observar asimismo cómo la generación en toneladas de este residuo ha ido aumentando en el tiempo (con excepción del año 2020, donde las actividades de preparación de superficie se vieron interrumpidas por la pandemia de COVID-19), pasando de ser 288.27ton en el año 2017 a 904.37ton en el año 2022. La razón de este comportamiento está explicada, en parte, a que la corrosión se incrementa conforme transcurre el tiempo y se tiene una mayor exposición a factores climáticos haciendo necesario que se multipliquen los esfuerzos enfocados al mantenimiento de estructuras con miras a su preservación, dando así lugar a una mayor demanda de actividades de preparación de superficie con el consecuente aumento de los residuos asociados. Finalmente, de la Figura 10 se puede observar que recién en el año 2021 se dan inicio las actividades de preparación de superficie mediante la técnica del chorro abrasivo húmedo y que la cantidad de residuos

generados por esta técnica es considerablemente menor en comparación a los generados mediante la técnica del chorro abrasivo seco, principalmente debido a que la primera es una técnica usada en áreas de difícil acceso y/o en áreas de menor envergadura que requieren un acabado puntual; mientras que la segunda es una técnica ampliamente usada para áreas de trabajo de mayor superficie.



**Figura 10: Generación anual de residuos de abrasivos**

#### 4.1.2 CARACTERIZACIÓN QUÍMICA DE RESIDUOS DE ABRASIVO (GARNET)

En el cuadro 22: Composición del material abrasivo: Garnet GMA ExtremeBlast™, se puede observar que el garnet nuevo es una mezcla natural de granate almandino y otros minerales, por lo cual no requiere precauciones especiales para su manipulación al ser además un sólido inerte. Según GMA Garnet USA Corporation (2018), desde un punto de vista ecológico, no se conoce ecotoxicidad para este material, es insoluble en el agua y es poco probable que contamine las vías navegables o las cadenas alimentarias. Asimismo, las pruebas del procedimiento de lixiviación con características de toxicidad (TCLP) han demostrado que este material no es una sustancia peligrosa o tóxica (GMA Garnet USA Corporation, 2018).

**Cuadro 22: Composición del material abrasivo: Garnet GMA ExtremeBlast™**

Identidad química	Nombre común	Proporción (porcentaje en peso)
$(\text{Fe,Ca})_3\text{Al}_2(\text{SiO}_4)_3$	Granate	>92
$\text{FeTiO}_3$	Ilmenita	1
$\text{SiO}_2$	Cuarzo (sílice cristalina)	<0.3

**Continuación**

Identidad química	Nombre común	Proporción (porcentaje en peso)
(Ca,Fe <sub>2</sub> )(Si,Al) <sub>2</sub> O <sub>6</sub> (Mg,Mn)(Si,Al) <sub>2</sub> O <sub>6</sub> (Mg,Mn <sub>2</sub> )(Si,Al) <sub>2</sub> O <sub>6</sub>	Piroxeno	3
Ca <sub>2</sub> (Mg,Fe,Al) <sub>5</sub> (Al,Si) <sub>8</sub> O <sub>22</sub> (OH) <sub>2</sub>	Hornblenda	3.5

Fuente: Adaptado de GMA Garnet USA Corporation (2018).

Puede encontrarse más información sobre el garnet en el Anexo 9: Ficha de datos de seguridad de Garnet GMA ExtremeBlast™.

En el cuadro 23: Caracterización de peligrosidad de residuos de abrasivos, se presentan los resultados de los análisis químicos efectuados a las muestras enviadas al Laboratorio ALS LS PERÚ S.A.C. el 4 de setiembre de 2022, así como los estándares nacionales e internacionales que fueron usados para su interpretación.

**Cuadro 23: Caracterización de peligrosidad de residuos de abrasivos**

Ensayo	Parámetro	Norma de referencia	ECA Suelo Uso de. Suelo: Comercial / Industrial / Extractivo	EOW Code Garnet Sand	RCRA 40 CFR Part 261.24 Toxicity characteristic	Unidad	Arenado residual técnica chorro abrasivo seco	Arenado residual - técnica chorro abrasivo húmedo
Hidrocarburos Totales de Petróleo	Hidrocarburos Totales de Petróleo (F1, C6-C10)	EPA METHOD 8015 C, Rev. 3 2007	500	-	-	mg/kg	< 0,6	< 0,6
	Hidrocarburos Totales de Petróleo, F2(>C10-C28)	EPA METHOD 8015 C Rev. 03 February 2007	5000	-	-	mg/kg	22,3	5,2
	Hidrocarburos Totales de Petróleo, F3(>C28-C40)	EPA METHOD 8015 C Rev. 03 February 2007	6000	-	-	mg/kg	29,0	16,2
	Hidrocarburos Totales de Petróleo (C9-C40)	EPA METHOD 8015 C Rev. 03 February 2007	-	-	-	mg/kg	54,6	24,2
Hidrocarburos aromáticos volátiles – VOCs (BTEX)	Benceno	EPA Method 8260 D, Rev. 4, June. 2018	0.03	0.5	0.5	mg/kg	< 0,00129	< 0,00129
	Tolueno		0.37	10	-	mg/kg	< 0,00145	< 0,00145
	Etilbenceno		0.082	1.5	-	mg/kg	< 0,00198	< 0,00198
	Xilenos		11	1.6	-	mg/kg	< 0,00409	< 0,00409
Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos (PAHs)	Benzo (a) Pireno	EPA Method 8270 E Rev. 6 June. 2018	0.7	-	-	mg/kg	< 0,0009	< 0,0009
	Naftaleno		22	0.5	-	mg/kg	< 0,0009	< 0,0009
Metales TCLP por ICP OES	Plata (Ag)	EPA Method 1311 Rev 0, 1992	-	-	5	mg/L	< 0,01	< 0,01
	Arsénico (As)		-	10	5	mg/L	< 0,02	< 0,02
	Bario (Ba)		-	-	100	mg/L	0,393	0,021
	Cadmio (Cd)		-	1	1	mg/L	< 0,0015	< 0,0015
	Cromo (Cr)		-	30	5	mg/L	< 0,004	< 0,004
	Níquel (Ni)		-	30	-	mg/L	< 0,01	< 0,01
	Plomo (Pb)		-	20	5	mg/L	< 0,02	< 0,02
	Selenio (Se)		-	-	1	mg/L	< 0,03	< 0,03
Zinc (Zn)	-	60	-	mg/L	39,97	15,15		
Mercurio Total	Mercurio Total	EPA 7471 B, Rev 2, February 2007	-	-	0.2	mg/kg	< 0,01	< 0,01

Tal cual se puede observar en el Cuadro 23, la totalidad de valores obtenidos para los parámetros en evaluación se encuentran muy por debajo de los valores referenciales señalados en las normas de referencia con los que fueron comparados, para los cuales se consideró el ECA – Suelo como normativa nacional de referencia y el EOW Code Garnet

Sand y RCRA 40 CFR Part 261.24 Toxicity characteristic, como normativas internacionales de referencia. En el caso del ECA Suelo – Uso de Suelo: comercial / industrial / extractivo, ésta norma fue escogida para evaluar el impacto que tendrían los residuos de abrasivo en el supuesto de que entren en contacto con el suelo en el entorno industrial donde fueron generados. En el caso del EOW Code Garnet Sand, cómo se indica en la sección 5.3.2, ésta es una norma referencial dada en Queensland para facilitar la determinación de la factibilidad o no de reusar residuos de garnet para otros usos. Si bien esta norma no considera evaluar la existencia de hidrocarburos totales de petróleo, se resalta la evaluación de hidrocarburos aromáticos volátiles (VOCs) con valores de referencia menores a los encontrados en los ECA- Suelo, así como la evaluación de seis metales por TCLP, encontrándose en esta última evaluación que el Zinc (Zn) sería el parámetro que presenta una concentración ligeramente elevada, presentando un valor de 39.97mg/L en el caso del arenado residual mediante la técnica del chorro abrasivo seco y un valor de 15.15mg/L en el caso del arenado residual mediante la técnica del chorro abrasivo húmedo. Esta diferencia podría verse atribuida al mayor número de veces que el primero puede ser reusado en una misma estructura, con lo cual podría estar acumulando mayores concentraciones de partículas como parte del proceso de abrasión de las estructuras tratadas. La misma tendencia se observa en el caso del Bario (Ba), donde se tiene un valor de 0.393mg/L en el caso del arenado residual mediante la técnica del chorro abrasivo seco y un valor de 0.021mg/L en el caso del arenado residual mediante la técnica del chorro abrasivo húmedo. Independientemente de ello, ambos valores se encuentran por debajo del valor de referencia. Finalmente, en el caso del RCRA 40 CFR Part 261.24 Toxicity characteristic se resaltan valores más estrictos en cuanto la concentración de ciertos metales y la inclusión del parámetro de Mercurio total. Al igual que en los casos anteriores, todos los parámetros se encuentran por debajo de los valores referenciales, lo cual corrobora lo indicado por Muttashar *et al* (2018), citado por Aziera *et al* (2021), quienes señalaron que los resultados de la prueba de lixiviación de una muestra de garnet residual se encuentran por debajo de los límites de control. Por ende, se puede concluir que los residuos de abrasivos, tanto mediante la técnica del chorro abrasivo seco como por la técnica del chorro abrasivo húmedo, pueden ser considerados como residuos no peligrosos y son aptos para poder ser considerados con miras a alternativas de valorización.

Los informes de los ensayos realizados en el Laboratorio ALS LS PERÚ S.A.C. pueden encontrarse en el Anexo 10: Informes de ensayo de residuos de abrasivos y agregados reciclados a base de residuos de la construcción - Laboratorio ALS LS PERÚ S.A.C.

#### 4.1.3 CARACTERIZACIÓN FÍSICA DE RESIDUOS DE ABRASIVO (GARNET)

En el cuadro 24: Propiedades físicas del material abrasivo: Garnet GMA ExtremeBlast™, se puede observar que el garnet nuevo es una arena de origen aluvial, la cual ha sido triturada para presentar un tamaño de partícula en el rango promedio de 0.15 a 1.00mm, por lo cual le correspondería poder ser analizada comparativamente dentro de la categoría de agregado fino.

**Cuadro 24: Propiedades físicas del material abrasivo: Garnet GMA ExtremeBlast™**

Propiedad física	Descripción
Apariencia:	Arena que fluye libremente de color rosa a rojo
Olor:	Inodoro
pH:	8.0
Punto de fusión:	Aproximadamente 1250°C (2282°F)
Punto de inflamación:	Incombustible
Gravedad específica:	4.1
Solubilidad:	Insoluble
Radioactividad:	No detectable por encima de los niveles de fondo.
Dureza:	7.5 – 8.0 Mohs
Tamaño de partícula:	Rango promedio entre 0.15 – 1.00 mm
Forma de la partícula:	Subangular a angular
Fuente:	Granate aluvial y triturado
Densidad a granel:	Aproximadamente 2.4 t/m <sup>3</sup> (149.82 lb/ft <sup>3</sup> )
Contenido de compuestos orgánicos volátiles:	Por debajo de los límites detectables

**Fuente:** Adaptado de GMA Garnet USA Corporation (2018).

En el Cuadro 25: Caracterización granulométrica de residuos de abrasivos, se observa el comparativo realizado a los residuos de abrasivos mediante la técnica de chorro abrasivo seco y la técnica del chorro abrasivo húmedo bajo los requerimientos de granulometría para agregados finos señalados en la NTP 400.037 “Agregados - Agregados para concreto – Requisitos” (Ver Anexo 3: Requisitos granulométricos para agregado fino y agregado grueso). A partir de dichos resultados se puede observar que ninguno de los dos residuos de abrasivos presenta las proporciones óptimas para ser considerados como un agregado fino ya que tienen deficiencias de proporción en los cuatro primeros tamices y cuentan con más del 45 por ciento del total que pasa en alguna malla y es retenido en la siguiente malla

consecutiva, siendo esto último una contraindicación de acuerdo con la NTP 400.037. Independientemente de ello, dado que la NTP 400.037 estipula que, cuando existan estudios que aseguren la calidad del concreto producido, es posible el uso de agregados que no cumplen con la granulometría especificada; no se descarta la factibilidad del empleo de los residuos de abrasivos para el presente trabajo de investigación.

**Cuadro 25: Caracterización granulométrica de residuos de abrasivos**

Tamiz	Porcentaje que pasa ASTM C 33 Huso Agr. Fino	Residuos de abrasivo (garnet) - técnica de chorro abrasivo seco			Residuos de abrasivo (garnet) - técnica de chorro abrasivo húmedo		
		Porcentaje retenido	Porcentaje retenido acumulado	Porcentaje que pasa	Porcentaje retenido	Porcentaje retenido acumulado	Porcentaje que pasa
9.5 mm (3/8 pulg)	100	0.0	0.0	100.0	0.0	0.0	100.0
4.75 mm (No. 4)	95 a 100	0.0	0.0	100.0	0.0	0.0	100.0
2.36 mm (No. 8)	80 a 100	0.1	0.1	99.9	0.0	0.0	100.0
1.18 mm (No. 16)	50 a 85	0.5	0.6	99.4	0.0	0.0	100.0
600 µm (No. 30)	25 a 60	2.0	2.6	97.4	0.4	0.4	99.6
300 µm (No. 50)	5 a 30	24.4	27.0	73.0	36.1	36.5	63.5
150 µm (No. 100)	0 a 10	48.9	75.9	24.1	56.1	92.6	7.4
75 µm (No. 200)	0 a 3 <sup>ab</sup>	24.1	100.0	0.0	7.4	100.0	0.0

En el cuadro 26: Caracterización física de residuos de abrasivos, se muestran los resultados de algunos ensayos ejecutados a los residuos de abrasivos mediante la técnica de chorro abrasivo seco y la técnica de chorro abrasivo húmedo. De ellos se destaca que el valor del módulo de finura, el cual representa el tamaño promedio que poseen partículas de la muestra y es un referente para examinar la uniformidad de los agregados, es menor a 2.3 para ambos residuos de abrasivos; con lo cual no estaría cumpliendo con uno de los requisitos establecidos en la NTP 400.037. Tener valores de módulo de finura menores a 2.3 sugeriría que las mezclas a preparar con los residuos de abrasivos podrían requerir mayor consumo de cemento para obtener resultados óptimos, lo cual impactaría en términos económicos la rentabilidad de la producción de los adoquines para pavimento y podría además inducir a cambios volumétricos en los adoquines fabricados (López & Pinedo, 2015). Finalmente, se destaca también que los porcentajes de absorción y humedad obtenidos para los residuos de abrasivos mediante la técnica del chorro abrasivo seco son mayores a los obtenidos mediante la técnica del chorro abrasivo húmedo y ello se explicaría por la diferencia de tamaño de partícula ya que al tener las partículas de los residuos de abrasivos mediante la técnica del chorro abrasivo seco tamaños menores, lo cual puede observarse en los resultados mostrados en el cuadro 25, se tiene mayor presencia de poros que pueden ser saturados. Sin embargo,

es importante resaltar que tanto el arenado residual mediante la técnica del chorro abrasivo seco como el arenado residual mediante la técnica del chorro abrasivo húmedo, presentan una capacidad de absorción similar a la encontrada en agregados vírgenes; teniendo así que el arenado residual mediante la técnica del chorro abrasivo seco obtuvo un valor de 0.56 por ciento y el arenado residual mediante la técnica del chorro abrasivo húmedo un valor de 0.20 por ciento frente a valores referenciales de 0.73 y 0.70 por ciento, respectivamente; reportados por Liñan *et al* (2018) para agregados vírgenes.

**Cuadro 26: Caracterización física de residuos de abrasivos**

Parámetros	Norma de referencia	Arenado residual - técnica chorro abrasivo seco	Arenado residual - técnica chorro abrasivo húmedo
Peso unitario suelto (kg/m <sup>3</sup> )	NTP 400.017:2020	2318	2269
Peso unitario compactado (kg/m <sup>3</sup> )	NTP 400.017:2020	2606	2497
Peso específico (kg/m <sup>3</sup> )	NTP 400.021:2021 NTP 400.022:2021	3130	3960
Peso específico de masa superficialmente seca (kg/m <sup>3</sup> )	NTP 400.021:2021 NTP 400.022:2021	3150	3970
Módulo de finura	NTP 400.012:2021	1.06	1.30
Porcentaje de absorción	NTP 400.021:2021 NTP 400.022:2021	0.56	0.20
Porcentaje de contenido de humedad	NTP 339.185:2021	0.42	0.03

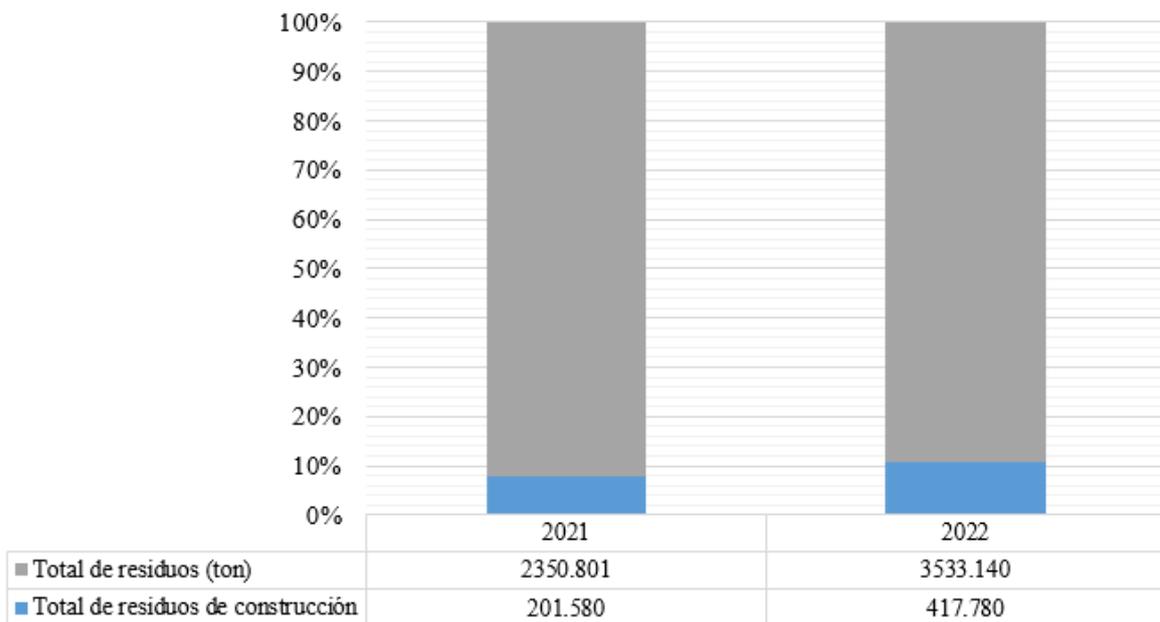
Los informes de los ensayos realizados en el Laboratorio N°1 de Ensayo de Materiales “Ing. Manuel Gonzáles De La Cotera” de la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional de Ingeniería pueden encontrarse en el Anexo 11: Informes de ensayo de residuos de abrasivos - Laboratorio N°1 de Ensayo de Materiales.

## **4.2 CARACTERIZACIÓN DE LOS AGREGADOS RECICLADOS A BASE DE RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN**

### **4.2.1 ESTADÍSTICAS DE GENERACIÓN DE RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN**

La información obtenida sobre la generación de residuos de construcción de los últimos dos años en una planta industrial localizada en la costa sur del Perú se muestra en el Anexo 7: Estadísticas de manejo de residuos de construcción.

En la Figura 11: Generación anual de residuos de construcción, se puede observar cómo los residuos de construcción representan aproximadamente el 10% del total de los residuos generados durante los años 2021 y 2022, presentando un ligero incremento en su generación en el año 2022, al pasar de 201.59ton en el año 2021 a 417.78ton en el año 2022. Esta información es relevante porque resalta la representatividad que tiene esta categoría de residuos dentro de la gestión general de residuos, sirviendo de insumo importante para la toma de decisiones con miras a la búsqueda de alternativas viables de valorización de residuos frente a su disposición final en instalaciones autorizadas para dicho fin.



**Figura 11: Generación anual de residuos de construcción**

#### **4.2.2 CARACTERIZACIÓN QUÍMICA DE AGREGADOS RECICLADOS A BASE DE RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN**

En el cuadro 27: Caracterización de peligrosidad de los agregados reciclados a base de residuos de construcción, se presentan los resultados de los análisis químicos ejecutados a las muestras enviadas al Laboratorio ALS LS PERÚ S.A.C. el 4 de setiembre de 2022, así como los estándares naciones e internacionales que fueron usados para su interpretación.

**Cuadro 27: Caracterización de peligrosidad de los agregados reciclados a base de residuos de construcción**

Ensayo	Parámetro	Norma de referencia	ECA Suelo Uso de Suelo: Comercial / Industrial / Extractivo	RCRA 40 CFR Part 261.24 Toxicity characteristic	Unidad	Agregado fino reciclado a base de residuos de construcción y demolición	Agregado grueso reciclado a base de residuos de construcción y demolición
Hidrocarburos Totales de Petróleo	Hidrocarburos Totales de Petróleo (F1, C6-C10)	EPA METHOD 8015 C, Rev. 3 2007	500	-	mg/kg	< 0,6	< 0,6
	Hidrocarburos Totales de Petróleo, F2(>C10-C28)	EPA METHOD 8015 C Rev. 03 February 2007	5000	-	mg/kg	34,2	11,3
	Hidrocarburos Totales de Petróleo, F3(>C28-C40)		6000	-	mg/kg	44,6	18,1
	Hidrocarburos Totales de Petróleo (C9-C40)	EPA METHOD 8015 C Rev. 03 February 2007	-	-	mg/kg	82,2	30,1
Hidrocarburos aromáticos volátiles – VOCs (BTEX)	Benceno	EPA Method 8260 D, Rev. 4, June. 2018	0.03	0.5	mg/kg	< 0,00129	< 0,00129
	Tolueno		0.37	-	mg/kg	< 0,00145	< 0,00145
	Etilbenceno		0.082	-	mg/kg	< 0,00198	< 0,00198
	Xilenos		11	-	mg/kg	< 0,00409	< 0,00409
Hidrocarburos Aromáticos	Benzo (a) Pireno	EPA Method 8270 E Rev. 6 June. 2018	0.7	-	mg/kg	< 0,0009	< 0,0009
	Naftaleno		22	-	mg/kg	0,0259	0,0146
Metales TCLP por ICP OES	Plata (Ag)	EPA Method 1311 Rev 0, 1992	-	5	mg/L	< 0,01	< 0,01
	Arsénico (As)		-	5	mg/L	< 0,02	< 0,02
	Bario (Ba)		-	100	mg/L	0,169	0,265
	Cadmio (Cd)		-	1	mg/L	< 0,0015	< 0,0015
	Cromo (Cr)		-	5	mg/L	< 0,004	0,040
	Plomo (Pb)		-	5	mg/L	< 0,02	< 0,02
	Selenio (Se)		-	1	mg/L	< 0,03	< 0,03
Mercurio Total	Mercurio Total	EPA 7471 B, Rev 2, February 2007	-	0.2	mg/kg	0,02	0,02

Tal cual se puede observar en el cuadro 27, la totalidad de los valores obtenidos para los parámetros en evaluación se encuentran muy por debajo de los valores referenciales señalados en las normas de referencia con los que fueron comparados, para los cuales se consideró el ECA – Suelo como normativa nacional de referencia y el RCRA 40 CFR Part 261.24 Toxicity characteristic como normativa internacional de referencia. En el caso del ECA Suelo – Uso de Suelo: comercial / industrial / extractivo, ésta norma fue escogida para evaluar el impacto que tendrían los agregados reciclados a base de residuos de construcción en caso de entrar en contacto con el suelo en el entorno industrial donde sería usados. A base de resultados obtenidos, se puede señalar que los agregados reciclados presentan concentraciones de hidrocarburos totales de petróleo – fracción 2 y 3, muy por debajo de los límites de referencia señalados en la norma. En el caso del RCRA 40 CFR Part 261.24 Toxicity characteristic, se resalta la presencia de Bario (Ba) y Mercurio total (Hg) aunque en concentraciones muy bajas en ambos casos. Al igual que con los residuos de abrasivos usados, la totalidad de los parámetros evaluados se encuentran por debajo de los valores referenciales, por lo que se puede concluir que los agregados reciclados a base de residuos de construcción pueden ser considerados como material no peligroso y son aptos para poder ser usados con miras a su valorización.

Los informes de los ensayos realizados Laboratorio ALS LS PERÚ S.A.C. pueden encontrarse en el Anexo 10: Informes de ensayo de residuos de abrasivos y agregados reciclados a base de residuos de la construcción - Laboratorio ALS LS PERÚ S.A.C.

#### **4.2.3 CARACTERIZACIÓN FÍSICA DE AGREGADOS RECICLADOS A BASE DE RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN**

En el Cuadro 28: Caracterización granulométrica de residuos de agregado reciclado fino a base de residuos de construcción y en el Cuadro 29: Caracterización granulométrica de residuos de agregado reciclado grueso (confitillo) a base de residuos de construcción, se observa el comparativo realizado a los agregados reciclados bajo los requerimientos de granulometría para agregados finos establecidos en la NTP 400.037 “Agregados - Agregados para concreto – Requisitos”. (Ver Anexo 3: Requisitos granulométricos para agregado fino y agregado grueso). A partir de dichos resultados se puede observar que ambos agregados reciclados presentan las proporciones casi óptimas para ser considerados como un agregado fino y grueso, respectivamente.

**Cuadro 28: Caracterización granulométrica de agregado reciclado fino a base de residuos de construcción**

Tamiz	Porcentaje que pasa ASTM C 33 Huso Agr. Fino	Agregado fino reciclado a base de residuos de construcción		
		Porcentaje retenido	Porcentaje retenido acumulado	Porcentaje que pasa
9.5 mm (3/8 pulg)	100	0.0	0.0	100.0
4.75 mm (No. 4)	95 a 100	0.1	0.1	99.9
2.36 mm (No. 8)	80 a 100	1.9	2.0	98.0
1.18 mm (No. 16)	50 a 85	23.9	25.9	74.1
600 µm (No. 30)	25 a 60	22.1	48.0	52.0
300 µm (No. 50)	5 a 30	19.3	67.3	32.7
150 µm (No. 100)	0 a 10	16.5	83.8	16.2
75 µm (No. 200)	0 a 3 <sup>ab</sup>	16.2	100.0	0.0

**Cuadro 29: Caracterización granulométrica de agregado reciclado grueso (confitillo) a base de residuos de la construcción**

Tamiz	Porcentaje que pasa ASTM C 33 Huso 9	Agregado grueso (confitillo) reciclado a base de residuos de construcción		
		Porcentaje retenido	Porcentaje retenido acumulado	Porcentaje que pasa
9.5 mm (3/8 pulg)	100	0.0	0.0	100.0
4.75 mm (No. 4)	95 a 100	4.0	4.0	96.0
2.36 mm (No. 8)	80 a 100	71.5	75.5	24.5
1.18 mm (No. 16)	50 a 85	20.4	95.9	4.1
300 µm (No. 50)	5 a 30	0.8	98.3	1.6
150 µm (No. 100)	0 a 10	0.6	98.9	1.1
75 µm (No. 200)	0 a 3 <sup>ab</sup>	1.1	100.0	0.0

En el Cuadro 30: Caracterización física de los agregados reciclados, se presentan los resultados de algunos ensayos ejecutados a los agregados reciclados a base de residuos de construcción. De ellos se destaca que el valor del módulo de finura, el cual representa el tamaño promedio que poseen las partículas de la muestra, es menor a 2.3 en el caso del agregado reciclado fino, con lo cual no estaría cumpliendo con uno de los requisitos señalados en la NTP 400.037. Tener valores de módulo de finura menores a 2.3 sugeriría que las mezclas a preparar con los residuos de abrasivos podrían requerir mayor consumo de cemento para obtener resultados óptimos, lo cual impactaría en términos económicos la rentabilidad de la producción de los adoquines para pavimento. Por otro lado, los resultados obtenidos para el porcentaje de absorción comprueban lo observado por González-Fonteboa *et al* (2018), ya que tanto el agregado fino reciclado como el agregado grueso reciclado a base de residuos de construcción, presentan una mayor capacidad de absorción en comparación con agregados vírgenes; teniendo así que el agregado fino reciclado obtuvo un valor de 3.52 por ciento y el agregado grueso reciclado un valor de 6.29 por ciento frente a valores referenciales de 0.73 y 0.70 por ciento, respectivamente; reportados por Liñan *et al* (2018) para agregados vírgenes.

**Cuadro 30: Caracterización física de los agregados reciclados**

Parámetros	Norma de referencia	Agregado fino reciclado a base de residuos de construcción	Agregado grueso reciclado a base de residuos de construcción
Peso unitario suelto (kg/m <sup>3</sup> )	NTP 400.017:2020	1451	1170
Peso unitario compactado (kg/m <sup>3</sup> )	NTP 400.017:2020	1628	1337
Peso específico (kg/m <sup>3</sup> )	NTP 400.021:2021 NTP 400.022:2021	2470	2300
Peso específico de masa superficialmente seca (kg/m <sup>3</sup> )	NTP 400.021:2021 NTP 400.022:2021	2550	2450
Módulo de finura	NTP 400.012:2021	2.27	4.70
Porcentaje de absorción	NTP 400.021:2021 NTP 400.022:2021	3.52	6.29
Porcentaje de contenido de humedad	NTP 339.185:2021	2.69	2.82

Los informes de los ensayos realizados en el Laboratorio N°1 de Ensayo de Materiales “Ing. Manuel Gonzáles De La Cotera” de la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional de Ingeniería pueden encontrarse en el Anexo 12: Informes de ensayo de residuos de agregados reciclados a base de residuos de la construcción - Laboratorio N°1 de Ensayo de Materiales.

#### **4.3 DISEÑO DE MEZCLA PARA LA FABRICACIÓN DE ADOQUINES PARA PAVIMENTO TIPO I A BASE DE AGREGADOS RECICLADOS PROVENIENTES DE RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN**

En la presente sección, se muestra la secuencia de pasos para la aplicación del método ACI 211.1, empleada para diseñar la mezcla del adoquín patrón a base de agregados reciclados provenientes de residuos de la construcción.

##### **b) Elección de la resistencia a la compresión promedio requerida ( $f'_{cr}$ )**

De acuerdo con lo indicado en el Cuadro 14: Resistencia a la compresión promedio, la resistencia a la compresión promedio requerida ( $f'_{cr}$ ) se calculará empleando la siguiente fórmula:

$$f'_{cr} = 340 \frac{kg}{cm^2} + 84 = 424 \frac{kg}{cm^2}$$

**c) Elección del Asentamiento, Revenimiento o Slump**

De acuerdo con lo indicado en el Cuadro 15: Valores de asentamiento, se escogió un asentamiento de 4”.

**d) Elección del tamaño máximo del agregado grueso**

De acuerdo con lo indicado en el Cuadro 16: Requisitos aproximados de agua de mezcla y contenido de aire para diferentes valores de asentamiento y tamaños máximos nominales del agregado, se consideró un tamaño máximo del agregado grueso de 1 ½”.

**e) Estimación del agua de mezclado y contenido de aire.**

De acuerdo con lo indicado en el Cuadro 16: Requisitos aproximados de agua de mezcla y contenido de aire para diferentes valores de asentamiento y tamaños máximos nominales del agregado, se consideró un volumen de 181 lt de agua de mezcla y un 1 por ciento de contenido de aire para un tamaño máximo del agregado grueso de 1 ½”.

**f) Selección de la relación agua/cemento (a/c).**

De acuerdo con lo indicado en el Cuadro 17: Relación agua/cemento por resistencia a la compresión, se procedió a interpolar los valores establecidos para la relación agua/cemento con el objetivo de determinar aquel que corresponda a la resistencia a la compresión promedio requerida ( $f'_{cr}$ ). De este modo, los cálculos realizados fueron:

$$\frac{(450 - 424) \frac{kg}{cm^2}}{(0.38 - x)} = \frac{(450 - 400) \frac{kg}{cm^2}}{(0.38 - 0.43)}$$
$$x = 0.406 = a/c$$

**g) Cálculo del contenido de cemento.**

La cantidad de cemento por unidad de volumen del concreto y el volumen de cemento fueron calculados usando las fórmulas mostradas a continuación:

$$\text{Contenido de cemento} \left( \frac{kg}{m^3} \right) = \frac{181 \frac{lbs}{m^3}}{0.406}$$
$$\text{Contenido de cemento} = 445.81 \text{ kg}$$

$$\text{Volumen de cemento} (m^3) = \frac{445.81 (kg)}{3150 (kg/m^3)}$$
$$\text{Volumen de cemento} = 0.142m^3$$

#### **h) Determinación del contenido de agregado grueso y agregado fino.**

De acuerdo con lo indicado en el Cuadro 18: Volumen de agregado grueso por unidad de volumen de concreto, se procedió a calcular la cantidad necesaria de agregado grueso para fabricar un metro cúbico de concreto, usando la fórmula mostrada a continuación:

$$\text{Peso seco ag. grueso} \left( \frac{kg}{m^3} \right) = 0.78 \times 1337 \left( \frac{kg}{m^3} \right)$$

$$\text{Peso seco ag. grueso} = 1033.501 \left( \frac{kg}{m^3} \right)$$

De tal forma, los volúmenes de los agregados grueso y fino fueron calculados:

$$\text{Vol. ag. grueso} (m^3) = \frac{1033.501 \left( \frac{kg}{m^3} \right)}{2300 \left( \frac{kg}{m^3} \right)}$$

$$\text{Vol. ag. grueso} = 0.449m^3$$

$$\text{Vol. ag. fino} (m^3) = 1 - (\text{Vol. agua} + \text{Vol. cemento} + \text{Vol. ag. grueso})$$

$$\text{Vol. ag. fino} (m^3) = 1 - (0.181 + 0.142 + 0.449)$$

$$\text{Vol. ag. fino} = 0.218m^3$$

Finalmente, el peso del agregado fino se calculó de la siguiente manera:

$$\text{Peso seco ag. fino} \left( \frac{kg}{m^3} \right) = 0.218m^3 * 2470 \left( \frac{kg}{m^3} \right)$$

$$\text{Peso seco ag. fino} = 538.766 \left( \frac{kg}{m^3} \right)$$

#### **i) Ajustes por humedad y absorción.**

A continuación, realizaron las correcciones por humedad y absorción para obtener el agua efectiva de mezclado.

Pesos de los agregados húmedos:

$$\text{Peso ag. grueso húmedo} (kg) = (\text{Peso ag. grueso seco}) * \left( \frac{\% \text{humedad}}{100} + 1 \right)$$

$$\text{Peso ag. grueso húmedo} (kg) = \left( 1033.501 \left( \frac{kg}{m^3} \right) \right) * \left( \frac{2.82}{100} + 1 \right)$$

$$\text{Peso ag. grueso húmedo} = 1062.646 \text{ kg}$$

$$\text{Peso ag. fino húmedo (kg)} = (\text{Peso ag. fino seco}) * \left( \frac{\%humedad}{100} + 1 \right)$$

$$\text{Peso ag. fino húmedo (kg)} = \left( 538.766 \left( \frac{kg}{m^3} \right) \right) * \left( \frac{2.69}{100} + 1 \right)$$

$$\text{Peso ag. fino húmedo} = 553.259 \text{ kg}$$

Agua efectiva:

$$\text{Agua en ag. grueso} = (\text{Peso ag. grueso seco}) * \left( \frac{\%humedad - \%absorción}{100} \right) = X$$

$$\text{Agua en ag. grueso} = (1062.646 \text{ kg}) * \left( \frac{2.82 - 6.29}{100} \right) = X$$

$$\text{Agua en ag. grueso} = -36.834 \text{ lts} = X$$

$$\text{Agua en ag. fino} = (\text{Peso ag. fino seco}) * \left( \frac{\%humedad - \%absorción}{100} \right) = Y$$

$$\text{Agua en ag. fino} = (553.259 \text{ kg}) * \left( \frac{2.69 - 3.52}{100} \right) = Y$$

$$\text{Agua en ag. fino} = -4.592 \text{ lts} = Y$$

$$\text{Agua efectiva (Lts)} = \text{Agua de diseño} - (X + Y)$$

$$\text{Agua efectiva (Lts)} = 181 \text{ lts} - (-36.834 \text{ lts} + -4.592 \text{ lts})$$

$$\text{Agua efectiva (Lts)} = 222.466 \text{ lts}$$

#### **j) Cálculo de proporciones en peso**

A continuación, realizaron los cálculos para determinar las proporciones en peso del material por 1m<sup>3</sup> en obra.

Cemento:	Agregado fino:	Agregado grueso:	Agua:
$\frac{\text{Peso cemento}}{\text{Peso cemento}}$	$\frac{\text{Peso ag. fino húmedo}}{\text{Peso cemento}}$	$\frac{\text{Peso g. grueso húmedo}}{\text{Peso cemento}}$	$\frac{\text{Agua efectiva}}{\text{Peso cemento}}$
$\frac{445.813 \text{ kg}}{445.813 \text{ kg}}$	$\frac{553.259 \text{ kg}}{445.813 \text{ kg}}$	$\frac{1062.646 \text{ kg}}{445.813 \text{ kg}}$	$\frac{222.466 \text{ kg}}{445.813 \text{ kg}}$
1.00	1.24	2.38	0.499

#### **k) Cálculo de proporciones en volumen**

A continuación, realizaron los cálculos para determinar las proporciones en volumen del material por 1m<sup>3</sup> en obra.

$$\text{Vol. cemento (m}^3\text{)} = \frac{\text{Peso cemento (kg)}}{3150 \left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\right)}$$

$$\text{Vol. cemento} = \frac{445.813 \text{ kg}}{\text{Peso unitario } \left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\right)} = 0.142 \text{ m}^3$$

$$\text{Vol. ag. fino (m}^3\text{)} = \frac{\text{Peso ag. fino húmedo (kg)}}{\text{Peso unitario ag. fino húmedo } \left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\right)}$$

$$\text{Vol. ag. fino} = \frac{553.259 \text{ kg}}{2470 \left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\right)} = 0.224 \text{ m}^3$$

$$\text{Vol. ag. grueso (m}^3\text{)} = \frac{\text{Peso ag. grueso húmedo (kg)}}{\text{Peso unitario ag. grueso húmedo } \left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\right)}$$

$$\text{Vol. ag. grueso (m}^3\text{)} = \frac{1062.646 \text{ kg}}{2300 \left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\right)} = 0.462 \text{ m}^3$$

En el caso del agua, éste se calculará en litros por bolsa de cemento (Lts/Bls), de la siguiente manera:

$$\text{Agua } \left(\frac{\text{Lts}}{\text{Bls}}\right) = \frac{\text{Cantidad de agua por m}^3 \text{ de cemento}}{\left(\frac{\text{Peso cemento por m}^3 \text{ de cemento}}{\text{Peso cemento por bolsa (= 42.5kg)}}\right)}$$

$$\text{Agua } \left(\frac{\text{Lts}}{\text{Bls}}\right) = \frac{222.466 \text{ lts}}{\left(\frac{445.813 \text{ kg}}{42.5 \text{ kg}}\right)} = 21.21$$

Finalmente, las proporciones por volumen se expresarán:

Cemento:	Agregado fino:	Agregado grueso:	Agua:
$\frac{\text{Vol. cemento}}{\text{Vol. cemento}}$	$\frac{\text{Vol. ag. fino húmedo}}{\text{Vol. cemento}}$	$\frac{\text{Vol. ag. grueso húmedo}}{\text{Vol. cemento}}$	Agua (Lts/bls)
0.142	0.224	0.462	21.21

A fin de poder corroborar y validar los cálculos realizados, se procedió a realizar su verificación en el Laboratorio N°1 de Ensayo de Materiales “Ing. Manuel Gonzáles De La

Cotera” de la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional de Ingeniería (Ver Anexo 13: Informe de diseño de mezcla verificado - Laboratorio N°1 de Ensayo de Materiales). Es así como, el diseño de mezcla ajustado obtenido para el adoquín patrón a base de agregados reciclados provenientes de residuos de construcción se muestra a continuación:

Cemento:	Agregado fino:	Agregado grueso:	Agua:
$\frac{\text{Peso cemento}}{\text{Peso cemento}}$	$\frac{\text{Peso ag. fino húmedo}}{\text{Peso cemento}}$	$\frac{\text{Peso g. grueso húmedo}}{\text{Peso cemento}}$	$\frac{\text{Agua efectiva}}{\text{Bolsas cemento}}$
$\frac{266 \text{ kg}}{266 \text{ kg}}$	$\frac{609 \text{ kg}}{266 \text{ kg}}$	$\frac{1073 \text{ kg}}{266 \text{ kg}}$	$\frac{225 \text{ Lts}}{6.26}$
1.00	2.28	4.03	35.91

Como puede observarse en los resultados anteriores, la mayor diferencia entre ambos cálculos se encuentra representada por la cantidad del cemento a ser usada. Dado que la cantidad de material afecta la rentabilidad económica de todo proceso de fabricación de unidades de albañilería y considerando que los agregados reciclados a ser empleados en la fabricación de los adoquines, al ser elaborados a base de residuos de construcción, estarían aportando una cantidad no conocida de cemento; se vio por conveniente considerar esta última proporción para la fabricación del adoquín patrón así como para la determinación de los tratamientos de reemplazo con abrasivos usados.

#### **4.4 DISEÑO DE TRATAMIENTOS DE REEMPLAZO CON RESIDUOS DE ABRASIVOS (GARNET) EN ADOQUINES PARA PAVIMENTO TIPO I FABRICADOS CON AGREGADOS RECICLADOS PROVENIENTES DE RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN**

Considerando el diseño de mezcla verificado presentado en la sección anterior y tomando en cuenta el Cuadro 19: Tratamientos de prueba para la fabricación de adoquines para pavimento, se procedió a calcular la cantidad necesaria de insumos para preparar 1m<sup>3</sup> de mezcla de concreto, información que se muestra en el Cuadro 31: Diseño de mezcla para 1m<sup>3</sup> de concreto por cada tratamiento de prueba para la fabricación de adoquines para pavimento.



## **4.5 ENSAYOS DE LABORATORIO PARA DETERMINAR EL CUMPLIMIENTO DE LOS REQUISITOS DE CALIDAD DE LOS ADOQUINES PARA PAVIMENTO TIPO I FABRICADOS CON AGREGADOS RECICLADOS PROVENIENTES DE RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN Y RESIDUOS DE ABRASIVOS (GARNET)**

En esta sección se muestran los resultados obtenidos a partir de los ensayos ejecutados a los adoquines para pavimento fabricados a base de agregados reciclados provenientes de residuos de construcción y residuos de abrasivos usados (garnet):

### **4.5.1 ENSAYO DE VARIACIÓN DIMENSIONAL**

Este paso consistió en la realización de la medición de las dimensiones (largo, ancho y altura) de los adoquines fabricados y la comparación de los valores obtenidos con las medidas estándar de un adoquín para pavimento tipo I establecidos en la NTP 399.611 (20cm de largo, 10cm de ancho y 6cm de altura). En el Anexo 14: Análisis de tolerancia dimensional de los adoquines para pavimento fabricados, se encuentra el consolidado de las mediciones realizadas, mientras que en el Cuadro 33: Análisis de variación dimensional en adoquines para pavimento se puede observar que, en todos los tratamientos, más de la tercera parte de adoquines ensayados sobrepasaron los límites de tolerancia dimensional considerados para la presente investigación (Cuadro 10: Tolerancia dimensional). Sin embargo, se destaca que el adoquín preparado con el tratamiento T3-H, el cual considera un 50 por ciento de reemplazo del agregado reciclado fino por residuos de abrasivos mediante la técnica del chorro abrasivo húmedo, presentó un comportamiento ligeramente más favorable, obteniendo el mayor número de muestras aceptables entre todos los tratamientos realizados. Asimismo, se resalta que, en los siete tratamientos ensayados, fue la medición de la altura la cual obtuvo la menor incidencia de desviaciones dimensionales en los adoquines ensayados; mientras que la mayor incidencia de desviaciones dimensionales fue observada en la medición del largo de los adoquines ensayados.

**Cuadro 33: Análisis de variación dimensional en adoquines para pavimento**

Resultados Tratamiento	Número de muestras analizadas	Número de muestras que exceden la tolerancia dimensional	Porcentaje de muestras aceptables	Porcentaje de incidencia de las desviaciones a la tolerancia dimensional		
				Largo	Ancho	Altura
Patrón	9	4	55.56	42.86	42.86	14.29
T1-S	9	4	55.56	57.14	42.86	0.00
T2-S	9	5	44.44	20.00	80.00	0.00
T3-S	9	5	44.44	55.56	33.33	11.11
T1-H	9	4	55.56	60.00	40.00	0.00
T2-H	9	4	55.56	80.00	20.00	0.00
T3-H	9	3	66.67	75.00	25.00	0.00

Según González-Fonteboa *et al*, 2018; la variación dimensional o encogimiento en piezas de albañilería ocurre, en pequeña o gran proporción, en todo tipo de mezclas de concreto y depende de una serie de factores entre los cuales se tienen las condiciones de curado y las proporciones de mezcla. Tal es así que se ha establecido que a mayor contenido de cemento en la mezcla de concreto se espera observar mayores variaciones dimensionales en las piezas fabricadas pasado el proceso de curado de las mismas y, dado que los agregados reciclados provenientes de residuos de construcción tienen una capacidad mayor de absorción de agua (lo cual se manifiesta en una mayor demanda de agua), se espera que la pérdida de ésta durante el proceso de curado dé lugar a una mayor variación dimensional en las unidades de albañilería fabricadas siendo éste el principal motivo por el cual se observaría que más de la tercera parte de las piezas fabricadas para los siete tratamientos ensayados sobrepasan los valores de tolerancia dimensional establecidos en la NTP 399.611.

Por otro lado, si bien emplear agregados con módulo de finura menores a 2.3, como es el caso de los residuos de garnet mediante la técnica del chorro abrasivo seco y chorro abrasivo húmedo, puede inducir a cambios volumétricos las piezas fabricadas (López & Pinedo, 2015); cabe destacar que las variaciones dimensionales en unidades de albañilería no son atribuibles únicamente al material usado en su fabricación, sino que el método de fabricación también puede propiciar estas variaciones. Dado que en la presente investigación se usaron moldes de material fenólico fabricados manualmente, así como una vibro-compactadora simple; es posible que dichos factores hayan influenciado en el proceso de fabricación de los adoquines, dando lugar a las variaciones dimensionales mínimas encontradas.

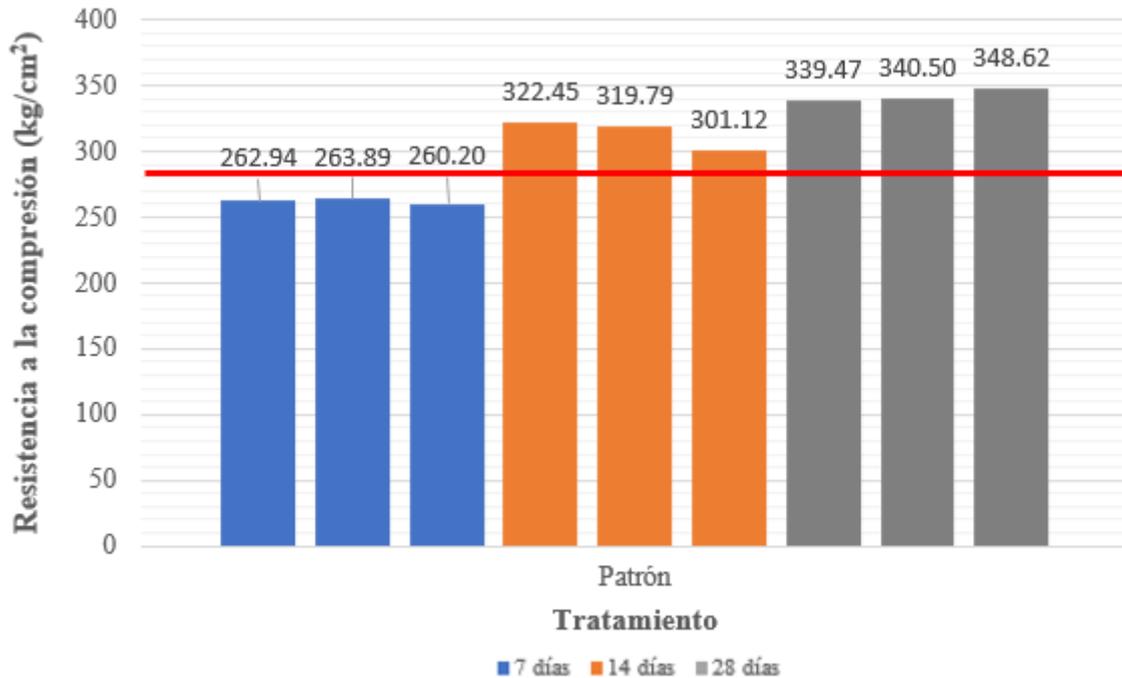
Finalmente, independientemente de las ligeras variaciones dimensionales observadas en los adoquines fabricados bajo los diferentes tratamientos, es importante resaltar que dichas

variaciones no son una limitante para el empleo de dichos adoquines. Ello debido a que la selección del patrón de colocación, así como la orientación, posicionamiento, tamaño y sellado de las juntas, compactación inicial y final y un buen mantenimiento preventivo de los adoquines; pueden contribuir a lograr un mejor rendimiento durante el proceso de instalación y uso de estos (ICCG, 2015).

#### **4.5.2. ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN**

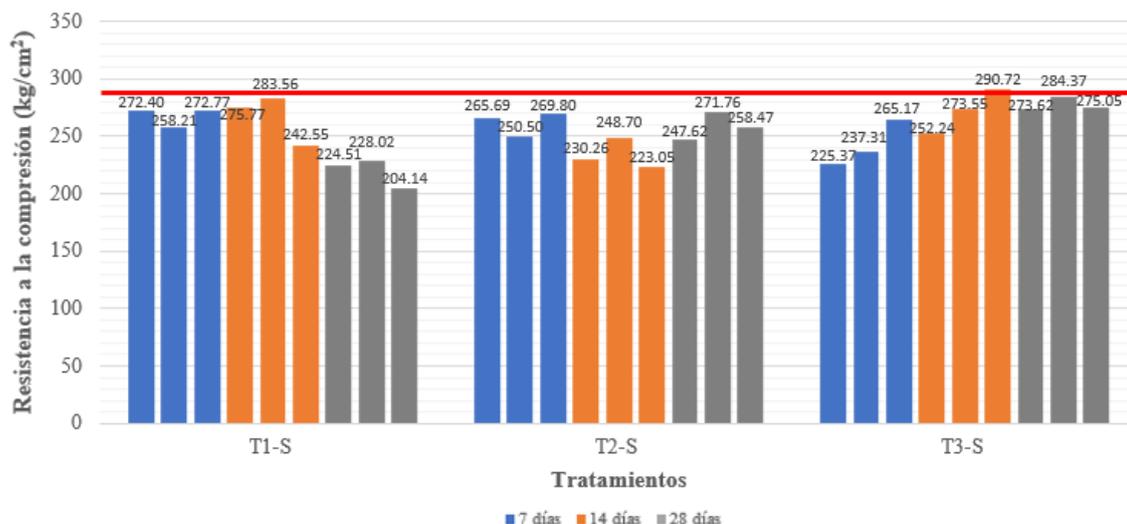
Este paso consistió en la realización del ensayo de resistencia a la compresión haciendo uso de una máquina de ensayo uniaxial ELE International, de acuerdo con el método establecido en la NTP 399.604. En el Anexo 15: Informes de ensayos de resistencia a la compresión en adoquines para pavimento – Laboratorio N°1 de Ensayo de Materiales, se encuentra el consolidado de los resultados obtenidos.

En la figura 12: Valores individuales de resistencia a la compresión en adoquines patrón a 7, 14 y 28 días, se puede observar que el adoquín patrón, fabricado a base de agregados reciclados provenientes de residuos de construcción, efectivamente cumplió con los requisitos requeridos de resistencia a la compresión individual, medidos en tres muestras, de acuerdo a la NTP 399.611 (Cuadro 9: Valores de espesor nominal y resistencia a la compresión), obteniendo valores superiores a  $290 \text{ kg/cm}^2$  a los 14 y 28 días de ensayo. En este punto cabe recordar que el diseño de mezcla para el adoquín patrón consideraba una resistencia a la compresión requerida, a los 28 días, de  $f'c = 340 \text{ kg/cm}^2$ , lo cual fue corroborado con el presente ensayo donde 2 de las 3 muestras ensayadas sobrepasaron el valor de  $340 \text{ kg/cm}^2$  de resistencia a la compresión y muestra restante obtuvo un valor de  $339.468 \text{ kg/cm}^2$  de resistencia a la compresión, valor muy cercano al requerido. Si bien Ramos (2018) concluyó que para cumplir con los requisitos señalados en la NTP 399.611 solo podría usarse hasta un 10 por ciento de reemplazo de agregados finos y gruesos provenientes de residuos de construcción en una mezcla a base de agregados vírgenes, los resultados obtenidos permiten concluir que, con una metodología adecuada de diseño como lo es la ACI 211.1, es posible diseñar un adoquín para pavimento tipo I con 100 por ciento de agregados reciclados provenientes de residuos de construcción y que cumple con los requisitos de la NTP 399.611.



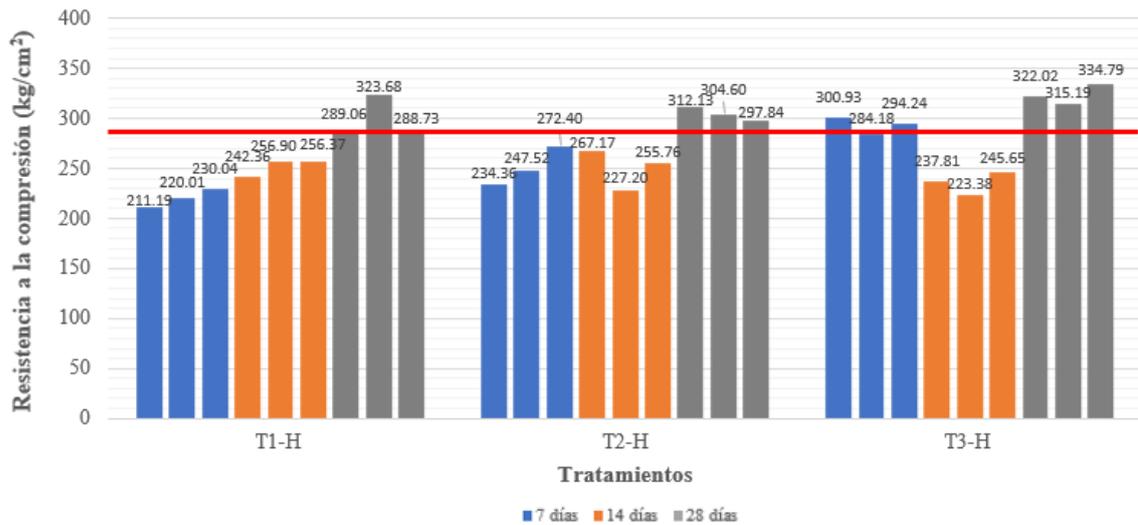
**Figura 12: Valores individuales de resistencia a la compresión en adoquines patrón a 7, 14 y 28 días**

En la Figura 13: Valores individuales de resistencia a la compresión en adoquines fabricados con reemplazos de residuos de abrasivos mediante la técnica del chorro abrasivo seco a 7, 14 y 28 días, se puede observar que en ninguno de los tratamientos de reemplazo con residuos de abrasivos mediante la técnica del chorro abrasivo seco, las tres muestras del grupo alcanzaron el valor mínimo de resistencia a la compresión individual requerido por la NTP 399.611 (Cuadro 9: Valores de espesor nominal y resistencia a la compresión) en ninguno de los tiempos de ensayo (7, 14 o 28 días); encontrando que únicamente una muestra de adoquín fabricada bajo el tratamiento de reemplazo al 50 por ciento (T3-S) sobrepasó ligeramente los 290 kg/cm<sup>2</sup> de resistencia a la compresión a los 14 días.



**Figura 13: Valores individuales de resistencia a la compresión en adoquines fabricados con reemplazos de residuos de abrasivos mediante la técnica del chorro abrasivo seco a 7, 14 y 28 días**

En la Figura 14: Valores individuales de resistencia a la compresión en adoquines fabricados con reemplazos de residuos de abrasivos mediante la técnica del chorro abrasivo húmedo a 7, 14 y 28 días, se resalta que los tratamientos de reemplazo con residuos de abrasivos mediante la técnica del chorro abrasivo húmedo al 30 por ciento (T2-H) y 50 por ciento (T3-H), las tres muestras del grupo alcanzaron el mínimo valor de resistencia a la compresión individual requerido por la NTP 399.611 (Cuadro 9: Valores de espesor nominal y resistencia a la compresión) a los 28 días; mientras que únicamente una muestra del tratamiento ); encontrando que únicamente un adoquín del tratamiento de reemplazo al 15% (T1-S) sobrepasó los 290 kg/cm<sup>2</sup> de resistencia a la compresión a los 28 días, obteniendo las otras dos muestras del grupo resultados ligeramente por debajo del valor mínimo requerido. Asimismo, se resalta que dos de las muestras del tratamiento de reemplazo con residuos de abrasivos mediante la técnica del chorro abrasivo húmedo al 15 por ciento (T1-H), sobrepasaron los 290 kg/cm<sup>2</sup> de resistencia a la compresión a los 7 días y el resultado obtenido por muestra del grupo estuvo ligeramente por debajo del valor mínimo requerido.

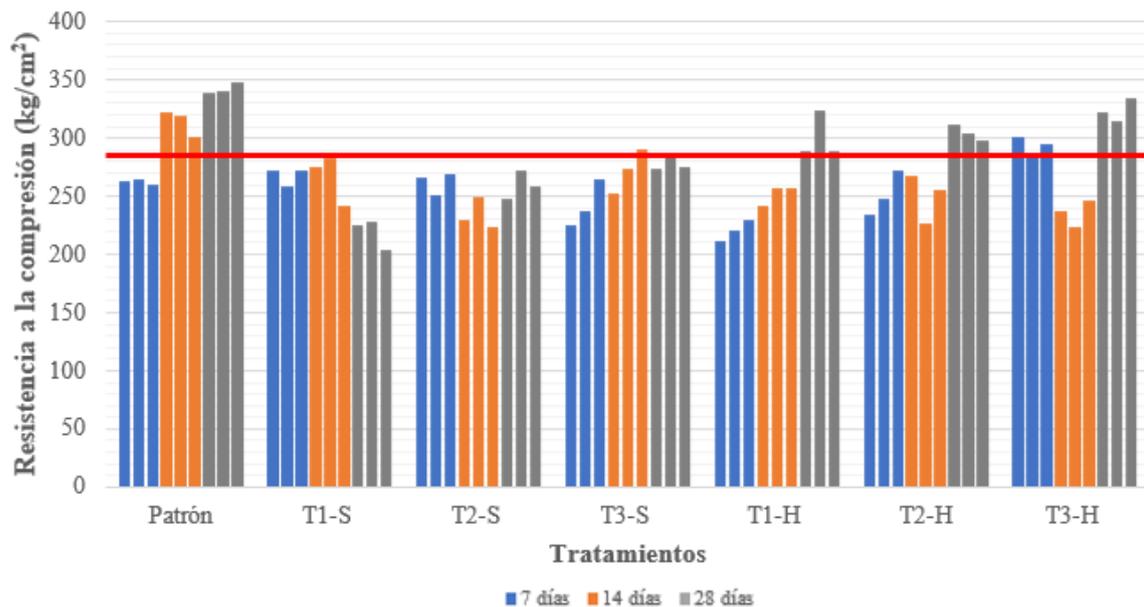


**Figura 14: Valores individuales de resistencia a la compresión en adoquines fabricados con reemplazos de residuos de abrasivos mediante la técnica del chorro abrasivo húmedo a 7, 14 y 28 días**

De lo anterior expuesto, se concluye que el reemplazo, ya sea de residuos de abrasivos mediante la técnica del chorro abrasivo seco o la técnica del chorro abrasivo húmedo, a una mezcla de concreto a base de agregados reciclados provenientes de residuos de construcción afecta las propiedades del concreto, disminuyendo ligeramente su resistencia a la compresión, principalmente a los 14 y 28 días.

Adicionalmente, en la Figura 15: Valores individuales de resistencia a la compresión en los diferentes tratamientos de adoquines a 7, 14 y 28 días, se puede observar que la tendencia de variación de la resistencia a la compresión con el tiempo se ve afectada con el reemplazo de los agregados reciclados con residuos de abrasivos mediante la técnica del chorro abrasivo seco o la técnica del chorro abrasivo húmedo, ya que en el adoquín patrón se observa que la resistencia a la compresión va en aumento sostenido con respecto al tiempo; mientras que en los tratamientos de reemplazo con residuos de abrasivos mediante la técnica del chorro abrasivo seco, dicha tendencia se ve claramente afectada, siendo inversamente proporcional respecto al tiempo en el caso del tratamiento de 15 por ciento de reemplazo (T1-S) y manteniendo valores similares para los tratamientos de reemplazo del 30 por ciento (T2-S) y 50 por ciento (T3-S). Por otro lado, de los 3 tratamientos de reemplazo con residuos de abrasivos mediante la técnica del chorro abrasivo húmedo, únicamente el tratamiento del 15 por ciento de reemplazo (T1-H) evidencia valores de resistencia a la compresión directamente proporcionales con respecto al tiempo, observándose que al igual que en el

adoquín patrón, la resistencia a la compresión obtenida a los 28 días es mayor a la obtenida a los 14 y los 7 días, respectivamente. Por otro lado, si bien la resistencia a la compresión obtenida a los 28 días fue mayor que la obtenida a los 7 días en los tratamientos de reemplazo del 30 por ciento (T2-H) y 50 por ciento (T3-H) con residuos de abrasivos mediante la técnica del chorro abrasivo húmedo, se observó que a los 14 días hubo una reducción considerable de la resistencia a la compresión en comparación a los valores obtenidos a los 7 días de ensayo; similar a lo observado en el tratamiento del 30 por ciento (T2-S) de reemplazo con residuos de abrasivos mediante la técnica del chorro abrasivo seco.

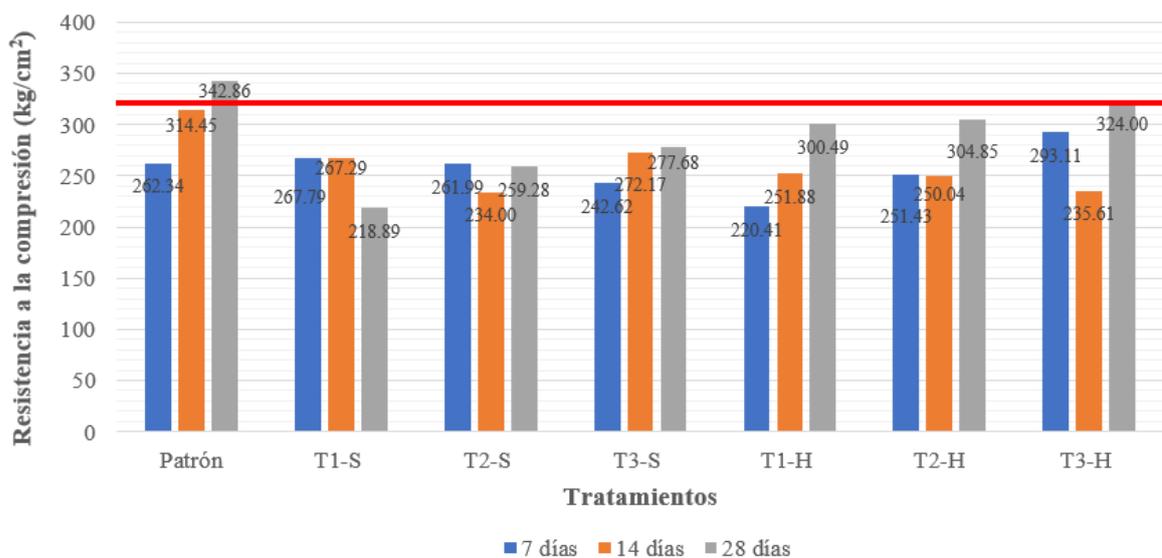


**Figura 15: Valores individuales de resistencia a la compresión en los diferentes tratamientos de adoquines a 7, 14 y 28 días**

Según Lv *et al* (2015) y Chou *et al* (2007), citados por Flores (2020), las posibles causas de la reducción en las cualidades del concreto con incorporación de partículas de caucho podrían deberse a la disminución del contenido de material sólido portador de carga e imperfecciones en la hidratación del cemento generadas por hidrofobicidad del caucho. Tomando en cuenta que el garnet es una mezcla natural de granate almandino afín al agua se puede deducir que el tamaño de partícula y el estado de hidratación, en este caso de los residuos de dicho abrasivo, también jugarían un papel en las propiedades mecánicas del concreto, como lo es la resistencia a la compresión. Es así como los residuos de abrasivos mediante la técnica del chorro abrasivo húmedo, al tener un tamaño de partícula mayor, así como una mayor capacidad de absorción debido a su menor contenido de humedad en

relación con los residuos de abrasivos mediante la técnica del chorro abrasivo seco; constituyen una mejor alternativa como reemplazo de agregados en el diseño de mezcla de concreto a base de agregados reciclados provenientes de residuos de construcción.

En la Figura 16: Valores promedio de resistencia a la compresión en adoquines a 7, 14 y 28 días, se puede observar que el adoquín patrón, fabricado a base de agregados reciclados provenientes de residuos de construcción, efectivamente cumplía con los requisitos requeridos de resistencia a la compresión para tres unidades de acuerdo con la NTP 399.611 (Cuadro 9: Valores de espesor nominal y resistencia a la compresión), obteniendo valores superiores a los 320 kg/cm<sup>2</sup> a los 28 días de ensayo. Adicionalmente, se puede observar que los adoquines elaborados con el tratamiento de reemplazo con residuos de abrasivos mediante la técnica del chorro abrasivo seco no alcanzaron el mínimo valor de resistencia a la compresión requerido por la NTP 399.611 en ninguno de los tiempos de ensayo (7, 14 o 28 días); mientras que el tercer tratamiento de reemplazo con residuos de abrasivos mediante la técnica del chorro abrasivo húmedo sobrepasó el mínimo valor de resistencia a la compresión requerido por la NTP 399.611 en el periodo de ensayo a los 28 días. De esta manera, se puede concluir que los adoquines fabricados con 50 por ciento de reemplazo de residuos de abrasivos mediante la técnica del chorro abrasivo húmedo cumplen con este requisito de aceptabilidad.



**Figura 16: Valores promedio de resistencia a la compresión en adoquines a 7, 14 y 28 días**

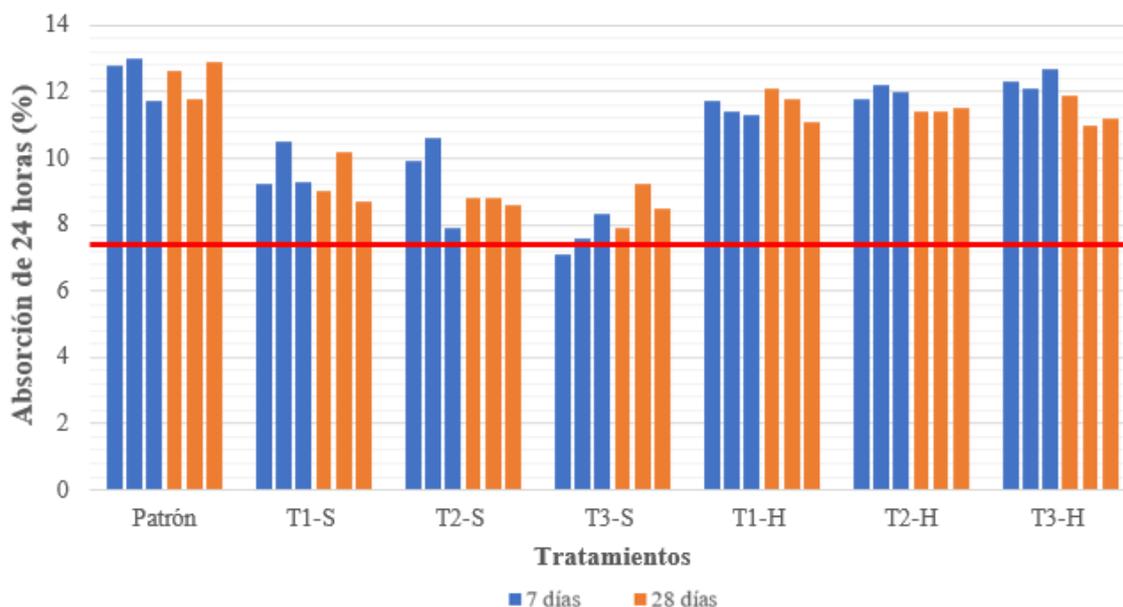
A diferencia de Liñan *et al* (2018) y Flores (2020), donde los valores de resistencia a la compresión en adoquines para pavimento fabricados con reemplazos del 5, 10 y 15 por ciento respectivamente; de partículas de PET y partículas de caucho reciclado, respectivamente, disminuyeron gradualmente a medida que se incorporó un mayor porcentaje de dichas partículas en la mezcla de concreto; en la presente investigación se observa que los adoquines fabricados con reemplazos de abrasivos usados mediante la técnica de chorro abrasivo seco tienden a mantener la misma resistencia la compresión a los 7, 14 y 28 días; mientras que los adoquines fabricados con reemplazos de abrasivos usados mediante la técnica de chorro abrasivo húmedo presentan un ligero incremento en los valores de resistencia la compresión en las muestras ensayadas a los 7, 14 y 28 días. Este hallazgo estaría sustentado con lo indicado por Hidalgo *et al* (2013), quien demostró que los adoquines fabricados con un mayor porcentaje de reemplazo de vidrio de grano fino presentaron una mayor resistencia la compresión que aquellos con un menor porcentaje de reemplazo dadas las mejores propiedades mecánicas del primero en términos de geometría y tamaño; siendo ello observado en el caso de los adoquines fabricados con reemplazos de residuos de abrasivos mediante la técnica de chorro abrasivo húmedo, donde el garnet usado presenta mejores propiedades mecánicas, al tener un mayor tamaño de partícula y menor módulo de finura en comparación con el garnet residual generado mediante la técnica del chorro abrasivo seco.

#### **4.5.3 ENSAYO DE ABSORCIÓN DE 24 HORAS**

Este paso consistió en la realización de ensayo de absorción, de acuerdo con el método establecido en la NTP 399.604. En el Anexo 16: Informes de ensayos de absorción de 24 horas en adoquines para pavimento – Laboratorio N°1 de Ensayo de Materiales, se encuentran el compilados de los resultados obtenidos.

En la figura 17: Valores individuales de absorción de 24 horas en adoquines para pavimento a 7 y 28 días, se puede observar que todos los adoquines para pavimento fabricados sobrepasaron los requisitos requeridos de absorción individual, considerando una muestra de tres unidades, de acuerdo con la NTP 399.611 (Cuadro 11: Valores de absorción); obteniendo valores superiores al 7.5 por ciento. Adicionalmente, se puede observar que los adoquines elaborados con el tratamiento de reemplazo con residuos de abrasivos mediante la técnica del chorro abrasivo seco mostraron una disminución considerable en los valores

individuales de absorción de 24 horas, tanto a los 7 como a los 28 días, en comparación con los adoquines patrón, por lo que podría deducirse que la incorporación de este tipo de abrasivo influye positivamente en esta característica, permitiendo así obtener valores un poco más cercanos al requerido por la NTP 399.611. Por otro lado, se observa que, salvo en los tratamientos T3-S y T1-H, a los 28 días se obtuvo una disminución de los valores de absorción en comparación a aquellos obtenidos a los 7 días.

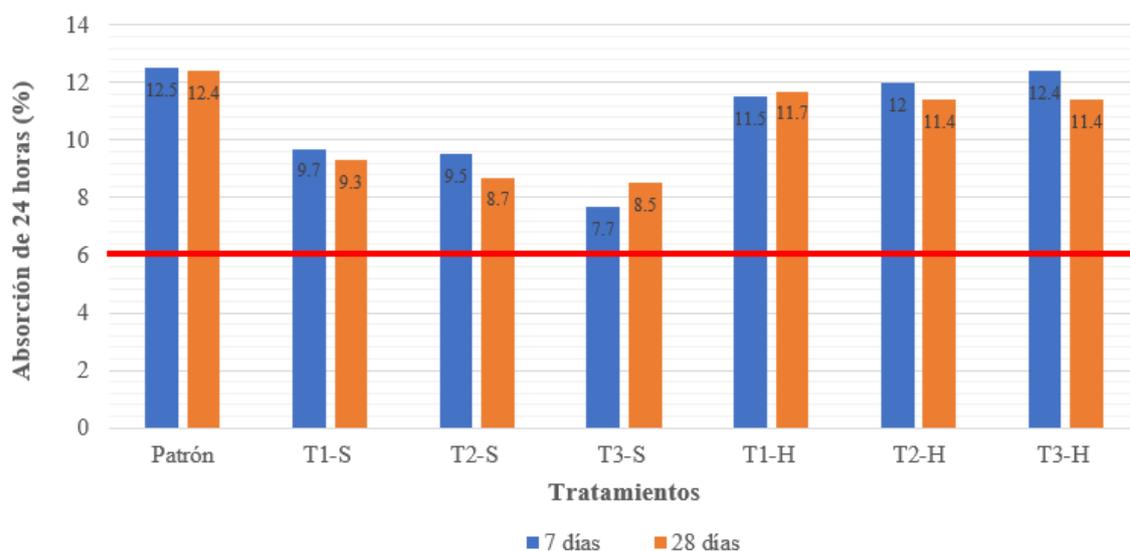


**Figura 17: Valores individuales de absorción de 24 horas en adoquines para pavimento a 7 y 28 días**

Los resultados de absorción obtenidos para los adoquines patrón coinciden con lo indicado por González-Fonteboa *et al*, 2013; citado por González-Fonteboa *et al*, 2018; quienes señalaron que las piezas fabricadas únicamente con agregados reciclados a base de residuos de construcción presentarían una mayor capacidad de absorción de agua que aquellas piezas que contengan una menor cantidad de cemento en su fabricación. Tal es así que, de los siete tratamientos ensayados, los adoquines patrón elaborados enteramente a base de agregados reciclados provenientes de residuos de construcción son el grupo que presenta la mayor capacidad de absorción de agua, con valores que sobrepasan el 11 por ciento tanto a los 7 como a los 28 días.

En la Figura 18: Valores promedio de absorción de 24 horas en adoquines para pavimento a 7 y 28 días, se puede observar que ninguno de los adoquines para pavimento fabricados llegó

a cumplir con los requisitos requeridos de absorción promedio para tres unidades, de acuerdo con la NTP 399.611 (Cuadro 11: Valores de absorción); obteniendo valores superiores al 6 por ciento para el promedio de tres unidades. Adicionalmente, se puede observar que los adoquines elaborados con el tratamiento de reemplazo con residuos de abrasivos mediante la técnica del chorro abrasivo seco mostraron una disminución considerable en los valores promedio de absorción de 24 horas, tanto a los 7 como a los 28 días, en comparación con los adoquines patrón, por lo que podría deducirse que la incorporación de este tipo de abrasivo influye positivamente en esta característica, permitiendo así obtener valores un poco más cercanos al requerido por la NTP 399.611. Por otro lado, se observa que, los adoquines elaborados con el tratamiento de reemplazo con residuos de abrasivos mediante la técnica del chorro abrasivo húmedo mostraron resultados similares a los obtenidos con el adoquín patrón.



**Figura 18: Valores promedio de absorción de 24 horas en adoquines para pavimento a 7 y 28 días**

De forma similar a lo encontrado en los resultados de los ensayos de resistencia a la compresión, para el caso de la propiedad de absorción de agua se deberá tomar en cuenta que el garnet una mezcla natural de granate almandino afín al agua, por lo que el tamaño de partícula y el estado de hidratación de los residuos de dicho abrasivo también jugarían un papel en las propiedades mecánicas del concreto. Es así como los residuos de abrasivos mediante la técnica del chorro abrasivo seco, al tener una ligeramente menor capacidad de absorción debido a su contenido mayor de humedad en relación con los residuos de abrasivos

mediante la técnica del chorro abrasivo húmedo; constituyen una mejor alternativa como reemplazo de agregados en el diseño de una mezcla de concreto a base de agregados reciclados provenientes de residuos de construcción. Lo anterior se puede corroborar con los resultados de absorción de agua obtenidos para los tratamientos de reemplazo con residuos de abrasivos mediante la técnica del chorro abrasivo seco, donde se observa que a mayor porcentaje de reemplazo de agregados finos reciclados provenientes de residuos de construcción por residuos de abrasivos usados en preparación de superficie, se obtuvieron menores valores de absorción de agua; siendo así que el tratamiento T3-S, correspondiente al 50 por ciento de reemplazo, fue el que obtuvo los mejores resultados con valores promedio de 7.7 y 8.5 por ciento a los 7 y 28 días; respectivamente, ligeramente superiores al 6 por ciento requerido por la NTP 399.611.

#### **4.6 ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LOS RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE LABORATORIO REALIZADOS A LOS ADOQUINES PARA PAVIMENTO TIPO I FABRICADOS CON AGREGADOS RECICLADOS PROVENIENTES DE RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN Y RESIDUOS DE ABRASIVOS (GARNET)**

##### **4.6.1 COMPROBACIÓN DE HIPÓTESIS ESPECÍFICA 1**

A continuación, se muestran las hipótesis planteadas para determinar estadísticamente si la incorporación de residuos de abrasivos usados en preparación de superficies mediante las técnicas de chorro abrasivo seco y húmedo permiten que los adoquines para pavimento tipo I fabricados con agregados reciclados provenientes de residuos de construcción cumplan con los requerimientos mínimos de resistencia a la compresión a los 7, 14 y 28 días.

##### **a. Prueba de hipótesis para los adoquines para pavimento ensayados a los 7 días de curado**

A continuación, se enuncian la hipótesis nula ( $H_0$ ) e hipótesis alterna ( $H_1$ ) planteadas para la presente comprobación:

- **Hipótesis nula ( $H_0$ ):** No existe diferencia significativa en la resistencia a la compresión, a los 7 días de curado, de los adoquines para pavimento tipo I fabricados a base de agregados reciclados provenientes de residuos de construcción y aquellos fabricados con reemplazos del 15, 30 y 50 por ciento; respectivamente, de los

agregados finos por residuos de abrasivos usados en preparación de superficies mediante las técnicas de chorro abrasivo seco y húmedo.

- **Hipótesis alterna (H<sub>1</sub>):** Existe diferencia significativa en la resistencia a la compresión, a los 7 días de curado, de los adoquines para pavimento tipo I fabricados a base de agregados reciclados provenientes de residuos de construcción y aquellos fabricados con reemplazos del 15, 30 y 50 por ciento; respectivamente, de los agregados finos por residuos de abrasivos usados en preparación de superficies mediante las técnicas de chorro abrasivo seco y húmedo.

En el Cuadro 34 se presentan los resultados descriptivos del ensayo de resistencia a la compresión de los adoquines para pavimento tipo I de los siete tratamientos planteados, ensayados a los 7 días de curado.

**Cuadro 34: Resultados descriptivos de los adoquines ensayados a los 7 días de curado**

Tratamiento	Media	Mediana	Desviación estándar	Varianza de la muestra
Patrón	262.341	262.935	1.915	3.668
T1-S	267.794	272.400	8.303	68.938
T2-S	261.994	265.686	10.169	103.412
T3-S	242.620	237.313	20.424	417.151
T1-H	220.412	220.005	9.428	88.886
T2-H	251.429	247.525	19.317	373.139
T3-H	293.113	294.236	8.429	71.054

Tal y como se puede observar en el Cuadro 34, los adoquines para pavimento patrón (fabricados con agregados reciclados provenientes de residuos de construcción), son los que presentan la menor dispersión entre todo el conjunto de datos. De igual forma, se observa una ligera tendencia a que los adoquines para pavimento fabricados con reemplazo de residuos de abrasivos usados en preparación de superficie mediante la técnica de chorro abrasivo húmedo presenten mejores características a mayor porcentaje de reemplazo al observarse un incremento sostenido de la resistencia a la compresión conforme aumenta el porcentaje de reemplazo de residuos de abrasivos usados en la mezcla, caso contrario a lo que se observa en los resultados de resistencia a la compresión de los adoquines para pavimento fabricados con reemplazo de residuos de abrasivos usados en preparación de superficie mediante la técnica de chorro abrasivo seco.

En el Cuadro 35 se presentan los resultados luego de realizar la prueba de Shapiro-Wilk para corroborar si los resultados obtenidos del ensayo de resistencia a la compresión de los adoquines para pavimento tipo I de los siete tratamientos planteados, ensayados a los 7 días de curado, cumplen con el criterio de normalidad.

**Cuadro 35: Análisis de la corroboración de la distribución normal de la variable aleatoria (media de resultados de resistencia a la compresión) de los adoquines ensayados a los 7 días de curado**

Tratamiento	Estadístico	N° de adoquines	Significancia	Análisis
Patrón	0.928	3	0.478	Sí presenta normalidad
T1-S	0.769	3	0.043	No presenta normalidad
T2-S	0.901	3	0.389	Sí presenta normalidad
T3-S	0.949	3	0.567	Sí presenta normalidad
T1-H	0.999	3	0.929	Sí presenta normalidad
T2-H	0.969	3	0.664	Sí presenta normalidad
T3-H	0.987	3	0.779	Sí presenta normalidad

Tal como se observa en el Cuadro 35, únicamente el tratamiento de reemplazo de 15 por ciento de residuos de abrasivos usados en preparación de superficies mediante la técnica de chorro abrasivo seco no presenta una distribución normal, al obtener un valor de significancia menor a 0.05.

En el Cuadro 36 se presentan los resultados luego de realizar la prueba de Levene para corroborar si los resultados obtenidos del ensayo de resistencia a la compresión de los adoquines para pavimento tipo I de los siete tratamientos planteados, ensayados a los 7 días de curado, cumplen con el criterio de homogeneidad de varianzas.

**Cuadro 36: Análisis de los resultados de la prueba de homogeneidad de varianzas aplicando el estadístico de Levene para la comparación de los resultados obtenidos de resistencia a la compresión de los adoquines ensayados a los 7 días de curado**

Descripción	Estadístico	Significancia	Análisis
Se basa en la media	2.128	0.115	Sí presenta homogeneidad

Tal como se observa en el cuadro 36, luego de comparar los resultados de resistencia a la compresión obtenidos para los siete tratamientos ensayados, se puede concluir que éstos presentan homogeneidad de varianzas al obtener un valor de significancia mayor a 0.05.

En el Cuadro 37 se presentan los resultados luego de realizar la prueba de ANOVA de un factor a los resultados obtenidos del ensayo de resistencia a la compresión de los adoquines para pavimento tipo I de los siete tratamientos planteados, ensayados a los 7 días de curado.

**Cuadro 37: Análisis de la prueba de hipótesis aplicando ANOVA de un factor para los resultados obtenidos de resistencia a la compresión de los adoquines ensayados a los 7 días de curado**

Descripción	Suma de cuadrados	Media cuadrática	F	Significancia
Entre tratamientos	9151.751	1525.292	9.480	0.000

Finalmente, del Cuadro 37 se observa que como el valor de significancia obtenido es menor que 0.05, se acepta la hipótesis alterna ( $H_1$ ) y, por tanto, se reconoce que existen diferencias significativas entre las medias de los valores de la resistencia a la compresión, a los 7 días de curado, de los tratamientos de adoquines patrón y adoquines con 15, 30 y 50 por ciento; respectivamente, de reemplazo de agregados reciclados con residuos de abrasivos usados en actividades de preparación de superficie mediante la técnica de chorro abrasivo seco y húmedo.

**b. Prueba de hipótesis para los adoquines para pavimento ensayados a los 14 días de curado**

A continuación, se enuncian la hipótesis nula ( $H_0$ ) e hipótesis alterna ( $H_1$ ) planteadas para la presente comprobación:

- **Hipótesis nula ( $H_0$ ):** No existe diferencia significativa en la resistencia a la compresión, a los 14 días de curado, de los adoquines para pavimento tipo I fabricados a base de agregados reciclados provenientes de residuos de construcción y aquellos fabricados con reemplazos del 15, 30 y 50 por ciento; respectivamente, de los agregados finos por residuos de abrasivos usados en preparación de superficies mediante las técnicas de chorro abrasivo seco y húmedo.

- **Hipótesis alterna (H<sub>1</sub>):** Existe diferencia significativa en la resistencia a la compresión, a los 14 días de curado, de los adoquines para pavimento tipo I fabricados a base de agregados reciclados provenientes de residuos de construcción y aquellos fabricados con reemplazos del 15, 30 y 50 por ciento; respectivamente, de los agregados finos por residuos de abrasivos usados en preparación de superficies mediante las técnicas de chorro abrasivo seco y húmedo.

En el Cuadro 38 se presentan los resultados descriptivos del ensayo de resistencia a la compresión de los adoquines para pavimento tipo I de los siete tratamientos planteados, ensayados a los 14 días de curado.

**Cuadro 38: Resultados descriptivos de los adoquines ensayados a los 14 días de curado**

Tratamiento	Media	Mediana	Desviación estándar	Varianza de la muestra
Patrón	314.454	319.789	11.622	135.067
T1-S	267.293	275.775	21.783	474.488
T2-S	234.001	230.256	13.228	174.975
T3-S	272.171	273.554	19.277	371.588
T1-H	251.877	256.370	8.249	68.045
T2-H	250.044	255.762	20.589	423.903
T3-H	235.612	237.806	11.299	127.674

Tal y como se puede observar en el Cuadro 38, los adoquines para pavimento fabricados con reemplazo de residuos de abrasivos usados en preparación de superficie mediante la técnica de chorro abrasivo húmedo son los que presentan la menor dispersión entre todos los tratamientos ensayados, seguidos por los adoquines para pavimento patrón (fabricados con agregados reciclados provenientes de residuos de construcción). Se resalta de igual forma que los resultados de resistencia a la compresión obtenidos para los tratamientos de reemplazo con residuos de abrasivos usados en preparación de superficie mediante la técnica de chorro abrasivo seco y húmedo son menores en relación a los obtenidos por el adoquín patrón, siendo éste el que presente un valor promedio de resistencia a la compresión (314 kg/cm<sup>2</sup>) cercano al recomendado en la NTP de referencia (320 kg/cm<sup>2</sup>).

En el Cuadro 39 se presentan los resultados luego de realizar la prueba de Shapiro-Wilk para corroborar si los resultados obtenidos del ensayo de resistencia a la compresión de los

adoquines para pavimento tipo I de los siete tratamientos planteados, ensayados a los 14 días de curado, cumplen con el criterio de normalidad.

**Cuadro 39: Análisis de la corroboración de la distribución normal de la variable aleatoria (media de resultados de resistencia a la compresión) de los adoquines ensayados a los 14 días de curado**

Tratamiento	Estadístico	N° de adoquines	Significancia	Análisis
Patrón	0.842	3	0.219	Sí presenta normalidad
T1-S	0.886	3	0.343	Sí presenta normalidad
T2-S	0.940	3	0.527	Sí presenta normalidad
T3-S	0.996	3	0.882	Sí presenta normalidad
T1-H	0.777	3	0.061	Sí presenta normalidad
T2-H	0.942	3	0.536	Sí presenta normalidad
T3-H	0.972	3	0.677	Sí presenta normalidad

Tal como se observa en el Cuadro 39, a diferencia de los resultados obtenidos para los adoquines ensayados a los 7 días de curado, a los 14 días de curado todos los tratamientos planteados presentan una distribución normal, al obtener un valor de significancia mayor a 0.05, así como un valor de estadístico mayor a 0.767.

En el Cuadro 40 se presentan los resultados luego de realizar la prueba de Levene para corroborar si los resultados obtenidos del ensayo de resistencia a la compresión de los adoquines para pavimento tipo I de los siete tratamientos planteados, ensayados a los 14 días de curado, cumplen con el criterio de homogeneidad de varianzas.

**Cuadro 40: Análisis de los resultados de la prueba de homogeneidad de varianzas aplicando el estadístico de Levene para la comparación de los resultados obtenidos de resistencia a la compresión de los adoquines ensayados a los 14 días de curado**

Descripción	Estadístico	Significancia	Análisis
Se basa en la media	0.936	0.500	Sí presenta homogeneidad

Tal como se observa en el Cuadro 40, luego de comparar los resultados de resistencia a la compresión obtenidos para los siete tratamientos ensayados, se puede concluir que éstos presentan homogeneidad de varianzas al obtener un valor de significancia mayor a 0.05.

En el Cuadro 41 se presentan los resultados luego de realizar la prueba de ANOVA de un factor a los resultados obtenidos del ensayo de resistencia a la compresión de los adoquines para pavimento tipo I de los siete tratamientos planteados, ensayados a los 14 días de curado.

**Cuadro 41: Análisis de la prueba de hipótesis aplicando ANOVA de un factor para los resultados obtenidos de resistencia a la compresión de los adoquines ensayados a los 14 días de curado**

Descripción	Suma de cuadrados	Media cuadrática	F	Significancia
Entre tratamientos	13794.416	2299.069	9.063	0.000

Finalmente, del cuadro 41 se observa que como el valor de significancia obtenido es menor que 0.05, se acepta la hipótesis alterna ( $H_1$ ) y, por tanto, se reconoce que existen diferencias significativas entre las medias de los valores de la resistencia a la compresión, a los 14 días de curado, de los tratamientos de adoquines patrón y adoquines con 15, 30 y 50 por ciento; respectivamente, de reemplazo de agregados reciclados con residuos de abrasivos usados en actividades de preparación de superficie mediante la técnica de chorro abrasivo seco y húmedo.

**c. Prueba de hipótesis para los adoquines para pavimento ensayados a los 28 días de curado**

A continuación, se enuncian la hipótesis nula ( $H_0$ ) e hipótesis alterna ( $H_1$ ) planteadas para la presente comprobación:

- **Hipótesis nula ( $H_0$ ):** No existe diferencia significativa en la resistencia a la compresión, a los 28 días de curado, de los adoquines para pavimento tipo I fabricados a base de agregados reciclados provenientes de residuos de construcción y aquellos fabricados con reemplazos del 15, 30 y 50 por ciento; respectivamente, de los agregados finos por residuos de abrasivos usados en preparación de superficies mediante las técnicas de chorro abrasivo seco y húmedo.
- **Hipótesis alterna ( $H_1$ ):** Existe diferencia significativa en la resistencia a la compresión, a los 28 días de curado, de los adoquines para pavimento tipo I fabricados a base de agregados reciclados provenientes de residuos de construcción y aquellos fabricados con reemplazos del 15, 30 y 50 por ciento; respectivamente, de los

agregados finos por residuos de abrasivos usados en preparación de superficies mediante las técnicas de chorro abrasivo seco y húmedo.

En el Cuadro 42 se presentan los resultados descriptivos del ensayo de resistencia a la compresión de los adoquines para pavimento tipo I de los siete tratamientos planteados, ensayados a los 28 días de curado.

**Cuadro 42: Resultados descriptivos de los adoquines ensayados a los 28 días de curado**

Tratamiento	Media	Mediana	Desviación estándar	Varianza de la muestra
Patrón	342.860	340.496	5.011	25.114
T1-S	218.892	224.509	12.892	166.216
T2-S	259.285	258.473	12.092	146.214
T3-S	277.683	275.051	5.838	34.083
T1-H	300.494	289.065	20.083	403.343
T2-H	304.854	304.598	7.146	51.072
T3-H	324.001	322.020	9.949	98.988

Tal y como se puede observar en el Cuadro 42, los adoquines para pavimento patrón (fabricados con agregados reciclados provenientes de residuos de construcción) y los adoquines para pavimento fabricados con reemplazo de 50 por ciento de residuos de abrasivos usados en preparación de superficie mediante la técnica de chorro abrasivo seco y 30 y 50 por ciento de reemplazo de residuos de abrasivos usados en preparación de superficie mediante la técnica de chorro abrasivo húmedo son los que presentan la menor dispersión entre todos los tratamientos. Se resalta de igual forma que los resultados de resistencia a la compresión obtenidos para los tratamientos de reemplazo con residuos de abrasivos usados en preparación de superficie mediante la técnica de chorro abrasivo seco son menores en relación a los obtenidos por los adoquines patrón y por los adoquines fabricados con reemplazos de residuos de abrasivos usados en preparación de superficie mediante la técnica de chorro abrasivo húmedo, siendo únicamente los tratamientos del adoquín patrón y del adoquín fabricado con reemplazo de 50 por ciento de residuos de abrasivos usados en preparación de superficie mediante la técnica de chorro abrasivo húmedo, los que presentaron un valor promedio de resistencia a la compresión ( $342 \text{ kg/cm}^2$  y  $324 \text{ kg/cm}^2$ , respectivamente) cercanos al recomendado en la NTP de referencia ( $320 \text{ kg/cm}^2$ )

En el cuadro 43 se presentan los resultados luego de realizar la prueba de Shapiro-Wilk para corroborar si los resultados obtenidos del ensayo de resistencia a la compresión de los adoquines para pavimento tipo I de los siete tratamientos planteados, ensayados a los 28 días de curado, cumplen con el criterio de normalidad.

**Cuadro 43: Análisis de la corroboración de la distribución normal de la variable aleatoria (media de resultados de resistencia a la compresión) de los adoquines ensayados a los 28 días de curado**

Tratamiento	Estadístico	N° de adoquines	Significancia	Análisis
Patrón	0.833	3	0.197	Sí presenta normalidad
T1-S	0.858	3	0.261	Sí presenta normalidad
T2-S	0.997	3	0.889	Sí presenta normalidad
T3-S	0.848	3	0.235	Sí presenta normalidad
T1-H	0.757	3	0.016	No presenta normalidad
T2-H	0.999	3	0.941	Sí presenta normalidad
T3-H	0.970	3	0.669	Sí presenta normalidad

Tal como se observa en el Cuadro 43, a diferencia de los resultados obtenidos para los adoquines ensayados a los 14 días de curado, a los 28 días de curado se tiene que los adoquines fabricados con el 15 por ciento de reemplazo de residuos de abrasivos usados mediante la técnica del chorro abrasivo húmedo no presentan una distribución normal, al obtener un valor de significancia menor a 0.05, así como un valor de estadístico menor a 0.767.

En el Cuadro 44 se presentan los resultados luego de realizar la prueba de Levene para corroborar si los resultados obtenidos del ensayo de resistencia a la compresión de los adoquines para pavimento tipo I de los siete tratamientos planteados, ensayados a los 14 días de curado, cumplen con el criterio de homogeneidad de varianzas.

**Cuadro 44: Análisis de los resultados de la prueba de homogeneidad de varianzas aplicando el estadístico de Levene para la comparación de los resultados obtenidos de resistencia a la compresión de los adoquines ensayados a los 28 días de curado**

Descripción	Estadístico	Significancia	Análisis
Se basa en la media	2.265	0.097	Sí presenta homogeneidad

Tal como se observa en el Cuadro 44, luego de comparar los resultados de resistencia a la compresión obtenidos para los siete tratamientos ensayados, se puede concluir que éstos presentan homogeneidad de varianzas al obtener un valor de significancia mayor a 0.05.

En el Cuadro 45 se presentan los resultados luego de realizar la prueba de ANOVA de un factor a los resultados obtenidos del ensayo de resistencia a la compresión de los adoquines para pavimento tipo I de los siete tratamientos planteados, ensayados a los 14 días de curado.

**Cuadro 45: Análisis de la prueba de hipótesis aplicando ANOVA de un factor para los resultados obtenidos de resistencia a la compresión de los adoquines ensayados a los 28 días de curado**

Descripción	Suma de cuadrados	Media cuadrática	F	Significancia
Entre tratamientos	31295.707	5215.951	39.471	0.000

Del Cuadro 45 se observa que como el valor de significancia obtenido es menor que 0.05, se acepta la hipótesis alterna ( $H_1$ ) y, por tanto, se reconoce que existen diferencias significativas entre las medias de los valores de la resistencia a la compresión, a los 28 días de curado, de los tratamientos de adoquines patrón y adoquines con 15, 30 y 50 por ciento; respectivamente, de reemplazo de agregados reciclados con residuos de abrasivos usados en actividades de preparación de superficie mediante la técnica de chorro abrasivo seco y húmedo.

Finalmente, de los Cuadros 37, 41 y 45 se concluye que, dado que existen diferencias significativas entre las medias de los valores de la resistencia a la compresión, a los 7, 14 y 28 días de curado, de los tratamientos de adoquines patrón y adoquines con 15, 30 y 50 por ciento de reemplazo; respectivamente, de agregados reciclados con residuos de abrasivos usados en actividades de preparación de superficie mediante la técnica de chorro abrasivo seco y húmedo; que la incorporación de estos residuos a la mezcla influye negativamente a que estos últimos puedan alcanzar los requerimientos mínimos de resistencia la compresión, lo cual solo fue observado en el caso del tratamiento de 50 por ciento de reemplazo de residuos de abrasivos usados mediante la técnica del chorro abrasivo húmedo.

#### 4.6.2 COMPROBACIÓN DE HIPÓTESIS ESPECÍFICA 2

A continuación, se muestran las hipótesis planteadas para determinar estadísticamente si la incorporación de residuos de abrasivos usados en preparación de superficies mediante las técnicas de chorro abrasivo seco y húmedo permiten que los adoquines para pavimento tipo I fabricados con agregados reciclados provenientes de residuos de construcción cumplan con los requerimientos mínimos de absorción a los 7 y 28 días.

##### a. Prueba de hipótesis para los adoquines para pavimento ensayados a los 7 días de curado

A continuación, se enuncian la hipótesis nula ( $H_0$ ) e hipótesis alterna ( $H_1$ ) planteadas para la presente comprobación:

- **Hipótesis nula ( $H_0$ ):** No existe diferencia significativa en la absorción, a los 7 días de curado, de los adoquines para pavimento tipo I fabricados a base de agregados reciclados provenientes de residuos de construcción y aquellos fabricados con reemplazos del 15, 30 y 50 por ciento; respectivamente, de los agregados finos por residuos de abrasivos usados en preparación de superficies mediante las técnicas de chorro abrasivo seco y húmedo.
- **Hipótesis alterna ( $H_1$ ):** Existe diferencia significativa en la absorción, a los 7 días de curado, de los adoquines para pavimento tipo I fabricados a base de agregados reciclados provenientes de residuos de construcción y aquellos fabricados con reemplazos del 15, 30 y 50 por ciento; respectivamente, de los agregados finos por residuos de abrasivos usados en preparación de superficies mediante las técnicas de chorro abrasivo seco y húmedo.

En el Cuadro 46 se presentan los resultados descriptivos del ensayo de absorción de los adoquines para pavimento tipo I de los siete tratamientos planteados, ensayados a los 7 días de curado.

**Cuadro 46: Resultados descriptivos de los adoquines ensayados a los 7 días de curado**

Tratamiento	Media	Mediana	Desviación estándar	Varianza de la muestra
Patrón	12.500	12.800	0.700	0.490

## Continuación

Tratamiento	Media	Mediana	Desviación estándar	Varianza de la muestra
T1-S	9.667	9.300	0.723	0.523
T2-S	9.467	9.900	1.401	1.963
T3-S	7.667	7.600	0.603	0.363
T1-H	11.467	11.400	0.208	0.043
T2-H	12.000	12.000	0.200	0.040
T3-H	12.367	12.300	0.306	0.093

Tal y como se puede observar en el Cuadro 46, los adoquines para pavimento fabricados con reemplazo de residuos de abrasivos usados en preparación de superficie mediante la técnica de chorro abrasivo húmedo son los que presentan la menor dispersión entre todo el conjunto de datos. Cabe resaltar que la media observada para los adoquines patrón (fabricados con agregados reciclados provenientes de residuos de construcción) es similar a la media obtenida para los adoquines para pavimento fabricados con reemplazo de residuos de abrasivos usados en preparación de superficie mediante la técnica de chorro abrasivo húmedo. Si bien ninguno de los siete tratamientos ensayados cumple con los valores de absorción recomendados en la NTP de referencia (6 por ciento), son los fabricados con reemplazos de 15, 30 y 50 por ciento; respectivamente, de residuos de abrasivos usados en preparación de superficie mediante la técnica de chorro abrasivo seco, los que presentaron un valor promedio de absorción (9.667, 9.467 y 7.667 por ciento; respectivamente) cercanos al recomendado en la NTP de referencia.

En el Cuadro 47 se presentan los resultados luego de realizar la prueba de Shapiro-Wilk para corroborar si los resultados obtenidos del ensayo de absorción de los adoquines para pavimento tipo I de los siete tratamientos planteados, ensayados a los 7 días de curado, cumplen con el criterio de normalidad.

**Cuadro 47: Análisis de la corroboración de la distribución normal de la variable aleatoria (media de resultados de absorción) de los adoquines ensayados a los 7 días de curado**

Tratamiento	Estadístico	N° de adoquines	Significancia	Análisis
Patrón	0.862	3	0.274	Sí presenta normalidad
T1-S	0.807	3	0.132	Sí presenta normalidad

### Continuación

Tratamiento	Estadístico	N° de adoquines	Significancia	Análisis
T2-S	0.928	3	0.482	Sí presenta normalidad
T3-S	0.991	3	0.817	Sí presenta normalidad
T1-H	0.923	3	0.463	Sí presenta normalidad
T2-H	1.000	3	1.000	Sí presenta normalidad
T3-H	0.964	3	0.637	Sí presenta normalidad

Tal como se observa en el Cuadro 47, la totalidad de tratamientos ensayados presentan una distribución normal, al obtener un valor de significancia mayor a 0.05, así como un valor de estadístico mayor a 0.767.

En el Cuadro 48 se presentan los resultados luego de realizar la prueba de Levene para corroborar si los resultados obtenidos del ensayo de absorción de los adoquines para pavimento tipo I de los siete tratamientos planteados, ensayados a los 7 días de curado, cumplen con el criterio de homogeneidad de varianzas.

#### **Cuadro 48: Análisis de los resultados de la prueba de homogeneidad de varianzas aplicando el estadístico de Levene para la comparación de los resultados obtenidos de absorción de los adoquines ensayados a los 7 días de curado**

Descripción	Estadístico	Significancia	Análisis
Se basa en la media	3.642	0.022	No presenta homogeneidad

Tal como se observa en el Cuadro 48, luego de comparar los resultados de absorción obtenidos para los siete tratamientos ensayados, se puede concluir que éstos no presentan homogeneidad de varianzas al obtener un valor de significancia menor a 0.05.

En el Cuadro 49 se presentan los resultados luego de realizar la prueba de ANOVA de un factor a los resultados obtenidos del ensayo de absorción de los adoquines para pavimento tipo I de los siete tratamientos planteados, ensayados a los 7 días de curado.

#### **Cuadro 49: Análisis de la prueba de hipótesis aplicando ANOVA de un factor para los resultados obtenidos de absorción de los adoquines ensayados a los 7 días de curado**

Descripción	Suma de cuadrados	Media cuadrática	F	Significancia
Entre tratamientos	60.233	10.039	19.983	0.000

Finalmente, del Cuadro 49 se observa que como el valor de significancia obtenido es menor que 0.05, se acepta la hipótesis alterna ( $H_1$ ) y, por tanto, se reconoce que existen diferencias significativas entre las medias de los valores de absorción, a los 7 días de curado, de los tratamientos de adoquines patrón y adoquines con 15, 30 y 50 por ciento; respectivamente, de reemplazo de agregados reciclados con residuos de abrasivos usados en actividades de preparación de superficie mediante la técnica de chorro abrasivo seco y húmedo.

**b. Prueba de hipótesis para los adoquines para pavimento ensayados a los 28 días de curado**

A continuación, se enuncian la hipótesis nula ( $H_0$ ) e hipótesis alterna ( $H_1$ ) planteadas para la presente comprobación:

- **Hipótesis nula ( $H_0$ ):** No existe diferencia significativa en la absorción, a los 28 días de curado, de los adoquines para pavimento tipo I fabricados a base de agregados reciclados provenientes de residuos de construcción y aquellos fabricados con reemplazos del 15, 30 y 50 por ciento; respectivamente, de los agregados finos por residuos de abrasivos usados en preparación de superficies mediante las técnicas de chorro abrasivo seco y húmedo.
- **Hipótesis alterna ( $H_1$ ):** Existe diferencia significativa en la absorción, a los 28 días de curado, de los adoquines para pavimento tipo I fabricados a base de agregados reciclados provenientes de residuos de construcción y aquellos fabricados con reemplazos del 15, 30 y 50 por ciento; respectivamente, de los agregados finos por residuos de abrasivos usados en preparación de superficies mediante las técnicas de chorro abrasivo seco y húmedo.

En el Cuadro 50 se presentan los resultados descriptivos del ensayo de absorción de los adoquines para pavimento tipo I de los siete tratamientos planteados, ensayados a los 28 días de curado.

**Cuadro 50: Resultados descriptivos de los adoquines ensayados a los 28 días de curado**

Tratamiento	Media	Mediana	Desviación estándar	Varianza de la muestra
Patrón	12.433	12.600	0.569	0.323
T1-S	9.300	9.000	0.794	0.630

## Continuación

Tratamiento	Media	Mediana	Desviación estándar	Varianza de la muestra
T2-S	8.733	8.800	0.115	0.013
T3-S	8.533	8.500	0.651	0.423
T1-H	11.667	11.800	0.513	0.263
T2-H	11.433	11.400	0.058	0.003
T3-H	11.367	11.200	0.473	0.223

Tal y como se puede observar en el Cuadro 46, al igual que con los resultados obtenidos a los 7 días de curado, los adoquines para pavimento fabricados con reemplazo de residuos de abrasivos usados en preparación de superficie mediante la técnica de chorro abrasivo húmedo son los que presentan la menor dispersión entre todo el conjunto de datos. Cabe resaltar que la media observada para los adoquines patrón (fabricados con agregados reciclados provenientes de residuos de construcción) es ligeramente superior a la media obtenida para los adoquines para pavimento fabricados con reemplazo de residuos de abrasivos usados en preparación de superficie mediante la técnica de chorro abrasivo húmedo. Si bien ninguno de los siete tratamientos ensayados cumple con los valores de absorción recomendados en la NTP de referencia (6 por ciento), son los fabricados con reemplazos de, 15, 30 y 50 por ciento; respectivamente, de residuos de abrasivos usados en preparación de superficie mediante la técnica de chorro abrasivo seco, los que presentaron un valor promedio de absorción (9.300, 8.733 y 8.533 por ciento; respectivamente) cercanos al recomendado en la NTP de referencia.

En el Cuadro 51 se presentan los resultados luego de realizar la prueba de Shapiro-Wilk para corroborar si los resultados obtenidos del ensayo de absorción de los adoquines para pavimento tipo I de los siete tratamientos planteados, ensayados a los 28 días de curado, cumplen con el criterio de normalidad.

**Cuadro 51: Análisis de la corroboración de la distribución normal de la variable aleatoria (media de resultados de absorción) de los adoquines ensayados a los 28 días de curado**

Tratamiento	Estadístico	N° de adoquines	Significancia	Análisis
Patrón	0.936	3	0.510	Sí presenta normalidad
T1-S	0.893	3	0.363	Sí presenta normalidad

## Continuación

Tratamiento	Estadístico	N° de adoquines	Significancia	Análisis
T2-S	0.750	3	0.000	No presenta normalidad
T3-S	0.998	3	0.915	Sí presenta normalidad
T1-H	0.949	3	0.567	Sí presenta normalidad
T2-H	0.750	3	0.000	No presenta normalidad
T3-H	0.907	3	0.407	Sí presenta normalidad

Tal como se observa en el Cuadro 51, a diferencia de los resultados obtenidos para los adoquines ensayados a los 7 días de curado, a los 28 días de curado se tiene que los adoquines fabricados con el 30 por ciento de reemplazo de residuos de abrasivos usados mediante la técnica del chorro abrasivo seco y húmedo no presentan una distribución normal, al obtener un valor de significancia menor a 0.05, así como un valor de estadístico menor a 0.767.

En el Cuadro 52 se presentan los resultados luego de realizar la prueba de Levene para corroborar si los resultados obtenidos del ensayo de absorción de los adoquines para pavimento tipo I de los siete tratamientos planteados, ensayados a los 28 días de curado, cumplen con el criterio de homogeneidad de varianzas.

### **Cuadro 52: Análisis de los resultados de la prueba de homogeneidad de varianzas aplicando el estadístico de Levene para la comparación de los resultados obtenidos de absorción de los adoquines ensayados a los 28 días de curado**

Descripción	Estadístico	Significancia	Análisis
Se basa en la media	2.319	0.091	Sí presenta homogeneidad

Tal como se observa en el Cuadro 52, luego de comparar los resultados de absorción obtenidos para los siete tratamientos ensayados, se puede concluir que éstos presentan homogeneidad de varianzas al obtener un valor de significancia mayor a 0.05.

En el Cuadro 53 se presentan los resultados luego de realizar la prueba de ANOVA de un factor a los resultados obtenidos del ensayo de absorción de los adoquines para pavimento tipo I de los siete tratamientos planteados, ensayados a los 28 días de curado.

**Cuadro 53: Análisis de la prueba de hipótesis aplicando ANOVA de un factor para los resultados obtenidos de absorción de los adoquines ensayados a los 28 días de curado**

Descripción	Suma de cuadrados	Media cuadrática	F	Significancia
Entre tratamientos	45.450	7.575	28.204	0.000

Del Cuadro 53 se observa que como el valor de significancia obtenido es menor que 0.05, se acepta la hipótesis alterna ( $H_1$ ) y, por tanto, se reconoce que existen diferencias significativas entre las medias de los valores de la absorción, a los 28 días de curado, de los tratamientos de adoquines patrón y adoquines con 15, 30 y 50 por ciento; respectivamente, de reemplazo de agregados reciclados con residuos de abrasivos usados en actividades de preparación de superficie mediante la técnica de chorro abrasivo seco y húmedo.

Finalmente, de los Cuadros 39 y 53 se concluye que, dado que existen diferencias significativas entre las medias de los valores de la absorción, a los 7 y 28 días de curado, de los tratamientos de adoquines patrón y adoquines con 15, 30 y 50 por ciento; respectivamente, de reemplazo de agregados reciclados con residuos de abrasivos usados en actividades de preparación de superficie mediante la técnica de chorro abrasivo seco y húmedo; que la incorporación de estos residuos a la mezcla influye negativamente a que estos últimos puedan alcanzar los requerimientos mínimos de absorción, situación que no fue observada en ninguno de los tratamientos ensayados.

#### **4.6.3 COMPROBACIÓN DE HIPÓTESIS ESPECÍFICA 3**

A continuación, se muestran las hipótesis planteadas para determinar estadísticamente si la incorporación de residuos de abrasivos usados en preparación de superficies mediante las técnicas de chorro abrasivo seco y húmedo no influye significativamente en que los adoquines para pavimento tipo I fabricados con agregados reciclados provenientes de residuos de construcción cumplan con los valores de tolerancia dimensional aceptados.

##### **a. Prueba de hipótesis para los adoquines para pavimento ensayados**

A continuación, se enuncian la hipótesis nula ( $H_0$ ) e hipótesis alterna ( $H_1$ ) planteadas para la presente comprobación:

- **Hipótesis nula ( $H_0$ ):** No existe diferencia significativa en las dimensiones de los adoquines para pavimento tipo I fabricados a base de agregados reciclados provenientes de residuos de construcción y aquellos fabricados con reemplazos del 15, 30 y 50 por ciento; respectivamente, de los agregados finos por residuos de abrasivos usados en preparación de superficies mediante las técnicas de chorro abrasivo seco y húmedo.
- **Hipótesis alterna ( $H_1$ ):** Existe diferencia significativa en las dimensiones de los adoquines para pavimento tipo I fabricados a base de agregados reciclados provenientes de residuos de construcción y aquellos fabricados con reemplazos del 15, 30 y 50 por ciento; respectivamente, de los agregados finos por residuos de abrasivos usados en preparación de superficies mediante las técnicas de chorro abrasivo seco y húmedo.

En el Cuadro 54 se presentan los resultados descriptivos de las dimensiones obtenidas para los adoquines para pavimento tipo I de los siete tratamientos planteados.

**Cuadro 54: Resultados descriptivos de los adoquines ensayados**

Tratamiento	Media	Mediana	Desviación estándar	Varianza de la muestra
<b>Patrón</b>	201.666	201.000	2.938	8.632
<b>T1-S</b>	202.790	202.000	2.751	7.566
<b>T2-S</b>	203.566	204.000	1.955	3.820
<b>T3-S</b>	203.351	201.000	3.269	10.688
<b>T1-H</b>	202.459	203.010	3.106	9.646
<b>T2-H</b>	202.900	203.010	3.208	10.290
<b>T3-H</b>	202.679	203.010	2.080	4.325

Tal y como se puede observar en el Cuadro 54, los adoquines para pavimento fabricados con 30 por ciento de reemplazo de residuos de abrasivos usados en preparación de superficie mediante la técnica de chorro abrasivo seco son los que presentan la menor dispersión entre todo el conjunto de datos. Sin embargo, cabe resaltar que estos resultados obtenidos no reflejan la idoneidad de las dimensiones de los adoquines fabricados en relación a los límites de tolerancia dimensional establecidos en la NTP de referencia;, siendo que fueron los adoquines para pavimento fabricados con 50 por ciento de reemplazo de residuos de abrasivos usados en preparación de superficie mediante la técnica de chorro abrasivo

húmedo aquellos que presentaron la menor incidencia de no conformidades en relación dimensiones obtenidas.

En el Cuadro 55 se presentan los resultados luego de realizar la prueba de Shapiro-Wilk para corroborar si los resultados obtenidos del análisis dimensional de los adoquines para pavimento tipo I de los siete tratamientos planteados cumplen con el criterio de normalidad.

**Cuadro 55: Análisis de la corroboración de la distribución normal de la variable aleatoria (media de resultados de análisis dimensional) de los adoquines ensayados**

Tratamiento	Estadístico	N° de adoquines	Significancia	Análisis
Patrón	0.948	3	0.670	Sí presenta normalidad
T1-S	0.921	3	0.404	Sí presenta normalidad
T2-S	0.925	3	0.443	Sí presenta normalidad
T3-S	0.812	3	0.028	No presenta normalidad
T1-H	0.952	3	0.719	Sí presenta normalidad
T2-H	0.884	3	0.175	No presenta normalidad
T3-H	0.916	3	0.361	Sí presenta normalidad

Tal como se observa en el Cuadro 55, se tiene que los adoquines fabricados con el 50 por ciento de reemplazo de residuos de abrasivos usados mediante la técnica del chorro abrasivo seco y 30 por ciento de reemplazo de residuos de abrasivos usados mediante la técnica del chorro abrasivo húmedo no presentan una distribución normal, al obtener un valor de significancia menor a 0.05, así como un valor de estadístico menor a 0.829.

En el Cuadro 56 se presentan los resultados luego de realizar la prueba de Levene para corroborar si los resultados obtenidos del análisis dimensional de los adoquines para pavimento tipo I de los siete tratamientos planteados cumplen con el criterio de homogeneidad de varianzas.

**Cuadro 56: Análisis de los resultados de la prueba de homogeneidad de varianzas aplicando el estadístico de Levene para la comparación de los resultados obtenidos de análisis dimensional de los adoquines ensayados**

Descripción	Estadístico	Significancia	Análisis
Se basa en la media	0.912	0.493	Sí presenta homogeneidad

Tal como se observa en el cuadro 56, luego de comparar los resultados de análisis dimensional obtenidos para los siete tratamientos ensayados, se puede concluir que éstos presentan homogeneidad de varianzas al obtener un valor de significancia mayor a 0.05.

En el Cuadro 57 se presentan los resultados luego de realizar la prueba de ANOVA de un factor a los resultados obtenidos del análisis dimensional de los adoquines para pavimento tipo I de los siete tratamientos planteados.

**Cuadro 57: Análisis de la prueba de hipótesis aplicando ANOVA de un factor para los resultados obtenidos de análisis dimensional de los adoquines ensayados**

Descripción	Suma de cuadrados	Media cuadrática	F	Significancia
Entre tratamientos	20.815	3.469	0.442	0.848

Finalmente, del cuadro 57 se observa que como el valor de significancia obtenido es mayor que 0.05, se acepta la hipótesis nula ( $H_0$ ) y, por tanto, se reconoce que no existen diferencias significativas entre las medias de las dimensiones de los tratamientos de adoquines patrón y adoquines con 15, 30 y 50 por ciento; respectivamente, de reemplazo de agregados reciclados con residuos de abrasivos usados en actividades de preparación de superficie mediante la técnica de chorro abrasivo seco y húmedo.

#### **4.6.4 COMPROBACIÓN DE HIPÓTESIS GENERAL**

A continuación, en base a los resultados de la comprobación de las tres hipótesis específicas mostrados en las secciones anteriores, se muestran las hipótesis planteadas para determinar si la incorporación de residuos de abrasivos usados en preparación de superficies mediante las técnicas de chorro abrasivo seco y húmedo pueden ser usados como reemplazo de hasta el 50 por ciento de los agregados finos de una mezcla a base de residuos de construcción para la fabricación de adoquines para pavimento tipo I que cumplan con los requerimientos mínimos de calidad.

##### **a. Prueba de hipótesis para los adoquines para pavimento ensayados**

A continuación, se enuncian la hipótesis nula ( $H_0$ ) e hipótesis alterna ( $H_1$ ) planteadas para la presente comprobación:

- **Hipótesis nula ( $H_0$ ):** No existe diferencia significativa en los resultados obtenidos para los requerimientos mínimos de calidad entre los adoquines para pavimento tipo I fabricados a base de agregados reciclados provenientes de residuos de construcción y aquellos fabricados con reemplazos de hasta el 50 por ciento de los agregados finos por residuos de abrasivos usados en preparación de superficies mediante las técnicas de chorro abrasivo seco y húmedo.
- **Hipótesis alterna ( $H_1$ ):** Existe diferencia significativa en los resultados obtenidos para los requerimientos mínimos de calidad entre los adoquines para pavimento tipo I fabricados a base de agregados reciclados provenientes de residuos de construcción y aquellos fabricados con reemplazos de hasta el 50 por ciento de los agregados finos por residuos de abrasivos usados en preparación de superficies mediante las técnicas de chorro abrasivo seco y húmedo.

Dado que para los resultados de los ensayos de la resistencia a la compresión y absorción sí se presentaron diferencias significativas entre los resultados obtenidos para los adoquines para pavimento tipo I fabricados a base de agregados reciclados provenientes de residuos de construcción y aquellos fabricados con reemplazos de hasta el 50 por ciento de los agregados finos por residuos de abrasivos usados en preparación de superficies mediante las técnicas de chorro abrasivo seco y húmedo, se concluye que debe aceptarse la hipótesis alterna ( $H_1$ ) y, por tanto, se reconoce que existen diferencias significativas en los resultados obtenidos para los requerimientos mínimos de calidad entre los adoquines para pavimento tipo I fabricados a base de agregados reciclados provenientes de residuos de construcción y aquellos fabricados con reemplazos de hasta el 50 por ciento de los agregados finos por residuos de abrasivos usados en preparación de superficies mediante las técnicas de chorro abrasivo seco y chorro abrasivo húmedo.

#### **4.7 ESTIMACIÓN DE COSTOS DE LAS ALTERNATIVAS DE MANEJO DE LOS RESIDUOS DE ABRASIVOS (GARNET) Y RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN**

En Anexo 17: Costos de transporte externo y disposición final como residuo no peligroso para los residuos de abrasivos, se tiene el consolidado de los costos incurridos por una planta industrial ubicada en la costa sur del país para la gestión de los residuos de abrasivos usados en preparación de superficies en los últimos seis años. De dicha información se observa que

el costo prorrateado de transporte y disposición como residuo no peligroso de una tonelada de residuos de abrasivo asciende a \$66.33.

En Anexo 18: Costos de transporte externo, disposición final como residuo no peligrosos y valorización de los residuos de construcción, se tiene el consolidado de los costos incurridos por una planta industrial ubicada en la costa sur del país para la gestión de los residuos de abrasivos usados en preparación de superficies en los últimos dos años. De dicha información se puede inferir que el costo prorrateado de transporte y disposición como residuo no peligroso de una tonelada de residuos de construcción asciende a \$66.33, mientras que el costo prorrateado de transporte y valorización de los residuos de construcción de una tonelada de residuos de construcción asciende a \$58.20.

En el Anexo 19: Costos de fabricación de adoquines para pavimento con agregados reciclados provenientes de residuos de construcción y residuos de abrasivos, se tienen los cálculos realizados para estimar el costo unitario del adoquines patrón (a base de agregados reciclados provenientes de residuos de construcción) y de los adoquines fabricados con agregados reciclados provenientes de residuos de construcción y reemplazos de residuos de abrasivos (garnet) mediante la técnica del chorro abrasivo seco o chorro abrasivo húmedo.

En el cuadro 58 se observa los costos unitarios obtenidos para cada uno de los adoquines fabricados. Se resalta que el costo unitario obtenido para el adoquín fabricado con agregados reciclados a base de residuos de construcción es ligeramente inferior al costo de un adoquín comercial, es decir, un adoquín fabricado a base de agregados vírgenes. Esto último fue también demostrado por Consamollo (2019), quien en su investigación estimó que el costo de un adoquín fabricado con agregados reciclados a base de residuos de construcción ascendía a S/.0.88, siendo este un costo aún menor al encontrado en la presente investigación, pero al que habría que actualizar tomando en cuenta factores de mercado como lo es la inflación. Asimismo, es importante notar que el costo de un adoquín fabricado con agregados reciclados a base de residuos de construcción y reemplazos de abrasivos usados, independientemente de la proporción empleada de estos últimos, es ligeramente menor que el costo de un adoquín comercial; con lo cual se puede concluir que existe una ventaja económica en el empleo de dichos residuos como agregados reciclados para la fabricación de piezas de albañilería.

**Cuadro 58: Costos unitarios de adoquines para pavimentos**

<b>Tipo de adoquín para pavimento</b>	<b>Costo unitario (S/.)</b>
Adoquines comerciales	1.37
Adoquines con agregados reciclados a base de residuos de construcción	1.27
Adoquines con agregados reciclados a base de residuos de construcción y reemplazo de 15 por ciento de residuos de abrasivos (técnica chorro abrasivo seco o chorro abrasivo húmedo)	1.26
Adoquines con agregados reciclados a base de residuos de construcción y reemplazo de 30 por ciento de residuos de abrasivos (técnica chorro abrasivo seco o chorro abrasivo húmedo)	1.25
Adoquines con agregados reciclados a base de residuos de construcción y reemplazo de 50 por ciento de residuos de abrasivos (técnica chorro abrasivo seco o chorro abrasivo húmedo)	1.23

A fin de poder realizar un comparativo de las opciones que se tienen para el manejo de los residuos de abrasivos, de la información mostrada anteriormente se puede inferir que con una tonelada de residuos de abrasivos se podrían fabricar 55.56m<sup>2</sup> de adoquines para pavimento, cuyo costo ascendería a \$874.66; mientras que el costo de adquirir la misma cantidad de adoquines de forma comercial ascendería a \$975.86.

Por otro lado, si se compara el costo prorrateado del transporte y disposición como residuo no peligroso de una tonelada de residuos de abrasivo (\$66.33) con el costo del transporte de dicha tonelada de residuos de abrasivo para su empleo como materia prima para la fabricación de adoquines (\$27.00/ton), se puede concluir que la valorización de este residuo es una alternativa rentable para su gestión, al tener un beneficio económico global.

## V. CONCLUSIONES

- Luego de la realización de ensayos de caracterización química a los residuos de abrasivos provenientes de actividades de preparación de superficie, tanto mediante la técnica del chorro abrasivo seco como mediante la técnica del chorro abrasivo húmedo, en una planta industrial en la costa sur del Perú, se concluye que éstos pueden ser considerados como residuos no peligrosos, al no contar con ninguna característica de peligrosidad como lo es la presencia de hidrocarburos o metales pesados. De este modo, queda abierta la posibilidad para explorar alternativas para su valorización, evitando así disposición como residuo.
- Luego de la realización de ensayos de caracterización física a los residuos de abrasivos provenientes de actividades de preparación de superficie, tanto mediante la técnica del chorro abrasivo seco como mediante la técnica del chorro abrasivo húmedo, en una planta industrial en la costa sur del Perú; se concluye que ninguno de éstos residuos cumple con las especificaciones óptimas de granulometría así como módulo de finura, de acuerdo con la NTP 400.037, para ser empleados como agregados fino para mezclas de construcción. Sin embargo, tal como lo estipula dicha NTP, el no cumplir con las especificaciones óptimas no necesariamente es un limitante para el empleo de dichos materiales como agregados ya que la prueba determinante será la calidad del concreto producido.
- En base a los resultados que se obtuvieron en los ensayos de resistencia promedio a la compresión a 7, 14 y 28 días, se concluye que en todos los tratamientos de reemplazo con residuos de abrasivos la resistencia a la compresión promedio se incrementa conforme pasa el tiempo. Sin embargo, únicamente en el caso del adoquín patrón a base de agregados reciclados provenientes de residuos de construcción y en el caso del adoquín fabricado con agregados reciclados provenientes de residuos de construcción y un reemplazo del 50 por ciento del agregado reciclado fino por residuos de abrasivo (garnet) mediante la técnica del chorro abrasivo húmedo, se obtuvo una resistencia promedio

superior a 320 kg/cm<sup>2</sup>; la cual es la resistencia a la compresión requerida según la NTP 399.611.

- En base a los resultados que se obtuvieron en los ensayos de absorción a 7 y 28 días, se concluye que ninguno de los tratamientos de reemplazo con residuos de abrasivos cumple con los requisitos señalados en la NTP 399.611, si bien los adoquines fabricados con agregados reciclados provenientes de residuos de construcción y reemplazo de agregado reciclado fino por residuos de abrasivo (garnet) mediante la técnica del chorro abrasivo seco presentaron resultados más próximos al óptimo estipulado que aquellos obtenidos por los adoquines fabricados con agregados reciclados provenientes de residuos de construcción y reemplazo de agregado reciclado fino por residuos de abrasivo (garnet) mediante la técnica del chorro abrasivo húmedo.
- Al igual que con los resultados de resistencia promedio a la compresión, los adoquines para pavimento tipo I fabricados con agregados reciclados provenientes de residuos de construcción y un reemplazo del 50 por ciento de agregado reciclado fino por residuos de abrasivo (garnet) mediante la técnica del chorro abrasivo húmedo, fueron los que presentaron las menores desviaciones en términos de tolerancia dimensional de acuerdo con la NTP 399.611.
- De acuerdo con los resultados obtenidos, los adoquines fabricados con agregados reciclados provenientes de residuos de construcción y residuos de abrasivos usados para preparación de superficies mediante la técnica del chorro abrasivo seco o la técnica del chorro abrasivo húmedo poseen un costo de fabricación hasta un 11.38 por ciento menor al costo de mercado. Asimismo, al considerar a los abrasivos usados para preparación de superficies mediante la técnica del chorro abrasivo seco o chorro abrasivo húmedo como materia prima (agregado de construcción), su valor podría ascender a \$32.05 / ton.
- Finalmente, se concluye que si bien los adoquines para pavimento tipo I fabricados con diferentes proporciones de residuos de abrasivos usados para preparación de superficies mediante la técnica del chorro abrasivo seco o la técnica del chorro abrasivo húmedo no obtuvieron resultados favorables acorde a la totalidad de requisitos señalados en la NTP 399.611, tales como resistencia a la compresión, absorción de 24 horas y tolerancia

dimensional; en la presente investigación se aprecia el potencial que tienen estos residuos para, hasta en proporciones de reemplazo de un 50 por ciento de los agregados finos reciclados provenientes de residuos de construcción y aplicando controles estrictos de fabricación, poder ser empleados como materia prima para la fabricación de unidades de albañilería como lo son los adoquines para pavimento, contando así con una alternativa viable para su valorización en contraparte a la alternativa usual de su disposición final como residuo no peligroso en un relleno sanitario.

## **VI. RECOMENDACIONES**

- Dado que en las industrias, en especial en aquellas ubicadas en zonas expuestas a factores climáticos (como la brisa marina) que pueden acelerar la corrosión de estructuras y equipos, la necesidad de llevar a cabo actividades de preparación de superficie con la consecuente generación de residuos de diferentes tipos de abrasivos (como el garnet) irá en aumento con el paso de los años; se recomienda que puedan implementarse planes de manejo específicos para este tipo de residuos, como el implementado por el Gobierno de Queensland como parte de su iniciativa “End of Waste (EOW)”, los cuales ayuden a mejorar la eficiencia del uso del material empleado como medio abrasivo, faciliten la recolección de los residuos generados y permitan la valorización de éstos ya sea in-situ o en instalaciones fuera de los lugares de generación.
- Se recomienda analizar el impacto que otros elementos presentes en los residuos de abrasivos usados para preparación de superficies, tales como cloruros, sulfatos, material orgánico, etc.; podrían tener en las propiedades físicas y mecánicas de los adoquines para pavimento fabricados. Asimismo, para el caso de los abrasivos que pueden ser reutilizados in-situ para más de una corrida de preparación de superficie, se recomienda realizar ensayos de granulometría individuales a cada lote recuperado al finalizar su uso a fin de determinar las variaciones sufridas en términos de granulometría y en base a ello poder explorar el impacto que podría suponer en las propiedades físicas y mecánicas de los adoquines fabricados.
- Se recomienda analizar los riesgos a la salud ocupacional que pudieran derivarse de la manipulación de los abrasivos usados para preparación de superficie mediante la técnica de chorro abrasivo seco o húmedo para así implementar los controles de exposición y protección personal que aseguren la manipulación segura de estos residuos. Estos últimos, según la ficha de datos de seguridad del producto GMA ExtremeBlast™, podrían contener concentraciones de sílice cristalina (cuarzo) en la fracción de polvo respirable, cuya exposición prolongada a la inhalación puede causar cáncer.

- Dado que dos de los tratamientos de adoquines fabricados con reemplazos de abrasivos usados para preparación de superficie mediante la técnica de chorro abrasivo húmedo mostraron una tendencia (no esperada) de disminuir su resistencia a la compresión a los 14 días para luego incrementarla a los 28 días, llegando incluso uno de ellos a cumplir con los requisitos indicados en la NTP 399.611 para este criterio; se recomienda realizar ensayos adicionales aumentando el porcentaje de reemplazo de abrasivos usados para preparación de superficie mediante la técnica de chorro abrasivo húmedo a fin de corroborar las tendencias observadas en el presente trabajo de investigación, tratar de explicar el porqué de las mismas y, finalmente, determinar si a mayor proporción de reemplazo de abrasivos usados para preparación de superficie mediante la técnica de chorro abrasivo húmedo es posible obtener un adoquín para pavimento tipo I que cumpla con los criterios de calidad y uso establecidos en la NTP 399.611.
- Con el propósito de contar con mayor información que permita comparar la calidad de los adoquines para pavimento fabricados con materiales reciclados con aquellos fabricados con materiales vírgenes, se recomienda realizar el ensayo de resistencia a la abrasión en los adoquines para pavimento fabricados a base de agregados reciclados provenientes de residuos de construcción, así como en aquellos fabricados con reemplazos de abrasivos usados para preparación de superficie mediante la técnica de chorro abrasivo seco o húmedo.
- Dado que los adoquines para pavimento fabricados con agregados reciclados a base de residuos de construcción muestran la tendencia a sobrepasar los valores establecidos para el requisito de absorción en 24 horas y, siendo éste un requisito que toma relevancia principalmente si es que los adoquines son instalados bajo condiciones climáticas extremas (abundantes lluvias y periodos de congelamiento y deshielo); se recomienda promover el uso de estos adoquines en zonas de climas áridos y con poca presencia de lluvias. De esta manera, se evitará el impacto negativo de las condiciones climáticas en los adoquines, abriendo paso así a la posibilidad de fomentar la valorización de residuos de construcción y otros residuos, haciendo empleo de éstos como agregados para la fabricación de piezas de albañilería.
- A fin de poder asegurar la calidad del proceso de fabricación de los adoquines así como mejorar las características estéticas de los productos finales, se recomienda emplear una

máquina adoquinera automática la cual permitirá reducir las potenciales variaciones dimensionales que podría presentarse con el empleo de moldes fabricados manual o artesanalmente; así como asegurar una mejor compactación de la mezcla y, potencialmente, mejorar las características de resistencia a la compresión y absorción de los adoquines. Adicionalmente, se recomienda explorar la adición de aditivos al diseño de mezcla, no solo con el fin de mejorar las características físicas de los adoquines, sino también con el fin de optimizar el uso de insumos como el cemento.

- Dado que en cuanto al manejo de residuos se refiere, los costos asociados al transporte externo son los que suelen encarecer la gestión de los mismos; se recomienda llevar a cabo un estudio de costos detallado a fin de poder establecer la factibilidad económica de la fabricación de adoquines para pavimento haciendo uso de residuos de abrasivos usados en preparación de superficies como materia prima en caso de que estos residuos tengan que ser transportados a instalaciones ubicadas fuera de los lugares de generación para su aprovechamiento.
- Se recomienda ahondar en el costo energético de los diferentes métodos de fabricación de adoquines para pavimento, sean estos fabricados con insumos vírgenes o materiales reciclados, a fin de identificar medidas u opciones tecnológicas específicas que pudieran contribuir a que el proceso de fabricación sea más eficiente en términos de consumo energía, agua o demás insumos.

## VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Abrasive blasting Code of practice. 2021. Work Health and Safety (WHS) Act 2011 Section 274. Australia.

AENOR (Asociación Española de Normalización y Certificación). 2005. Baldosas de terrazo. Parte 2. Baldosas de terrazo para uso exterior (en línea). UNE-EN 13748-2:2005 (deroga UNE 127021:1999). Madrid, España. 33p. Consultado 02 nov. 2021.

Aziera, N.; Muthusamy, K.; Isa, N.; Jaafar, M. 2021. Use of spent garnet in industry: A review (en línea). Materials Today: Proceedings Available online 6 March 2021 (in press, corrected proof). Consultado 01 jun. 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.02.210>

Barriga, R. 2019. Aprovechamiento de residuos de construcción y demolición para la elaboración de adoquines tipo I en la ciudad de Chiclayo (en línea). Tesis Ing. Civ. Chiclayo, Perú, UCV. Consultado 01 nov. 2021. Disponible en <https://hdl.handle.net/20.500.12692/43648>

Borucka-Lipska, J.; Techman, M. & Skibicki, S. 2019. Use of contaminated sand blasting grit for production of cement mortars (en línea). IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. 471:032055. Consultado 01 nov. 2021. Disponible en DOI: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/471/3/032055>

Buruiana, D.; Bordei, M.; Diaconescu, I.; Ciurea, A. 2011. Recycling options for used sandblasting grit into road construction (en línea). ResearchGate Recent Researches in Energy, Environment and Landscape Architecture. Consultado 18 abr. 2021. Disponible en [https://www.researchgate.net/publication/309395303\\_Recycling\\_options\\_for\\_used\\_sandblasting\\_grit\\_into\\_road\\_construction](https://www.researchgate.net/publication/309395303_Recycling_options_for_used_sandblasting_grit_into_road_construction)

Cabeza, J. & Morillo, A. 2018. Diseño de adoquines de concreto para pavimento tipo II con incorporación de cenizas de cascarilla de arroz, Lima - 2018 (en línea). Tesis Ing. Civ. Lima, Perú, UCV. Consultado 01 nov. 2021. Disponible en <https://hdl.handle.net/20.500.12692/34726>

CAPECO (Cámara Peruana de la Construcción). 2003. Costos y presupuestos en edificación (en línea). Lima, Perú. 375p. Consultado 12 mar. 2023.

Cemento Yura. (sin fecha). Adoquines de concreto (en línea). Arequipa, Perú. Consultado 20 abr. 2021. Disponible en <https://www.yura.com.pe/wp-content/uploads/2018/09/supermix-brochure.pdf>

Centers for Disease Control and Prevention – The National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH). s.f. Abrasive blasting (en línea, sitio web). Consultado 02 jun. 2021. Disponible en <https://www.cdc.gov/niosh/topics/blasting/default.html>

Chirinos, G. & Hidalgo, A. 2019. Propuesta de un plan de mejora para optimizar el proceso de arenado de embarcaciones en un astillero del Callao (en línea). Tesis Ing. Ind. Lima, Perú, URP. Consultado 02 jun. 2021. Disponible en <http://repositorio.urp.edu.pe/handle/URP/2751>

CICLO Reciclar para construir. 2022. Productos (en línea, sitio web). Lima, Perú. Consultado 16 ago. 2022. Disponible en <https://ciclo.com.pe/productos/>

Colegio Oficial de Ingenieros Navales y Oceánicos – Asociación de Ingenieros Navales y Oceánicos de España. (s.f.). Industria Naval y Medio Ambiente (en línea). España. 70 p. Consultado 17 abr. 2021. Disponible en <http://scopeo.usal.es/wp-content/uploads/2013/06/scopeoi002.pdf>.

Consamollo, V. 2019. Residuos de concreto de construcción para fabricación de adoquines en pavimentos, San Isidro - Lima (en línea). Tesis Ing. Civ. Lima, Perú, UPA. Consultado 01 nov. 2021. Disponible en <https://hdl.handle.net/20.500.12848/1282>

Cruz, H. 2019. Influencia de cenizas de ladrillos artesanales en la resistencia a la compresión de adoquines de concreto, Trujillo 2019 (en línea). Tesis Ing. Civ. Trujillo, Perú, UPN. Consultado 01 nov. 2021. Disponible en <https://hdl.handle.net/11537/21165>

CYM Materiales S.A. (s.f.a) Estudio comparativo de Costo-Rendimiento entre Granalla de Acero y Garnet (en línea). Santa Fé, Argentina. 5 p. Informe técnico. Consultado 17 abr. 2021. Disponible en <http://cym.com.ar/intranet/Abrasivos-Granalla-acero-garnet-Comparativos-costo-cymmateriales-sandblasting-arenado.pdf>

CYM Materiales S.A. (s.f.b) ¿Por qué es necesario realizar una correcta preparación de superficie previo a la aplicación de un revestimiento? (en línea). Santa Fé, Argentina. 7 p. Informe técnico. Consultado 17 mar. 2022. Disponible en <https://www.metalcym.com.br/intranet/Preparacion-de-superficies-previo-a-la-aplicacion-de-un-revestimiento-Pintura.pdf>

Decreto Legislativo n.º 1278 que aprueba la Ley de Gestión Integral de Residuos Sólidos. Art. 2 y 5. Diario Oficial El Peruano. Perú. 23 dic. 2016.

Decreto Supremo que aprueba el Reglamento de Gestión y Manejo de Residuos Sólidos de la Construcción y Demolición. n.º 002-2022-VIVIENDA. Diario Oficial El Peruano. Perú. 04.abr.2022.

Decreto Supremo que aprueba el Reglamento del Decreto Legislativo n.º 1278, Decreto Legislativo que aprueba la Ley de Gestión Integral de Residuos Sólidos. n.º 014-2017-MINAM. Anexo V. Diario Oficial El Peruano. Perú. 20.dic.2017.

Decreto Supremo que aprueba Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Suelo n.º 011-2017-MINAM, Anexo. Diario Oficial El Peruano. Perú. 01.dic.2017.

Decreto Supremo que aprueba la Hoja de Ruta hacia una Economía Circular en el Sector Industria. n.º 003-2020-PRODUCE. Anexo. Diario Oficial El Peruano. Perú. 17 feb. 2020.

Department of Environmental and Science. 2021. End of Waste Code Garnet Sand (en línea). EOWC010000731. Queensland, Australia. 12p. Consultado 05 dic. 2021. Disponible en <https://environment.des.qld.gov.au/management/waste/business/end-of-waste-classification>

Directive 2008/98/EC of the European Parliament and of the Council on waste and repealing certain Directives. Art. 6. Official Journal of the European Union L 312. European Union. 19 nov. 2008.

Directorate General Environment - European Commission. s.f. Waste Framework Directive (en línea, sitio web). Consultado 02 jun. 2021. Disponible en [https://ec.europa.eu/environment/topics/waste-and-recycling/waste-framework-directive\\_en](https://ec.europa.eu/environment/topics/waste-and-recycling/waste-framework-directive_en)

Environmental Protection (Abrasive Blasting) Regulations. 1998: Reprint 1. (en línea, sitio web). Western Australia. 2. abr. 2004. Disponible en [https://www.legislation.wa.gov.au/legislation/statutes.nsf/main\\_mrtitle\\_1382\\_homepage.html](https://www.legislation.wa.gov.au/legislation/statutes.nsf/main_mrtitle_1382_homepage.html)

EPA (United States Environmental Protection Agency). s.f. SW-846 Test Method 1311: Toxicity Characteristic Leaching Procedure (en línea, sitio web). Consultado 02 jun. 2021. Disponible en <https://www.epa.gov/hw-sw846/sw-846-test-method-1311-toxicity-characteristic-leaching-procedure>

EPA (United States Environmental Protection Agency). s.f. SW-846 Test Method 8015C: Nonhalogenated Organics by Gas Chromatography (en línea, sitio web). Consultado 02 jun. 2021. Disponible en <https://www.epa.gov/hw-sw846/sw-846-test-method-8015c-nonhalogenated-organics-gas-chromatography>

Flores, K. 2020. El uso del caucho reciclado y su influencia en la caracterización físico-mecánica del concreto para la elaboración de adoquines (en línea). Tesis Ing. Civ. Lima, Perú, UPN. Consultado 13 Feb. 2023 Disponible en <https://hdl.handle.net/11537/25030>

Gomes, M.; Teixeira, K.; Ferreria de Paiva, A.; Moraes, R.; dos Santos, W. 2010. Correlação entre Areia Natural versus Areia Artificial para Confecção de Concreto (en línea). ResearchGate Engenharia Estudo e Pesquisa 10:49-55. Consultado 20 abr. 2021. Disponible en <https://core.ac.uk/download/pdf/287247179.pdf>

Gomes, M.; dos Santos, W.; de Almeida Ferreira, I. 2012. Concreto ecológico (en línea). ResearchGate Principia, Juiz de Fora 16:27-35. Consultado 20 abr. 2021. Disponible en <https://core.ac.uk/download/pdf/287247179.pdf>

González-Fonteboa, B.; Seara-Paz, S.; de Brito, J.; González-Taboada, I.; Martínez-Abella, F.; Vasco-Silva, R. 2018. Recycled concrete with coarse recycled aggregate. An overview and analysis (en línea). *Materiales de construcción* 68. Consultado 28 feb. 2023. Disponible en <https://doi.org/10.3989/mc.2018.13317>

Hidalgo, D. & Poveda, R. 2013. Obtención de adoquines fabricados con vidrio reciclado como agregado (en línea). Tesis Ing. Mec. Quito, Ecuador, EPN. Consultado 01 nov. 2021. Disponible en <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/6104>

ICCG (Instituto del Cemento y del Concreto de Guatemala). 2015. Guía de Instalación de Adoquines de Concreto (en línea). Guatemala, Guatemala. 40p. Consultado 15 abr. 2023.

INACAL (Instituto Nacional de Calidad). 2002. Agregados. Método de ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a la degradación en agregados gruesos de tamaños menores por abrasión e impacto en la máquina de Los Ángeles (<1 ½”). Requisitos (en línea). NTP 400.019.2002. Lima, Perú. 7p. Consultado 22 may. 2022.

INACAL (Instituto Nacional de Calidad). 2002. Agregados. Método de ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a la degradación en agregados gruesos de tamaño grande por abrasión e impacto en la máquina de Los Ángeles (>1 ½”, <3”). Requisitos (en línea). NTP 400.020.2002. Lima, Perú. 9p. Consultado 22 may. 2022.

INACAL (Instituto Nacional de Calidad). 2015. Unidades de Albañilería. Adoquines de concreto para pavimentos. Requisitos (en línea). NTP 399.611.2010 (revisada el 2015). Lima, Perú. 12p. Consultado 02 jun. 2021.

INACAL (Instituto Nacional de Calidad). 2015. Unidades de Albañilería. Método de ensayo para determinar la resistencia al desgaste por abrasión de adoquines de concreto utilizando

la máquina de desgaste (en línea). NTP 399.624.2006 (revisada el 2015). Lima, Perú. 33p. Consultado 02 nov. 2021.

INACAL (Instituto Nacional de Calidad). 2015. Unidades de Albañilería. Método de ensayo para determinar la resistencia al desgaste por abrasión de adoquines de concreto mediante chorro de arena (en línea). NTP 399.625.2010 (revisada el 2015). Lima, Perú. 33p. Consultado 02 nov. 2021.

INACAL (Instituto Nacional de Calidad). 2015. Unidades de Albañilería. Métodos de muestreo y ensayo de unidades de albañilería de concreto (en línea). NTP 399.604.2002 (revisada el 2015). Lima, Perú. 20p. Consultado 02 nov. 2021.

INACAL (Instituto Nacional de Calidad). 2018. Agregados. Análisis granulométrico del agregado fino, grueso y global (en línea). NTP 400.012.2013 (revisada el 2018). Lima, Perú. 22p. Consultado 02 nov. 2021.

INACAL (Instituto Nacional de Calidad). 2018. Agregados. Método de ensayo normalizado para contenido de humedad total evaporable de agregados por secado (en línea). NTP 399.185.2013 (revisada el 2018). Lima, Perú. 13p. Consultado 02 nov. 2021.

INACAL (Instituto Nacional de Calidad). 2020. Agregados. Método de ensayo para determinar la masa por unidad de volumen o densidad “peso unitario” y los vacíos en los agregados (en línea). NTP 400.017.2020. Lima, Perú. 18p. Consultado 02 nov. 2021.

INACAL (Instituto Nacional de Calidad). 2018. Agregados. Método de ensayo normalizado para la densidad, la densidad relativa (peso específico) y absorción del agregado fino (en línea). NTP 400.022.2013 (revisada el 2018). Lima, Perú. 25p. Consultado 02 nov. 2021.

INACAL (Instituto Nacional de Calidad). 2018. Agregados. Método de ensayo normalizado para la densidad, la densidad relativa (peso específico) y absorción del agregado grueso (en línea). NTP 400.021.2013 (revisada el 2018). Lima, Perú. 25p. Consultado 02 nov. 2021.

INACAL (Instituto Nacional de Calidad). 2018. Agregados para concreto. Requisitos (en línea). NTP 400.037.2018. Lima, Perú. 26p. Consultado 02 nov. 2021.

Kaarthik, M.; Maruthachalam, D. 2020. A sustainable approach of characteristic strength of concrete using recycled fine aggregate (en línea). *Materials Today: Proceedings* Available online 24 December 2020 (in press, corrected proof). Consultado 01 jun. 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.11.058>

Kosmatka, E.; Kerkhoff, B.; Panarese, W. & Tanesi, J. 2004. *Diseño y Control de Mezclas de Concreto*. Portland Cement Association. Skokie, Illinois, EE.UU. Consultado 15 dic.2022.

Lateef, H.; Bin, N.; Azreen, M. & Warid, M. 2018. Microstructures and physical properties of waste garnets as a promising construction material (en línea). *Case Studies in Construction Materials* 8:97-96. Consultado 01 nov. 2021. Disponible en <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2017.12.001>

Laura, S. 2006. *Diseño de mezclas de concreto*. Universidad Nacional del Altiplano – Facultad de Ingeniería Civil. Puno – Perú. Consultado 15 dic. 2022.

LII (Legal Information Institute, Estados Unidos de Norteamérica) – Cornell Law School. s.f. Code of Federal Regulations, Title 40 – Protection of Environment, Chapter I – Environmental Protection Agency, Subchapter I – Solid Wastes, Part 261 – Identification and Listing of Hazardous Waste, Subpart C – Characteristics of Hazardous Waste, § 261.24 Toxicity characteristic (40 CFR § 261.24 Toxicity Characteristic). 71 FR 40259, 14 jul. 2006. Consultado 02 jun. 2021. Disponible en <https://www.law.cornell.edu/cfr/text/40/261.24>

Liñan, J. & Alvarez, L. 2018. *Diseño de adoquines de concreto con incorporación del PET para vías vehiculares de tránsito ligero en el distrito de El Agustino - 2018* (en línea). Tesis Ing. Civ. Lima, Perú, UCV. Consultado 01 nov. 2021. Disponible en <https://hdl.handle.net/20.500.12692/39110>

López, M. & Pinedo, M. 2015. *Mejoramiento de las características físico mecánicas de adoquines de cemento para pavimentación, adicionando escoria de horno eléctrico en su proceso de fabricación – Nuevo Chimbote – 2015*. (en línea). Tesis Ing. Civ. Nuevo

Chimbote, Perú, UNS. Consultado 17 dic. 2022. Disponible en <https://repositorio.uns.edu.pe/handle/UNS/2707>

Lovon, A. & Lovon, D. 2019. Evaluación comparativa de las propiedades físico-mecánicas del adoquín 8 – Tipo II, utilizando agregado grueso procedente del concreto reciclado seleccionado, agregado fino de la cantera de Cunyac y Vicho, cemento IP y agua potable comparado según la NTP 399.611. (en línea). Tesis Ing. Civ. Cusco, Perú, UAC. Consultado 01 nov. 2021. Disponible en <https://hdl.handle.net/20.500.12557/2798>

Madany, I.; Al-Sayed, M.; Raveendran, E. 1991. Utilization of copper blasting grit waste as a construction material (en línea). *Waste Management* 11(1-2):35-40. Consultado 02 jun. 2021. DOI: [https://doi.org/10.1016/0956-053X\(91\)90296-H](https://doi.org/10.1016/0956-053X(91)90296-H)

Marín, C. 2020. Evaluación de las propiedades físico-mecánicas del adoquín 6 tipo II, reemplazando el agregado fino por caucho reciclado, Cusco 2019 (en línea). Tesis Ing. Civ. Cusco, Perú, UAC. Consultado 01 Nov. 2021. Disponible en <https://hdl.handle.net/20.500.12557/3996>

Mathews, S.; Wilson, K. 1998. Reuse of Waste Cutting Sand at Lawrence Livermore National Laboratory (en línea). *In Air and Waste Management Association Annual Meetings and Exposition* (San Diego, California). Paper. California, United States of America. Consultado 18 abr. 2021. Disponible en <https://www.osti.gov/servlets/purl/654356>

Mefteh, H., Kebaili, O., Oucief, H., Berredjem, L.; Arabi, N. 2013. Influence of moisture conditioning of recycled aggregates on the properties of fresh and hardened concrete (en línea). *Cleaner Production* 54:282-288. Consultado 01 jun. 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2013.05.009>

Meza, Y. 2018. Propiedades físico-mecánicas de adoquines elaborados con plástico reciclado para pavimento peatonal en el centro comercial Tambo Plazo, Lurín - 2017 (en línea). Tesis Ing. Civ. Lima, Perú, UCV. Consultado 13 feb. 2023. Disponible en <https://hdl.handle.net/20.500.12692/26903>

MINAM (Ministerio del Ambiente, Perú). 2013. Agenda de Investigación Ambiental al 2021(en línea). San Isidro, Perú. 41 p. Consultado 14 abr. 2021. Disponible en [https://www.minam.gob.pe/investigacion/wp-content/uploads/sites/19/2013/10/Agenda-de-Investigaci%C3%B3n-Ambiental\\_Interiores.pdf](https://www.minam.gob.pe/investigacion/wp-content/uploads/sites/19/2013/10/Agenda-de-Investigaci%C3%B3n-Ambiental_Interiores.pdf).

Montiel, J. 2017. Uso de agregados reciclados para la fabricación de adoquines que se puedan utilizar en la pavimentación de calles, avenidas y pasos peatonales (en línea). Tesis Mae. Ing. Ciudad de México, México, UNAM. Consultado 01 nov. 2021. Disponible en <http://132.248.52.100:8080/xmlui/handle/132.248.52.100/12875>

Mori, R. 2022. Utilización de valvas de concha de abanico y residuos de construcción civil en la elaboración de adoquines de concreto (en línea). Tesis Ing. Pes. Lima, Perú, UNALM. Consultado 06 jun. 2023. Disponible en <https://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12996/5600/mori-pizzino-roger-walter.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

NAVFAC (Naval Facilities Engineering Service Center). 1998. Recycling Spent Sandblasting Grit and Similar Wastes as Aggregate in Asphaltic Concrete (en línea). California, Estados Unidos. 5 p. Informe TDS-2065-ENV. Consultado 18 abr. 2021. Disponible en <https://apps.dtic.mil/dtic/tr/fulltext/u2/a361266.pdf>

Nicolalde, S. 2008. Utilización de escorias y polvos de acería en la producción de bloques y adoquines (en línea). Tesis Ing. Civ. Quito, Ecuador. EPN. Consultado 06 dic.2021. Disponible en <https://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/955>

Mokhatar, SN; Yusoff, ARM; Budiea, AMA; Hakim, SJS. 2022. A Review: Study on Spent Garnet as Construction Material (en línea). The International Journal of Integrated Engineering 14(5):73-80. Consultado 17 mar. 2023. DOI: <https://doi.org/10.30880/ijie.2022.14.05.008>

OMAX (Waterjet Cutting Machine Manufacturer). What can you do with used abrasive (en línea). Washington, United States of America. 2 p. Featured article. Consultado 18 abr. 2021. Disponible en <https://www.omax.com/news/blog/what-can-you-do-used-abrasive>

Pinedo, J. 2018. Diseño de adoquines para pisos de tránsito liviano reaprovechando residuos de poliestireno expandido, agregados y emulsión asfáltica – Tarapoto, 2018 (en línea). Tesis Ing. Civ. Tarapoto, Perú, UCV. Consultado 06 dic. 2021. Disponible en <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/43520>

Ramos, J. 2018. Dosificación del concreto reciclado para el uso en unidades de pavimentos de bajo tránsito, distrito de Lince, Lima 2018 (en línea). Tesis Ing. Civ. Lima, Perú, UCV. Consultado 01 nov. 2021. Disponible en <https://hdl.handle.net/20.500.12692/25367>

Salt, B.; Carrasquillo, R.; Loehr, R.; Fowler, D. 1995. Recycling contaminated spent blasting abrasives in Portland cement mortars using solidification / stabilization technology (en línea). Research Project 0-1315 Solidification/Stabilization of Hazardous Blast Sand. Consultado 01 nov. 2021. Disponible en <https://onlinepubs.trb.org/Onlinepubs/trr/1994/1458/1458-011.pdf>

Siddique, R.; Khatib, J.; Kaur, I. 2007. Use of recycled plastic in concrete: A review (en línea). Waste Management 28(10):1835-1852. Consultado 18 abr. 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2007.09.011>

Shukor, N.; Najihah, N.; Mohammadhosseini, H. Ariffin, N.; Mazlan, A. 2020. Properties of Mortar Incorporating Spent Garnet as Fine Aggregates Replacement (en línea). International Journal of Integrated Engineering 12(9):96-102. Consultado 02 jun. 2021. DOI: <https://doi.org/10.30880/ijie.2020.12.09.012>

Sua-iam, G. & Makul, N. 2013. Use of recycled alumina as fine aggregate replacement in self-compacting concrete (en línea). Construction and Building Materials 47:701-710. Consultado 01 nov. 2021. Disponible en <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2013.05.065>

The EcoEfficiency Group. 2012. Abrasive Blasting (en línea, sitio web). Queensland, Australia. Consultado 02 jun. 2021. Disponible en <https://www.ecoefficiencygroup.com.au/resources-2/>

Townsend, T.; Jambeck, J. 1997. Best Management Practices for Waste Abrasive Blasting Media (en línea). *In* Florida Center for Solid and Hazardous Waste Management Fifth Annual Research Symposium. Report. Florida, United States of America. Consultado 20 abr.2021. Disponible en <https://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.126.5680&rep=rep1&type=pdf>

Yavuz, O.; Kaplan, G. 2021. Examining The Mechanical and Durability Properties of Concrete Containing Recycled Fine Aggregates Possessing Different Contamination Levels – En revisión (en línea). Research Square. Consultado 20 abr. 2021. Disponible en <https://www.researchsquare.com/article/rs-254410/v1>

## **VIII. ANEXOS**

**ANEXO 1: Matriz de operacionalización de las variables**

	<b>Nombre de la variable</b>	<b>Definición conceptual</b>	<b>Definición operacional</b>	<b>Dimensiones</b>	<b>Indicadores</b>	<b>Técnicas / Métodos</b>
<b>Variable independiente</b>	Residuo de abrasivo usado para la preparación de superficies	Material residual proveniente de las actividades de limpieza de superficies mediante la proyección con aire o agua a presión	Residuos de garnet provenientes de las actividades de limpieza de superficies mediante chorro abrasivo seco y húmedo	Análisis granulométrico	Curva granulométrica	NTP.400.012
				Análisis físico-químico	Concentración de parámetros medidos	ECA para Suelo
				Dosificación (% de reemplazo)	0% de reemplazo	Diseño de mezcla según ACI 211.1
					15% de reemplazo	
					30% de reemplazo	
50% de reemplazo						
<b>Variable dependiente</b>	Adoquines de concreto para pavimento tipo I	Pieza de concreto simple, de forma nominal, prefabricada, que cumple con la NTP 399.611 (NTP 399.611, 2015)	Pieza de concreto simple, de forma nominal, fabricado con agregados reciclados, que cumple con la NTP 399.611	Resistencia a la compresión	Máx. carga soportada entre el área promedio	NTP. 399.611
				Porcentaje de absorción	Diferencia entre peso saturado y peso seco al horno	
				Variación dimensional	Ancho, largo y altura	

## ANEXO 2: Matriz de consistencia del proyecto de investigación

Problema	Objetivos	Hipótesis	Variables	Técnicas / Métodos	Metodología
<b>Problema General:</b>	<b>Objetivo General:</b>	<b>Hipótesis General:</b>	<b>Variable independiente:</b>		
¿Cuál es la factibilidad de aprovechar los residuos de abrasivos usados en preparación de superficies mediante chorro abrasivo seco y húmedo para la fabricación de adoquines para pavimento tipo I?	Evaluar la factibilidad del aprovechamiento de residuos de abrasivos usados en preparación de superficies mediante chorro abrasivo seco y húmedo y residuos de construcción para la fabricación de adoquines para pavimento tipo I	Los residuos de abrasivos usados en preparación de superficies mediante chorro abrasivo seco y húmedo pueden ser usados como reemplazo de hasta el 50% de los agregados finos de una mezcla a base de residuos de construcción para la fabricación de adoquines para pavimento tipo I que cumplan con los requerimientos mínimos de calidad.	Residuo de abrasivo usado para la preparación de superficies mediante la técnica del chorro abrasivo seco y húmedo	NTP.400.012 ECA para Suelo Diseño de mezcla según ACI 211.1	<b>Tipo de investigación:</b> Aplicada, exploratoria, correlacional, cuantitativa, longitudinal y prospectiva <b>Diseño de investigación:</b> Experimental
<b>Problemas Específicos:</b>	<b>Objetivos Específicos:</b>	<b>Hipótesis Específicas:</b>	<b>Variable dependiente:</b>		
<b>PE-1:</b> ¿Cuáles son las características físicas y químicas de residuos de abrasivos usados producto de las actividades de mantenimiento de superficies en una planta industrial de la costa sur del Perú?	<b>OE-1:</b> Determinar las características físicas y químicas de los residuos de abrasivos usados generados en una planta industrial en la costa sur del Perú.	-	Adoquines de concreto para pavimento tipo I	NTP. 399.604	<b>Población:</b> Adoquines para pavimento tipo I fabricados con residuos de abrasivos (garnet) usado y residuos de la construcción <b>Muestra:</b> Mínimo 40 adoquines de cada tratamiento realizado
<b>PE-2:</b> ¿Cuáles son las propiedades físicas y mecánicas de los residuos de abrasivos usados y residuos de la construcción para su potencial uso como agregados de construcción?	<b>OE-2:</b> Determinar las propiedades físicas y mecánicas de los residuos de abrasivos usados y residuos de la construcción para su uso como agregados.	-		NTP. 399.611	<b>Técnicas de recolección de datos:</b> revisión bibliográfica, etapa de campo (fabricación de adoquines), etapa de gabinete y etapa de ensayos de laboratorio.
<b>PE-3:</b> ¿Cuál sería la proporción de residuos de abrasivos usados que podría ser empleada junto con residuos de la construcción para la fabricación de adoquines para pavimento tipo I?	<b>OE-3:</b> Evaluar la proporción de residuos de abrasivos usados que puede ser empleada junto con residuos de la construcción para la fabricación de adoquines para pavimento tipo I que cumplan con los requerimientos mínimos de calidad	<b>HE-1:</b> La incorporación de residuos de abrasivos usados en preparación de superficies mediante chorro abrasivo seco y húmedo permite que los adoquines para pavimento tipo I cumplan con los requerimientos mínimos de resistencia a la compresión. <b>HE-2:</b> La incorporación de residuos de abrasivos usados en preparación de superficies mediante chorro abrasivo seco y húmedo permite que los adoquines para pavimento tipo I cumplan con los requerimientos mínimos absorción. <b>HE-4:</b> La incorporación de residuos de abrasivos usados en preparación de superficies mediante chorro abrasivo seco y húmedo no afecta significativamente la variación dimensional de los adoquines para pavimento tipo I.			<b>Procesamiento de datos:</b> Los datos se procesarán con el programa MS Excel, software estadístico SPSS (o similar), utilizando la estadística inferencial. <b>Presentación de datos:</b> Los datos se presentarán utilizando cuadros y figuras interpretados descriptiva y estadísticamente, que permitirán visualizar los resultados de la investigación.
<b>PE-4:</b> ¿Cuáles serían las ventajas de aprovechar los residuos de abrasivos usados para la fabricación de adoquines para pavimento tipo I frente a su disposición en infraestructuras de disposición de residuos?	<b>OE-4:</b> Estimar las ventajas económicas de aprovechar los residuos de abrasivos usados y residuos de la construcción para la fabricación de adoquines para pavimento frente a su disposición en infraestructuras de disposición de residuos.	-			

### ANEXO 3: Requisitos granulométricos para agregado fino y agregado grueso

Tamiz	Porcentaje que pasa
9.5 mm (3/8 pulg)	100
4.75 mm (No. 4)	95 a 100
2.36 mm (No. 8)	80 a 100
1.18 mm (No. 16)	50 a 85
600 µm (No. 30)	25 a 60
300 µm (No. 50)	5 a 30
150 µm (No. 1000)	0 a 10
75 µm (No. 200)	0 a 3 <sup>ab</sup>
<sup>a</sup> Para concreto no sujeto a la abrasión, el límite para el material más fino que el tamiz 75 µm (No. 200) debe ser máximo 5 por ciento.	
<sup>b</sup> Para agregado fino artificial u otros reciclados, si el material más fino que el tamiz 75 µm (No. 200) consiste en polvo de trituración, esencialmente libre de arcilla o esquistos, este límite debe ser 5 por ciento para concreto sujeto a abrasión y máximo 7 por ciento para concreto no sujeto a abrasión.	

**Cuadro:** Requisitos de granulometría para agregado fino

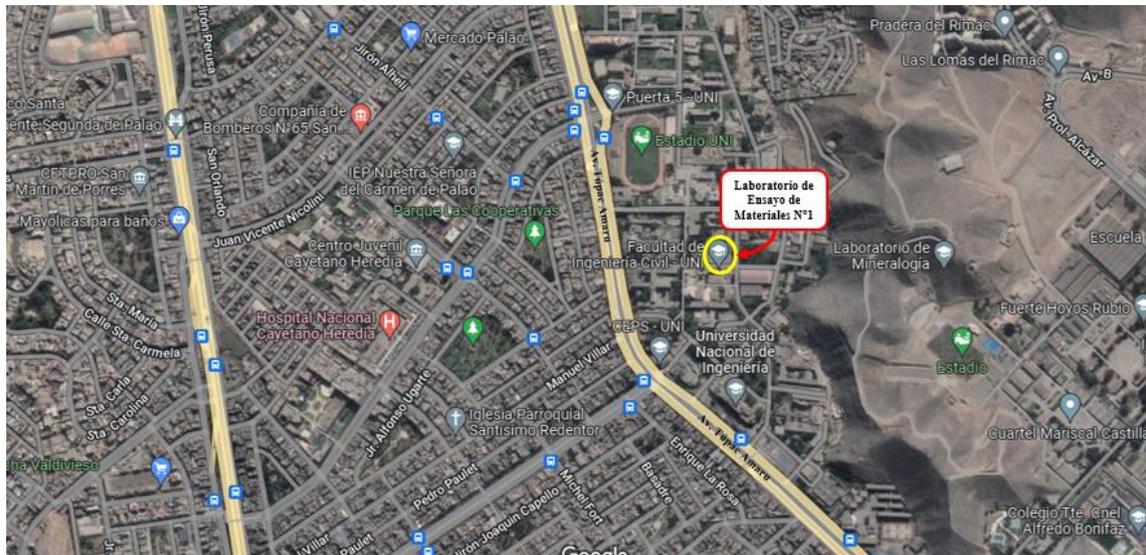
**Fuente:** NTP 400.037.2018

Huso	Tamaño máximo nominal	Porcentaje que pasa por los tamices normalizados													
		100 mm (4 pulg)	90 mm (3 ½ pulg)	75 mm (3 pulg)	63 mm (2 ½ pulg)	50 mm (2 pulg)	37,5 mm (1 ½ pulg)	25,0 mm (1 pulg)	19,0 mm (3/4 pulg)	12,5 mm (1/2 pulg)	9,5 mm (3/8 pulg)	4,75 mm (No. 4)	2,36 mm (No. 8)	1,18 mm (No. 16)	300 µm (No. 50)
1	90 mm a 37.5 mm (3 1/2 pulg a 1 1/2 pulg)	100	90 a 100	-	25 a 60	-	0 a 15	-	0 a 5	-	-	-	-	-	-
2	63 mm a 37.5 mm (2 1/2 pulg a 1 1/2 pulg)	-	-	100	90 a 100	35 a 70	0 a 15	-	0 a 5	-	-	-	-	-	-
3	50 mm a 25.0 mm (2 pulg a 1 pulg)	-	-	-	100	90 a 100	35 a 70	0 a 15	-	0 a 5	-	-	-	-	-
357	50 mm a 4.75 mm (2 pulg a No.4)	-	-	-	100	95 a 100	-	35 a 70	-	10 a 30	-	0 a 5	-	-	-
4	37.5 mm a 19.0 mm (1 1/2 pulg a 3/4 pulg)	-	-	-	-	100	90 a 100	20 a 55	0 a 5	-	0 a 5	-	-	-	-
467	37.5 mm a 4.75 mm (1 1/2 pulg a No.4)	-	-	-	-	100	95 a 100	-	35 a 70	-	10 a 30	0 a 5	-	-	-
5	25 mm a 12.5 mm (1 pulg a 1/2 pulg)	-	-	-	-	-	100	90 a 100	20 a 55	0 a 10	0 a 5	-	-	-	-
56	25 mm a 9.5 mm (1 pulg a 3/8)	-	-	-	-	-	100	90 a 100	40 a 85	10 a 40	0 a 15	0 a 5	-	-	-
57	25 mm a 4.75 mm (1 pulg a No.4)	-	-	-	-	-	100	95 a 100	-	25 a 60	-	0 a 10	0 a 5	-	-
6	19 mm a 9.5 mm (3/4 pulg a 3/8 pulg)	-	-	-	-	-	-	100	90 a 100	20 a 55	0 a 15	0 a 5	-	-	-
67	19 mm a 4 mm (3/4 pulg a No.4)	-	-	-	-	-	-	100	90 a 100	-	20 a 55	0 a 10	0 a 5	-	-
7	12.5 mm a 4.75 mm (1/2 pulg a No.4)	-	-	-	-	-	-	-	100	90 a 100	40 a 70	0 a 15	0 a 5	-	-
8	9.5 mm a 2.36 mm (3/8 pulg a No.8)	-	-	-	-	-	-	-	-	100	85 a 100	10 a 30	0 a 10	0 a 5	-
89	12.5 mm a 9.5 mm (1/2 pulg a 3/8)	-	-	-	-	-	-	-	-	100	90 a 100	20 a 55	5 a 30	0 a 10	0 a 5
9	4.75 mm a 1.18 mm (No.4 a No.16)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	100	85 a 100	10 a 40	0 a 10	0 a 5

**Cuadro:** Requisitos de granulometría para agregado grueso

**Fuente:** NTP 400.037.2018

## ANEXO 4: Plano de ubicación de las instalaciones del Laboratorio N°1 de Ensayo de Materiales “Ing. Manuel Gonzáles De La Cotera”



Plano de ubicación del Laboratorio N°1 de Ensayo de Materiales “Ing. Manuel Gonzáles De La Cotera” de la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional de Ingeniería.



Fachada del Laboratorio N°1 de Ensayo de Materiales “Ing. Manuel Gonzáles De La Cotera” de la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional de Ingeniería

**Fuente:** Google Earth (2022)

## ANEXO 5: Panel fotográfico de los principales materiales empleados



Agregado fino a base de residuos de la construcción y demolición



Agregado grueso (confitillo) a base de residuos de la construcción y demolición



Residuos de garnet proveniente de la actividad de chorro abrasivo seco



Residuos de garnet proveniente de la actividad de chorro abrasivo húmedo



Cemento Sol Portland Tipo I



Moldes para adoquines para pavimento tipo I fabricados con material fenólico y dimensiones: 20cm de largo / 10cm de ancho / 6 cm de altura



Tamiz para cernido de material de 1mm de abertura de malla



Balanza electrónica

## ANEXO 6: Estadística de manejo de residuos de abrasivo (garnet)

Generación de residuos de abrasivo (ton)	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Generación total (ton / año)
<b>2017</b>													
Total de residuos de abrasivo - chorro abrasivo seco	0.000	42.340	24.390	17.460	70.180	40.960	31.930	16.370	18.070	26.570	0.000	0.000	<b>288.270</b>
Total de residuos de abrasivo - chorro abrasivo húmedo	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	<b>0.000</b>
Total de residuos generados	204.490	146.040	109.540	138.610	152.458	101.330	122.895	113.830	125.330	139.835	174.872	144.810	<b>1674.040</b>
% del total de residuos representado por los residuos de abrasivo	0.000%	28.992%	22.266%	12.596%	46.032%	40.422%	25.982%	14.381%	14.418%	19.001%	0.000%	0.000%	<b>17.220%</b>
<b>2018</b>													
Total de residuos de abrasivo - chorro abrasivo seco	10.074	12.896	7.565	24.920	17.926	10.609	27.780	0.000	8.700	29.598	7.800	9.000	<b>166.868</b>
Total de residuos de abrasivo - chorro abrasivo húmedo	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	<b>0.000</b>
Total de residuos generados	95.740	71.010	139.382	252.290	253.581	275.510	189.980	293.240	377.170	136.319	152.340	166.060	<b>2402.622</b>
% del total de residuos representado por los residuos de abrasivo	10.522%	18.161%	5.428%	9.878%	7.069%	3.851%	14.623%	0.000%	2.307%	21.712%	5.120%	5.420%	<b>6.945%</b>
<b>2019</b>													
Total de residuos de abrasivo - chorro abrasivo seco	13.550	17.890	22.500	25.500	53.100	43.000	33.100	53.000	43.400	28.900	19.600	21.170	<b>374.710</b>
Total de residuos de abrasivo - chorro abrasivo húmedo	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	<b>0.000</b>
Total de residuos generados	174.880	100.227	77.130	129.359	142.345	78.085	148.980	208.490	138.080	90.540	125.070	97.760	<b>1510.946</b>
% del total de residuos representado por los residuos de abrasivo	7.748%	17.849%	29.172%	19.713%	37.304%	55.068%	22.218%	25.421%	31.431%	31.920%	15.671%	21.655%	<b>24.800%</b>
<b>2020<sup>a</sup></b>													
Total de residuos de abrasivo - chorro abrasivo seco	31.470	46.890	21.805	0.000	0.000	8.570	8.280	0.000	11.230	14.130	29.990	66.140	<b>238.505</b>
Total de residuos de abrasivo - chorro abrasivo húmedo	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	<b>0.000</b>
Total de residuos generados	159.180	121.060	140.865	37.060	63.170	64.816	66.440	74.698	143.710	124.100	107.570	171.880	<b>1274.549</b>
% del total de residuos representado por los residuos de abrasivo	19.770%	38.733%	15.479%	0.000%	0.000%	13.222%	12.462%	0.000%	7.814%	11.386%	27.880%	38.480%	<b>18.713%</b>
<b>2021</b>													
Total de residuos de abrasivo - chorro abrasivo seco	18.600	33.380	13.940	18.130	30.660	18.530	41.030	63.980	19.040	84.360	65.860	104.960	<b>512.470</b>
Total de residuos de abrasivo - chorro abrasivo húmedo <sup>b</sup>	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	3.800	5.050	2.900	<b>11.750</b>
Total de residuos generados	112.500	140.010	147.020	167.200	233.395	136.460	206.910	165.070	263.010	260.566	251.000	267.660	<b>2350.801</b>
% del total de residuos representado por los residuos de abrasivo	16.533%	23.841%	9.482%	10.843%	13.137%	13.579%	19.830%	38.759%	7.239%	33.834%	28.251%	40.297%	<b>22.30%</b>
<b>2022</b>													
Total de residuos de abrasivo - chorro abrasivo seco	31.800	43.700	75.620	51.056	85.100	73.700	15.920	91.660	60.775	77.026	23.650	99.680	<b>729.687</b>
Total de residuos de abrasivo - chorro abrasivo húmedo	0.000	11.710	7.775	6.850	4.965	20.320	0.000	8.700	12.550	35.700	55.720	10.390	<b>174.680</b>
Total de residuos generados	171.587	177.030	219.709	188.220	197.740	305.980	494.350	448.444	372.870	292.900	341.850	322.460	<b>3533.140</b>
% del total de residuos representado por los residuos de abrasivo	18.533%	31.300%	37.957%	30.765%	45.547%	30.727%	3.220%	22.380%	19.665%	38.486%	23.218%	34.134%	<b>25.597%</b>

<sup>a</sup> Debido a restricciones laborales por la emergencia sanitaria declarada por la pandemia a raíz del COVID-19 hubo una reducción en la generación de residuos sólidos en general.

<sup>b</sup> En octubre del 2021 se dan inicio a las pruebas de preparación de superficie mediante chorro abrasivo húmedo.

**Fuente:** Planta industrial ubicada en la costa sur del Perú

## ANEXO 7: Estadística de manejo de residuos de construcción

Generación de residuos de construcción (ton)	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Generación total (ton / año)	Generación promedio (ton / mes)
<b>2021</b>														
<b>Total de residuos de construcción</b>	23.090	23.560	13.200	0.000	0.000	9.800	11.670	0.000	10.740	22.440	44.420	42.660	<b>201.580</b>	<b>16.798</b>
<b>Total de residuos no peligrosos no reciclables</b>	66.580	85.760	62.280	72.910	72.060	62.750	87.810	114.950	68.050	137.480	133.210	158.050	<b>1121.890</b>	<b>93.491</b>
<b>% del total de residuos no peligrosos no reciclables representado por los residuos de construcción</b>	34.680%	27.472%	21.195%	0.000%	0.000%	15.618%	13.290%	0.000%	15.783%	16.322%	33.346%	26.991%	<b>17.968%</b>	<b>17.058%</b>
<b>Total de residuos generados</b>	112.500	140.010	147.020	167.200	233.395	136.460	206.910	165.070	263.010	260.566	251.000	267.660	<b>2350.801</b>	<b>195.900</b>
<b>% del total de residuos generados representado por los residuos de construcción</b>	20.524%	16.827%	8.978%	0.000%	0.000%	7.182%	5.640%	0.000%	4.083%	8.612%	17.697%	15.938%	<b>8.575%</b>	<b>8.790%</b>
<b>2022</b>														
<b>Total de residuos de construcción</b>	21.940	12.680	9.310	10.710	11.390	11.300	9.190	83.660	77.320	57.550	100.530	12.200	<b>417.780</b>	<b>34.815</b>
<b>Total de residuos no peligrosos no reciclables</b>	72.630	99.920	132.430	110.830	137.670	153.580	103.000	162.620	118.550	173.730	163.960	230.970	<b>1659.890</b>	<b>138.324</b>
<b>% del total de residuos no peligrosos no reciclables representado por los residuos de construcción</b>	30.208%	12.690%	7.030%	9.663%	8.273%	7.358%	8.922%	51.445%	65.221%	33.126%	61.314%	5.282%	<b>25.169%</b>	<b>25.044%</b>
<b>Total de residuos generados</b>	171.587	177.030	219.709	188.220	197.740	305.980	494.350	448.444	372.870	292.900	341.850	322.460	<b>3533.140</b>	<b>294.428</b>
<b>% del total de residuos generados representado por los residuos de construcción</b>	12.787%	7.163%	4.237%	5.690%	5.760%	3.693%	1.859%	18.656%	20.736%	19.648%	29.408%	3.783%	<b>11.825%</b>	<b>11.118%</b>

**Fuente:** Planta industrial ubicada en la costa sur del Perú

**ANEXO 8: Registro fotográfico del proceso de fabricación de adoquines para pavimento**

Imagen	Descripción
	<p><u>Actividad preliminar:</u> Recolección de residuos de garnet usados para preparación de superficies mediante la técnica del chorro abrasivo seco y chorro abrasivo húmedo.</p>
	<p><u>Actividad preliminar:</u> Control de calidad de los residuos de garnet: cernido y retiro de materiales extraños de diámetro mayor a 1mm.</p>
	<p><u>Actividad preliminar:</u> Fabricación de 60 moldes de material fenólico para adoquines para pavimento tipo I de dimensiones: 20 cm de largo / 10 cm de ancho / 6 cm de altura</p>
	<p><u>Actividad preliminar:</u> Acondicionamiento (engrase) de los moldes previo al vaciado de la mezcla de concreto a fin de facilitar el desmolde de las piezas de adoquines.</p>
	<p><u>Paso operativo n°1:</u> Pesaje de materiales (agregado reciclado fino, agregado reciclado grueso, garnet residual – chorro abrasivo seco, garnet residual – chorro abrasivo húmedo, cemento Portland tipo I y agua) en baldes individuales rotulados y de acuerdo con las cantidades especificadas por cada diseño.</p>

## Continuación

 <p>A worker in a white shirt, blue pants, and a white hard hat is standing next to a large, rotating concrete mixer. He is holding a white bucket and pouring its contents into the mixer. The mixer is mounted on a metal frame. A date stamp '19/10/2022' is visible in the bottom left corner of the photo.</p>	<p><u>Paso operativo n°2:</u> Colocación de materiales (agregado reciclado fino, agregado reciclado grueso, garnet residual – chorro abrasivo seco, garnet residual – chorro abrasivo húmedo, cemento Portland tipo I y agua), en las proporciones según diseño, en equipo mezclador de capacidad máxima 50L.</p>
 <p>The worker is now standing with his back to the camera, looking into the concrete mixer. He appears to be adjusting or mixing the contents. The date stamp '19/10/2022' is visible in the bottom left corner of the photo.</p>	<p><u>Paso operativo n°3:</u> Mezclado de materiales (agregado reciclado fino, agregado reciclado grueso, garnet residual – chorro abrasivo seco, garnet residual – chorro abrasivo húmedo, cemento Portland tipo I y agua), por un tiempo aproximado de 10 minutos.</p>
 <p>The worker is leaning over the concrete mixer, which is tilted. He is pouring the mixture into a red wheelbarrow. The date stamp '19/10/2022' is visible in the bottom left corner of the photo.</p>	<p><u>Paso operativo n°4:</u> Vaciado de la mezcla para su transporte al área de moldeo.</p>
 <p>The worker is using a black shovel to pour the mixture into a rectangular mold. The mold is placed on a concrete surface. The date stamp '19/10/2022' is visible in the bottom left corner of the photo.</p>	<p><u>Paso operativo n°5:</u> Vaciado de la mezcla en los moldes para adoquines y acomodo en los mismos haciendo uso de un badilejo. Encendido del vibrocompactador por un tiempo aproximado de 3 – 5 minutos.</p>



## ANEXO 9: Ficha de datos de seguridad del GMA ExtremeBlast™



# Ficha de datos de seguridad

GMA ExtremeBlast™

Fecha de emisión: Agosto de 2018



### SECCIÓN 1 - IDENTIFICACIÓN DEL MATERIAL Y PROVEEDOR

Nombre del producto:	GMA ExtremeBlast™
Sinónimos:	Granate, Granate almandino, Granate aluvial, Granate triturado, GMA GX3
Usos relevantes:	Abrasivos industriales
Uso recomendado:	Medios abrasivos industriales, limpieza a chorro, corte por chorro de agua, medios de filtración de agua
Proveedor:	GMA Garnet (USA) Corp.
Dirección:	Corporativo - 1800 Hughes Landing, Suite 350, Woodlands, TX 77380 Planta de producción - 25 Middle Drive, Keystone Industrial Port Complex (KIPC), Fairless Hills, PA 19030
Teléfono:	+1 (832) 243 9300
Número de fax:	+1 (832) 243 9301
Consultas generales:	<a href="mailto:Info.us@gmagarnet.com">Info.us@gmagarnet.com</a>
Correo electrónico:	<a href="mailto:Greg.hildebrand@gmagarnet.com">Greg.hildebrand@gmagarnet.com</a>
Número telefónico de emergencia:	+1 (832) 243 9300 24 horas: +1 (208) 761 5121

### SECCIÓN 2 - IDENTIFICACIÓN DE PELIGROS

Estados Unidos (EE. UU.)  
Según OSHA 29 CFR 1910.1200 HCS

Clasificación de la sustancia o mezcla:  
HCS 2012 Carcinogenicidad 1A - H350

Elementos de la etiqueta:  
OSHA HCS 2012





# Ficha de datos de seguridad

GMA ExtremeBlast™

Fecha de emisión: Agosto de 2018



## Peligro



### Declaraciones de peligro:

La exposición prolongada a la inhalación puede causar cáncer. - H350

### Consejos de precaución:

<b>Prevención</b>	Obtenga instrucciones especiales antes de su uso - P201 No manipule hasta que todas las precauciones de seguridad se hayan leído y comprendido. - P202
<b>Respuesta</b>	Si está expuesto o preocupado: Obtenga consejo/atención médica. - P308 + P313
<b>Eliminación</b>	Guardar bajo llave. - P405 Deseche el contenido o el contenedor de acuerdo con los reglamentos locales, regionales, nacionales o internacionales - P501

### OTROS PELIGROS

**OSHA HCS 2012** Según los reglamentos de los Estados Unidos (29 CFR 1910.1200 - Estándar de comunicación de riesgos), este producto se considera peligroso.

**CLP** Según el Reglamento (CE) N.º 1272/2008 (CLP), este material no se considera peligroso.

**DSD/DPD** De acuerdo con la Directiva Europea 1999/45/CE, este material no se considera peligroso.

Si el contenido de sílice cristalina (fracción fina) en mezclas y sustancias es inferior al 0,1%, no se requiere clasificación.



# Ficha de datos de seguridad

GMA ExtremeBlast™

Fecha de emisión: Agosto de 2018



## SECCIÓN 3 – COMPOSICIÓN/INFORMACIÓN SOBRE LOS COMPONENTES

Este material es una mezcla natural de granate almandino y otros minerales.

Identidad química	Nombre común	Número de CAS	Proporción (% en peso)
$(Fe,Ca)_3Al_2(SiO_4)_3$	Granate	1302-62-1	>92%
$FeTiO_3$	Ilmenita	103170-28-1	1%
$SiO_2$	Cuarzo (sílice cristalina)	14808-60-7	<0,3%
$(Ca,Fe_2)(Si,Al)_2O_6$ $(Mg,Mn)(Si,Al)_2O_6$ $(Mg,Mn_2)(Si,Al)_2O_6$	Piroxeno	12174-37-3	3%
$Ca_2(Mg,Fe,Al)_3(Al,Si)_3O_{22}(OH)_2$	Hornblenda	1178-42-6	3,5%

## SECCIÓN 4 – MEDIDAS DE PRIMEROS AUXILIOS

Descripción de las medidas de primeros auxilios:

- Ingestión:** Puede causar molestias abdominales debido a la aspereza; solicite atención médica si se desarrollan síntomas.
- Contacto visual:** En caso de contacto con los ojos, lávelos inmediatamente con agua corriente, con abundante agua limpia durante al menos durante 20 segundos. Si persiste la irritación ocular; busque atención/asesoramiento médico.
- Contacto con la piel:** No se conocen efectos a la salud por el contacto con la piel que puedan ocurrir durante la manipulación normal. El contacto con el material bajo presión dañará la piel por abrasión. Limpie y cubra cualquier herida abierta y busque atención médica.
- Inhalación:** SI SE INHALA: Salga al aire libre y manténgase en reposo en una posición cómoda para respirar. Administre oxígeno si respirar le resulta difícil. Si persisten las dificultades respiratorias, solicite atención médica de inmediato.

Los síntomas y efectos más importantes, agudos y retardados: Consulte la Sección 11 - Información toxicológica.

Indicación de atención médica inmediata y tratamiento especial necesario, si es necesario:

Todos los tratamientos deben basarse en los signos y síntomas observados de angustia en el paciente. Se debe considerar la posibilidad de que se haya producido una sobreexposición a los materiales distintos a este producto.



# Ficha de datos de seguridad

GMA ExtremeBlast™

Fecha de emisión: Agosto de 2018

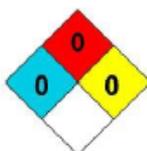


## SECCIÓN 5 – MEDIDAS CONTRA INCENDIOS

Este producto no es inflamable y no provoca combustión.

- |   |  |
|---|--|
| a) Medios de extinción:                                 | No es inflamable. Utilice medios adecuados para los materiales circundantes.   |
| b) Peligros específicos derivados del producto químico: | Ninguno conocido.  |
| c) Equipo de protección especial y precauciones:        | No existen procedimientos específicos dados. Utilice el equipo de protección y las precauciones adecuadas para protegerse del fuego circundante. |

NFPA



## SECCIÓN 6 – MEDIDAS DE LIBERACIÓN ACCIDENTAL

- (a) Precauciones personales, equipo de protección y procedimientos de emergencia:

No camine por el material derramado. Use equipo de protección personal apropiado (EPP)

- (b) Precauciones ambientales:

Este material no se debe desechar en la naturaleza, sino que debe recogerse y eliminarse de acuerdo con las pautas locales, estatales o federales. Evite verter hacia vías navegables y alcantarillas.

- (c) Métodos y materiales de contención y limpieza:

Evite generar polvo innecesario. Barra o aspire el material para su eliminación o recuperación.





# Ficha de datos de seguridad

GMA ExtremeBlast™

Fecha de emisión: Agosto de 2018



## SECCIÓN 7 – MANIPULACIÓN Y ALMACENAMIENTO

**(a) Precauciones para una manipulación segura:**

No se requieren precauciones especiales para el tratamiento normal del material. Utilícelo solo con ventilación adecuada. Lleve el equipo de protección personal adecuado.

**(a) Condiciones de almacenamiento seguro, que incluyen las incompatibilidades:**

No se requieren precauciones especiales para el almacenamiento normal del material. Mantenga el envase/paquete bien cerrado y en un lugar bien ventilado. Realizar una buena limpieza mantiene el polvo molesto al mínimo.

## SECCIÓN 8 – CONTROLES DE EXPOSICIÓN/PROTECCIÓN PERSONAL

**(a) Parámetros de control/estándares de exposición:**

OEL (fracción respirable) en el aire para el polvo que contiene sílice cristalina (cuarzo).

Estándar	Límites de exposición
ACGIH TLV** (Promedio ponderado en el tiempo de 8 horas)	0,025 mg/m <sup>3</sup>
NIOSH REL** (promedio ponderado en el tiempo de 10 horas, semana laboral de 40 horas)	0,05 mg/m <sup>3</sup>
PEL de MSHA/OSHA * (Promedio ponderado en el tiempo de 8 horas)	10 mg/m <sup>3</sup> / (% SiO <sub>2</sub> +2)
Aioh	0,1 mg/m <sup>3</sup>
OHS	0,025 mg/m <sup>3</sup>

\* La sílice cristalina se mide normalmente como polvo respirable. El estándar OSHA/MSHA también presenta una fórmula para el cálculo del PEL basado en el polvo total: 30 mg/m<sup>3</sup> / (% SiO<sub>2</sub> +2). El PEL de OSHA/MSHA para polvo que contiene sílice cristalina (cuarzo) se basa en el contenido de sílice de la muestra de polvo respirable. El PEL de OSHA/MSHA para sílice cristalina como tridimita y cristobalita es la mitad del PEL para sílice cristalina (cuarzo).

\*\* Los límites de ACGIH y NIOSH son para la sílice cristalina (cuarzo), independientemente de la concentración de polvo. El TLV de ACGIH para la sílice cristalina como cristobalita es igual al TLV para la sílice cristalina como el cuarzo. En 2005, ACGIH retiró el TLV para sílice cristalina como tridimita. OEL en el aire para polvo inerte/molesto.

Estándar	Polvo respirable	Polvo total
PEL de MSHA/OSHA (como polvo inerte o molesto)	5 mg/m <sup>3</sup>	15 mg/m <sup>3</sup>
ACGIH TLV (como partículas no especificadas de	3 mg/m <sup>3</sup>	*10 mg/m <sup>3</sup>





# Ficha de datos de seguridad



GMA ExtremeBlast™

Fecha de emisión: Agosto de 2018

otra manera)		
--------------	--	--

Nota: Los límites para el polvo inerte se proporcionan como pautas. El polvo molesto se limita a partículas que no se sabe si causan lesiones o enfermedades sistémicas. \* El TLV proporcionado es para partículas inhalables no especificadas de otra manera.

Niveles de exposición permisibles de California/OSHA en un promedio de 8 horas.

Sílice cristalina respirable (cuarzo, fundido, tripoli), 0,1 mg/m<sup>3</sup> - 0,1 miligramos de sílice en 1 metro cúbico de aire. Sílice cristalina total (cuarzo), 0,3 mg/m<sup>3</sup>, cristobalita respirable y tridimita, 0,05 mg/m<sup>3</sup>.

OEL canadiense:

Código Laboral de Canadá (Centro Canadiense de Salud y Seguridad Ocupacional [OHS]): 0,025 mg/m<sup>3</sup> (respirable) Alberta, Columbia Británica: 0,025 mg/m<sup>3</sup> (cuarzo respirable y cristobalita)

Saskatchewan: 0,05 mg/m<sup>3</sup> (cristobalita respirable); 0,05 mg/m<sup>3</sup> (cuarzo, respirable); 0,1 mg/m<sup>3</sup> (tripoli, respirable, como cuarzo)

Manitoba, Terranova, Isla del Príncipe Eduardo: 0,025 mg/m<sup>3</sup> (sílice cristalina, respirable)

Ontario: 0,05 mg/m<sup>3</sup> (cristobalita respirable); 0,1 mg/m<sup>3</sup> (cuarzo, tripoli)

Quebec: 0,05 mg/m<sup>3</sup> (cristobalita, tridimita, respirable); 0,1 mg/m<sup>3</sup> (cuarzo, tripoli) Nuevo Brunswick: 0,1 mg/m<sup>3</sup> (cuarzo); 0,05 mg/m<sup>3</sup> (cristobalita)

Nueva Escocia: 0,025 mg/m<sup>3</sup> (cuarzo, cristobalita)

Yukón: 300 partículas/ml medidas con un conímetro (cuarzo y tripoli); 150 partículas/ML medidas con un conímetro (cristobalita y tridimita)

Territorios del Noroeste, Nunavut: 0,05 mg/m<sup>3</sup> (cristobalita, tridimita, respirable); 0,1 mg/m<sup>3</sup> (respirable) OEL de Austria: -

Concentración máxima permitida 0,15 mg/m<sup>3</sup>

Australia: (AIOH) (OEL) - 0,1 mg/m<sup>3</sup>

México: 0,1 mg/m<sup>3</sup> (cuarzo, tripoli que contiene polvo de cuarzo respirable, inhalable), 0,05 mg/m<sup>3</sup> (cristobalita, tridimita inhalable) (también consulte ACGIH)

Argentina: 0,05 mg/m<sup>3</sup> (cuarzo, cristobalita, tridimita respirable) 0,1 mg/m<sup>3</sup> (tripoli, respirable) OEL del Reino Unido: 0,1 mg/m<sup>3</sup> (cuarzo, cristobalita, tridimita)

OEL de Japón: La sílice cristalina respirable de la Sociedad Japonesa de Salud Ocupacional: 0,03 mg/m<sup>3</sup> OEL TWA de Polonia:

2 mg/m<sup>3</sup> (polvo inhalable total, que contiene >50% de sílice cristalina libre);

0,3 mg/m<sup>3</sup> (polvo respirable, que contiene >50% de sílice cristalina libre);

4,0 mg/m<sup>3</sup> (polvo inhalable total, que contiene de 2% a 50% de sílice cristalina libre);

1,0 mg/m<sup>3</sup> (polvo respirable, que contiene de 2% a 50% de sílice cristalina libre); y

10,0 mg/m<sup>3</sup> (polvo inhalable total, que contiene < 2% de sílice cristalina libre)

Si su país o territorio no está en la lista, se aplican reglamentos más estrictos (ACGIH) donde se utilizan los materiales.

## Clave para las abreviaturas

PEL = Nivel de exposición permisible determinado por la Administración de Seguridad y Salud Ocupacional (OSHA)

ACGIH = Conferencia Americana de Higiene Industrial Gubernamental

AIOH = Instituto Australiano de Higienistas Ocupacionales

OSHA = Administración de Seguridad y Salud Ocupacional

NIOSH = Instituto Nacional de Seguridad y Salud Ocupacional

TLV = Valor límite de umbral determinado por la Conferencia Americana de Higienistas Industriales Gubernamentales (ACGIH)

TWA = Los promedios ponderados en el tiempo se basan en exposiciones de 8 horas por día, 40 horas por semana





## Ficha de datos de seguridad

GMA ExtremeBlast™

Fecha de emisión: Agosto de 2018



**(b) Medidas y controles de ingeniería:**

Se debe utilizar una buena ventilación general. Las tasas de ventilación se deben adaptar a las condiciones. Si corresponde, utilice recintos de proceso, ventilación por extracción o colectores de polvo para mantener los niveles en el aire por debajo de los límites de exposición recomendados. Opere y mantenga colectores de polvo por recomendaciones de fabricación.

**(c) Equipo de protección personal:**

Para una exposición limitada, utilice una máscara antipolvo N95 o equivalente. Para una exposición prolongada, siga los reglamentos de respiradores OSHA que se encuentran en 29 CFR 1910.134 o la norma europea EN 149.

Use gafas de seguridad

Use ropa protectora y guantes

Siga las pautas locales, estatales o federales para el uso de equipos de protección personal. Las operaciones de limpieza a chorro deben usar una campana de chorro de aire que cumpla con las normas OSHA o NIOSH requeridas, así como guantes de cuero (o equivalentes) y un delantal cuando estén en uso. También se debe usar protección auditiva cuando se limpia con chorro.

Los controles deben diseñarse para evitar la liberación al medio ambiente, que incluyen los procedimientos para evitar derrames, la liberación atmosférica y la liberación en las vías fluviales. Siga las mejores prácticas para la gestión del sitio y la eliminación de residuos.



# Ficha de datos de seguridad

GMA ExtremeBlast™

Fecha de emisión: Agosto de 2018



## SECCIÓN 9 – PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS

(a)	Apariencia	: Arena que fluye libremente de color rosa a rojo
(b)	Olor:	: Inodoro
(c)	Umbral de olor	: No aplica
(d)	pH	: 8,0
(e)	Punto de fusión	: Aproximadamente 1250°C (2282°F)
(f)	Punto de inflamación	: Incombustible
(g)	Tasa de evaporación	: No aplica
(h)	Inflamabilidad (sólido, gas)	: No es inflamable
(i)	Límites superiores/inferiores de inflamabilidad o de explosión	: Incombustible
(j)	Presión de vapor	: No aplica
(k)	Densidad del vapor	: No aplica
(l)	Gravedad específica	: 4,1
(m)	Solubilidad	: Insoluble
(n)	Radioactividad	: No detectable por encima de los niveles de fondo.
(o)	Dureza	: 7,5 – 8,0 Mohs
(p)	Tamaño de partícula	: Rango promedio entre 0,15 – 1,0 mm (100 mallas – 18 mallas), dependiendo del grado
(q)	Forma de la partícula	: Subangular a angular
(r)	Fuente	: Granate aluvial y triturado
(s)	Densidad a granel	: Aproximadamente 2,4 t/m <sup>3</sup> (149,82 lbs/ft <sup>3</sup> )
(t)	Contenido de compuestos orgánicos volátiles	: Por debajo de los límites detectables
(u)	Coefficiente de partición: n-octanol/agua	: No aplica
(v)	Temperatura de autoignición	: No aplica
(w)	Temperatura de descomposición	: No aplica
(x)	Viscosidad	: No aplica

## SECCIÓN 10 – ESTABILIDAD Y REACTIVIDAD

(a)	Reactividad	: Sólido inerte, no se conoce reacción peligrosa en condiciones de uso normal
(b)	Estabilidad química	: Estable
(c)	Posibilidad de reacciones peligrosas	: Ninguna conocida.
(d)	Condiciones a evitar	: Ninguna conocida.
(e)	Materiales incompatibles	: Ninguno conocido.
(f)	Productos de descomposición peligrosos	: Ninguno conocido.



# Ficha de datos de seguridad

GMA ExtremeBlast™

Fecha de emisión: Agosto de 2018



## SECCIÓN 11 – INFORMACIÓN TOXICOLÓGICA

### Información sobre los efectos toxicológicos

Sílice cristalina (SiO <sub>2</sub> )	14808 - 60 -7	<b>Toxicidad aguda:</b> Inhalación-TCLo humano • 16 mppcf 8 Hora (s) 17,9 Año (s)- Intermitente; <i>pulmones, tórax o respiración: Fibrosis focal (neumoconiosis); pulmones, tórax o respiración: Tos; pulmones, tórax o respiración: Disnea; inhalación -TCLo de rata • 200 mg/kg; pulmones, tórax o respiración: Fibrosis focal (neumoconiosis) ; pulmones, tórax o respiración.</i>
---------------------------------------	---------------	--

Propiedades de GHS	Clasificación
Toxicidad aguda	EU/CLP• Falta de datos OSHA HCS 2012• Falta de datos
Peligro de aspiración	EU/CLP• Falta de datos OSHA HCS 2012• Falta de datos
Carcinogenicidad	EU/CLP• Falta de datos OSHA HCS 2012• Carcinogenicidad 1A
Mutagenicidad de células germinales	EU/CLP• Falta de datos OSHA HCS 2012• Falta de datos
Corrosión/irritación de la piel	EU/CLP• Falta de datos OSHA HCS 2012• Falta de datos
Sensibilización de la piel	EU/CLP• Falta de datos OSHA HCS 2012• Falta de datos
STOT-RE	EU/CLP• Falta de datos OSHA HCS 2012• Falta de datos
STOT-SE	EU/CLP• Falta de datos OSHA HCS 2012• Falta de datos
Toxicidad para la reproducción	EU/CLP• Falta de datos OSHA HCS 2012• Falta de datos
Sensibilización respiratoria	EU/CLP• Falta de datos OSHA HCS 2012• Falta de datos
Grave daño ocular/irritación	EU/CLP• Falta de datos OSHA HCS 2012• Falta de datos





# Ficha de datos de seguridad

GMA ExtremeBlast™

Fecha de emisión: Agosto de 2018



## Efectos potenciales para la salud

### Inhalación

**Agudo (Inmediato)** La exposición al polvo puede causar irritación.

**Crónico (Retrasado)** La inhalación de polvos respirables que contienen sílice cristalina puede causar lesiones pulmonares o silicosis o cáncer.

**Piel aguda (Inmediato)** Puede causar abrasiones.

**Crónico (Retrasado)** No hay datos disponibles

**Ojo agudo (Inmediato)** La exposición al polvo puede causar irritación.

**Crónico (Retrasado)** No hay datos disponibles

**Ingestión aguda (Inmediato)** No se conocen efectos, sin embargo, no se recomienda la ingestión.

**Crónico (Retrasado)** No hay datos disponibles

**Efectos carcinógenos:** Este producto contiene sílice cristalina o cuarzo. Las monografías de la IARC sobre la evaluación del riesgo carcinogénico de sustancias químicas para los seres humanos (Monografía 68, 1997) concluyen que existen pruebas suficientes de la carcinogenicidad de la sílice cristalina en los seres humanos (Grupo IARC I). La sílice cristalina se clasifica como carcinógeno conocido según NTP.

Efectos carcinógenos			
	CAS	IARC	NTP
Sílice cristalina (SiO <sub>2</sub> )	14808-60-7	Grupo 1- Carcinogénico	Carcinógeno humano conocido





# Ficha de datos de seguridad

GMA ExtremeBlast™

Fecha de emisión: Agosto de 2018



## SECCIÓN 12 – INFORMACIÓN ECOLÓGICA

Este material es un mineral natural que no se conoce con ecotoxicidad. Es insoluble en el agua y es poco probable que contamine las vías navegables o las cadenas alimentarias. El granate de GMA no contiene materiales de goma o plástico.

Las pruebas del procedimiento de lixiviación con características de toxicidad (TCLP) independientes del laboratorio para lixiviados han demostrado que este material no es una sustancia peligrosa o tóxica

(a)	Persistencia y degradabilidad	: Datos disponibles
(b)	Potencial bioacumulativo	: Datos disponibles
(c)	Movilidad en el suelo	: Datos disponibles
(d)	Otros efectos adversos	: Ninguno conocido

## SECCIÓN 13 – CONSIDERACIONES PARA LA ELIMINACIÓN

Métodos de eliminación: Elimine el contenido y los residuos del embalaje de acuerdo con las pautas locales, estatales o federales para la eliminación de residuos sólidos inertes, por ejemplo, eliminación en vertederos.

EL MATERIAL CONTAMINADO O REDUCIDO AL POLVO EN USO PUEDE NECESITAR UNA MANIPULACIÓN Y ELIMINACIÓN ESPECIALES. ES RESPONSABILIDAD DEL USUARIO REALIZAR CUALQUIER CLASIFICACIÓN DE EVALUACIÓN Y ELIMINACIÓN DEL MATERIAL DESPUÉS DEL USO.

## SECCIÓN 14 – INFORMACIÓN DE TRANSPORTE

No se requieren precauciones especiales. Se recomienda mantener las bolsas cerradas y las cargas a granel secas cubiertas para evitar la generación de polvo y la incursión de la humedad.

a)	Número NU:	Ninguno asignado.
b)	Nombre de transporte adecuado para NU:	No clasificado para el transporte.
c)	Clases de peligro para el transporte:	No clasificado como peligroso según el código ADG.
d)	Grupo de embalaje:	No clasificado para el transporte.
e)	Peligros ambientales:	No clasificado como contaminante marino. No cumple los criterios de 2.9.3.3.1 "sustancias peligrosas para el medio ambiente (medio ambiente acuático)".
f)	Precauciones particulares para los usuarios:	Ninguna necesaria. Se recomienda mantener las bolsas cerradas y las cargas a granel secas cubiertas para evitar la generación de polvo y la incursión de la humedad.





# Ficha de datos de seguridad

GMA ExtremeBlast™

Fecha de emisión: Agosto de 2018



g) Código de peligro:	Ninguno asignado.
h) Código del sistema armonizado:	251320

## SECCIÓN 15 – INFORMACIÓN REGLAMENTARIA

- (a) Reglamentos y legislación de seguridad, salud y medio ambiente específicas para la mezcla de sustancias:

GMA Garnet™ está exento de la obligación de registrarse conforme a la legislación REACH (EC 1907/2006) Anexo V 7.

Este producto es una sustancia inorgánica y no cumple con los criterios para PBT o vPvB de acuerdo con el Anexo XIII de REACH.

No se conocen reglamentos adicionales para este producto.

## SECCIÓN 16 – OTRA INFORMACIÓN

Esta hoja de datos ha sido preparada por GMA Garnet USA Corporation y cumple con el Código de Prácticas de Trabajo Seguro de Australia sobre la Preparación de Hojas de Datos de Seguridad para Productos Químicos Peligrosos en diciembre de 2011 y sigue el Sistema Globalmente Armonizado de Clasificación y Etiquetado de Productos Químicos (GHS).

Según la Nota de orientación de seguridad en el trabajo de NOHSC 3017, cada usuario debe revisar la información en el contexto específico de la aplicación prevista.

*Descargo de responsabilidad: La información en esta ficha de datos de seguridad se obtuvo de fuentes que se consideran fiables; sin embargo, la información se proporciona sin ninguna representación o garantía, expresa o implícita, con respecto a su precisión o exactitud. Las condiciones o métodos de manipulación, almacenamiento, uso y eliminación de este producto están fuera de nuestro control y pueden estar más allá de nuestro conocimiento. Por esta y otras razones, no asumimos responsabilidad y declinamos expresamente la responsabilidad por pérdidas, daños o gastos que surjan de, o estén relacionados de alguna manera, con la manipulación, el almacenamiento, el uso o la eliminación de este producto.*



**ANEXO 10: Informes de ensayo de residuos de abrasivos y agregados reciclados a base de residuos de la construcción y demolición - Laboratorio ALS LS PERÚ S.A.C.**



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL  
ORGANISMO DE ACREDITACIÓN INACAL-DA  
CON REGISTRO N° LE-029



FDT 001 - 01

**INFORME DE ENSAYO: 64537/2022**

Emitido por: Karin Zelada Trigoso

Fecha de Emisión: 21/09/2022

Karin Zelada Trigoso

CQP: 830

Personal Signatario - Químico

Renovación de Acreditación a ALS LS Perú S.A.C. mediante registro LE-029  
División - Medio Ambiente

Pág. 1 de 10

Revisión: 11  
Fecha de Revisión: 24/09/2022

Av. República de Argentina N° 1859, Cercado de Lima - Perú Telf: (511) 488-9500  
Av. Dolores 167, José Luis Bustamante y Rivero, Arequipa - Perú Telf: (054) 424-570  
[www.alsglobal.com](http://www.alsglobal.com)



## INFORME DE ENSAYO: 64537/2022

### RESULTADOS ANALITICOS

Muestras del ítem: 21

Parámetro	Ref. Mét.	Fecha de Ensayo	Unidad	LD	LQ	Resultado
<b>Muestras del ítem: 21</b>						
N° ALS						506838/2022-1.0
Fecha de Muestreo						04/09/2022
Hora de Muestreo						17:15:00
Tipo de Muestra						Suelo
Identificación						AGR-F
<b>005 ENSAYOS POR CROMATOGRAFÍA</b>						
Hidrocarburos Totales de Petróleo (C9-C40) <sup>(R)</sup>	12976	08/09/2022	mg/kg	1,9	13,3	82,2
Fracción de Hidrocarburos F1 (C6-C10) <sup>(R)</sup>	16927	08/09/2022	mg/kg	0,6	1,9	< 0,6
<b>005 ENSAYOS POR CROMATOGRAFÍA - Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos (PAHs)</b>						
Acenafteno <sup>(R)</sup>	12647	07/09/2022	mg/kg	0,0009	0,0054	< 0,0009
Acenaftileno <sup>(R)</sup>	12647	07/09/2022	mg/kg	0,0009	0,0054	< 0,0009
Antraceno <sup>(R)</sup>	12647	07/09/2022	mg/kg	0,0009	0,0054	< 0,0009
Benzo (a) Antraceno <sup>(R)</sup>	12647	07/09/2022	mg/kg	0,0009	0,0054	< 0,0009
Benzo (a) Pireno <sup>(R)</sup>	12647	07/09/2022	mg/kg	0,0009	0,0054	< 0,0009
Benzo (b) Fluoranteno <sup>(R)</sup>	12647	07/09/2022	mg/kg	0,0009	0,0054	< 0,0009
Benzo (g,h,i) Perileno <sup>(R)</sup>	12647	07/09/2022	mg/kg	0,0006	0,0054	< 0,0006
Benzo (k) Fluoranteno <sup>(R)</sup>	12647	07/09/2022	mg/kg	0,0009	0,0054	< 0,0009
Criseno <sup>(R)</sup>	12647	07/09/2022	mg/kg	0,0009	0,0054	< 0,0009
Dibenzo (a,h) Antraceno <sup>(R)</sup>	12647	07/09/2022	mg/kg	0,0009	0,0054	< 0,0009
Fenantreno <sup>(R)</sup>	12647	07/09/2022	mg/kg	0,0009	0,0054	< 0,0009
Fluoranteno <sup>(R)</sup>	12647	07/09/2022	mg/kg	0,0009	0,0054	< 0,0009
Fluoreno <sup>(R)</sup>	12647	07/09/2022	mg/kg	0,0009	0,0054	< 0,0009
Indeno (1,2,3 cd) Pireno <sup>(R)</sup>	12647	07/09/2022	mg/kg	0,0009	0,0054	< 0,0009
Naftaleno <sup>(R)</sup>	12647	07/09/2022	mg/kg	0,0009	0,0054	0,0259
Pireno <sup>(R)</sup>	12647	07/09/2022	mg/kg	0,0009	0,0054	< 0,0009
<b>005 ENSAYOS POR CROMATOGRAFÍA - Hidrocarburos Totales de Petróleo, F2 (&gt;C10-C28), F3 (&gt;C28-C40)</b>						
Fracción de Hidrocarburos F2 (>C10-C28) <sup>(R)</sup>	18303	08/09/2022	mg/kg	1,0	6,8	34,2
Fracción de Hidrocarburos F3 (>C28-C40) <sup>(R)</sup>	18303	08/09/2022	mg/kg	1,0	6,8	44,6
<b>005 ENSAYOS POR CROMATOGRAFÍA - VOCs (BTEX)</b>						
Benceno <sup>(R)</sup>	12701	06/09/2022	mg/kg	0,00129	0,01032	< 0,00129
Tolueno <sup>(R)</sup>	12701	06/09/2022	mg/kg	0,00143	0,01015	< 0,00143
Etilbenceno <sup>(R)</sup>	12701	06/09/2022	mg/kg	0,00198	0,00990	< 0,00198
m-Xileno <sup>(R)</sup>	12701	06/09/2022	mg/kg	0,00110	0,00990	< 0,00110
p-Xileno <sup>(R)</sup>	12701	06/09/2022	mg/kg	0,00148	0,01036	< 0,00148
o-Xileno <sup>(R)</sup>	12701	06/09/2022	mg/kg	0,00151	0,01057	< 0,00151
Xilenos <sup>(R)</sup>	12701	06/09/2022	mg/kg	0,00409	0,03083	< 0,00409
<b>007 ENSAYOS DE METALES - Metales TCLP por ICP OES</b>						
Plata (Ag) <sup>(R)</sup>	13338	09/09/2022	mg/L	0,01	0,10	< 0,01
Arzénico (As) <sup>(R)</sup>	13338	09/09/2022	mg/L	0,02	0,20	< 0,02
Bario (Ba) <sup>(R)</sup>	13338	09/09/2022	mg/L	0,005	0,050	0,169
Berilio (Be) <sup>(R)</sup>	13338	09/09/2022	mg/L	0,0001	0,0010	< 0,0001
Cadmio (Cd) <sup>(R)</sup>	13338	09/09/2022	mg/L	0,0015	0,0150	< 0,0015
Cromo (Cr) <sup>(R)</sup>	13338	09/09/2022	mg/L	0,004	0,040	< 0,004
Níquel (Ni) <sup>(R)</sup>	13338	09/09/2022	mg/L	0,01	0,10	< 0,01



## INFORME DE ENSAYO: 64537/2022

N° ALS LS						506838/2022-1.0
Fecha de Muestreo						04/09/2022
Hora de Muestreo						17:15:00
Tipo de Muestra						Suelo
Identificación						AGR-F
Parámetro	Ref. Mét.	Fecha de Ensayo	Unidad	LD	LQ	Resultado
Plomo (Pb) <sup>(RPP)</sup>	13338	09/09/2022	mg/L	0,02	0,20	< 0,02
Antimonio (Sb) <sup>(RPP)</sup>	13338	09/09/2022	mg/L	0,015	0,150	< 0,015
Selenio (Se) <sup>(RPP)</sup>	13338	09/09/2022	mg/L	0,03	0,30	< 0,03
Zinc (Zn) <sup>(RPP)</sup>	13338	09/09/2022	mg/L	0,0035	0,0350	0,4900

N° ALS LS						506842/2022-1.0
Fecha de Muestreo						04/09/2022
Hora de Muestreo						17:30:00
Tipo de Muestra						Suelo
Identificación						ABR-H
Parámetro	Ref. Mét.	Fecha de Ensayo	Unidad	LD	LQ	Resultado

Parámetro	Ref. Mét.	Fecha de Ensayo	Unidad	LD	LQ	Resultado
<b>003 ENSAYOS POR CROMATOGRAFÍA</b>						
Hidrocarburos Totales de Petróleo (C9-C40) <sup>(RPP)</sup>	12976	08/09/2022	mg/kg	1,9	13,3	24,2
Fración de Hidrocarburos F1 (C6-C10) <sup>(RPP)</sup>	16927	08/09/2022	mg/kg	0,6	1,9	< 0,6
<b>003 ENSAYOS POR CROMATOGRAFÍA - Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos (PAHs)</b>						
Acenafteno <sup>(RPP)</sup>	12647	07/09/2022	mg/kg	0,0009	0,0034	< 0,0009
Acenafileno <sup>(RPP)</sup>	12647	07/09/2022	mg/kg	0,0009	0,0034	< 0,0009
Antraceno <sup>(RPP)</sup>	12647	07/09/2022	mg/kg	0,0009	0,0034	< 0,0009
Benzo (a) Antraceno <sup>(RPP)</sup>	12647	07/09/2022	mg/kg	0,0009	0,0034	< 0,0009
Benzo (a) Pireno <sup>(RPP)</sup>	12647	07/09/2022	mg/kg	0,0009	0,0034	< 0,0009
Benzo (b) Fluoranteno <sup>(RPP)</sup>	12647	07/09/2022	mg/kg	0,0009	0,0034	< 0,0009
Benzo (g,h,i) Perileno <sup>(RPP)</sup>	12647	07/09/2022	mg/kg	0,0006	0,0034	< 0,0006
Benzo (k) Fluoranteno <sup>(RPP)</sup>	12647	07/09/2022	mg/kg	0,0009	0,0034	< 0,0009
Crizeno <sup>(RPP)</sup>	12647	07/09/2022	mg/kg	0,0009	0,0034	< 0,0009
Dibenzo (a,h) Antraceno <sup>(RPP)</sup>	12647	07/09/2022	mg/kg	0,0009	0,0034	< 0,0009
Fenantreno <sup>(RPP)</sup>	12647	07/09/2022	mg/kg	0,0009	0,0034	< 0,0009
Fluoranteno <sup>(RPP)</sup>	12647	07/09/2022	mg/kg	0,0009	0,0034	< 0,0009
Fluoreno <sup>(RPP)</sup>	12647	07/09/2022	mg/kg	0,0009	0,0034	< 0,0009
Indeno (1,2,3 cd) Pireno <sup>(RPP)</sup>	12647	07/09/2022	mg/kg	0,0009	0,0034	< 0,0009
Naftaleno <sup>(RPP)</sup>	12647	07/09/2022	mg/kg	0,0009	0,0034	< 0,0009
Pireno <sup>(RPP)</sup>	12647	07/09/2022	mg/kg	0,0009	0,0034	< 0,0009
<b>003 ENSAYOS POR CROMATOGRAFÍA - Hidrocarburos Totales de Petróleo, F2 (&gt;C10-C28), F3 (&gt;C28-C40)</b>						
Fración de Hidrocarburos F2 (>C10-C28) <sup>(RPP)</sup>	18303	08/09/2022	mg/kg	1,0	6,8	5,2
Fración de Hidrocarburos F3 (>C28-C40) <sup>(RPP)</sup>	18303	08/09/2022	mg/kg	1,0	6,8	16,2
<b>003 ENSAYOS POR CROMATOGRAFÍA - VOCs (BTEX)</b>						
Benceno <sup>(RPP)</sup>	12701	06/09/2022	mg/kg	0,00129	0,01032	< 0,00129
Tolueno <sup>(RPP)</sup>	12701	06/09/2022	mg/kg	0,00143	0,01013	< 0,00143
Etilbenceno <sup>(RPP)</sup>	12701	06/09/2022	mg/kg	0,00198	0,00990	< 0,00198
m-Xileno <sup>(RPP)</sup>	12701	06/09/2022	mg/kg	0,00110	0,00990	< 0,00110
p-Xileno <sup>(RPP)</sup>	12701	06/09/2022	mg/kg	0,00148	0,01036	< 0,00148
o-Xileno <sup>(RPP)</sup>	12701	06/09/2022	mg/kg	0,00131	0,01037	< 0,00131
Xilenos <sup>(RPP)</sup>	12701	06/09/2022	mg/kg	0,00409	0,03083	< 0,00409



## INFORME DE ENSAYO: 64537/2022

N° ALS LS						506842/2022-1.0
Fecha de Muestreo						04/09/2022
Hora de Muestreo						17:30:00
Tipo de Muestra						Suelo
Identificación						ABR-H
Parámetro	Ref. Mét.	Fecha de Ensayo	Unidad	LD	LQ	Resultado
<b>007 ENSAYOS DE METALES - Metales TCLP por ICP OES</b>						
Plata (Ag) <sup>(1)(RP)</sup>	13338	09/09/2022	mg/L	0,01	0,10	< 0,01
Arsénico (As) <sup>(1)(RP)</sup>	13338	09/09/2022	mg/L	0,02	0,20	< 0,02
Bario (Ba) <sup>(1)(RP)</sup>	13338	09/09/2022	mg/L	0,005	0,050	0,021
Berilio (Be) <sup>(1)(RP)</sup>	13338	09/09/2022	mg/L	0,0001	0,0010	< 0,0001
Cadmio (Cd) <sup>(1)(RP)</sup>	13338	09/09/2022	mg/L	0,0015	0,0150	< 0,0015
Cromo (Cr) <sup>(1)(RP)</sup>	13338	09/09/2022	mg/L	0,004	0,040	< 0,004
Níquel (Ni) <sup>(1)(RP)</sup>	13338	09/09/2022	mg/L	0,01	0,10	< 0,01
Plomo (Pb) <sup>(1)(RP)</sup>	13338	09/09/2022	mg/L	0,02	0,20	< 0,02
Antimonio (Sb) <sup>(1)(RP)</sup>	13338	09/09/2022	mg/L	0,015	0,150	< 0,015
Selenio (Se) <sup>(1)(RP)</sup>	13338	09/09/2022	mg/L	0,03	0,30	< 0,03
Zinc (Zn) <sup>(1)(RP)</sup>	13338	09/09/2022	mg/L	0,0035	0,0350	15,15

N° ALS LS						506846/2022-1.0
Fecha de Muestreo						04/09/2022
Hora de Muestreo						18:00:00
Tipo de Muestra						Suelo
Identificación						ABR-5
Parámetro	Ref. Mét.	Fecha de Ensayo	Unidad	LD	LQ	Resultado
<b>005 ENSAYOS POR CROMATOGRAFÍA</b>						
Hidrocarburos Totales de Petróleo (C9-C40) <sup>(1)(RP)</sup>	12976	08/09/2022	mg/kg	1,9	13,3	54,6
Fración de Hidrocarburos F1 (C6-C10) <sup>(1)(RP)</sup>	16927	08/09/2022	mg/kg	0,6	1,9	< 0,6
<b>005 ENSAYOS POR CROMATOGRAFÍA - Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos (PAHs)</b>						
Acenafteno <sup>(1)(RP)</sup>	12647	07/09/2022	mg/kg	0,0009	0,0054	< 0,0009
Acenaftileno <sup>(1)(RP)</sup>	12647	07/09/2022	mg/kg	0,0009	0,0054	< 0,0009
Antraceno <sup>(1)(RP)</sup>	12647	07/09/2022	mg/kg	0,0009	0,0054	< 0,0009
Benzo (a) Antraceno <sup>(1)(RP)</sup>	12647	07/09/2022	mg/kg	0,0009	0,0054	< 0,0009
Benzo (a) Pireno <sup>(1)(RP)</sup>	12647	07/09/2022	mg/kg	0,0009	0,0054	< 0,0009
Benzo (b) Fluoranteno <sup>(1)(RP)</sup>	12647	07/09/2022	mg/kg	0,0009	0,0054	< 0,0009
Benzo (g,h,i) Perileno <sup>(1)(RP)</sup>	12647	07/09/2022	mg/kg	0,0006	0,0054	< 0,0006
Benzo (k) Fluoranteno <sup>(1)(RP)</sup>	12647	07/09/2022	mg/kg	0,0009	0,0054	< 0,0009
Criseno <sup>(1)(RP)</sup>	12647	07/09/2022	mg/kg	0,0009	0,0054	< 0,0009
Dibenzo (a,h) Antraceno <sup>(1)(RP)</sup>	12647	07/09/2022	mg/kg	0,0009	0,0054	< 0,0009
Fenantreno <sup>(1)(RP)</sup>	12647	07/09/2022	mg/kg	0,0009	0,0054	< 0,0009
Fluoranteno <sup>(1)(RP)</sup>	12647	07/09/2022	mg/kg	0,0009	0,0054	< 0,0009
Fluoreno <sup>(1)(RP)</sup>	12647	07/09/2022	mg/kg	0,0009	0,0054	< 0,0009
Indeno (1,2,3 cd) Pireno <sup>(1)(RP)</sup>	12647	07/09/2022	mg/kg	0,0009	0,0054	< 0,0009
Naftaleno <sup>(1)(RP)</sup>	12647	07/09/2022	mg/kg	0,0009	0,0054	< 0,0009
Pireno <sup>(1)(RP)</sup>	12647	07/09/2022	mg/kg	0,0009	0,0054	< 0,0009
<b>005 ENSAYOS POR CROMATOGRAFÍA - Hidrocarburos Totales de Petróleo, F2(&gt;C10-C28), F3(&gt;C28-C40)</b>						
Fración de Hidrocarburos F2 (>C10-C28) <sup>(1)(RP)</sup>	18303	08/09/2022	mg/kg	1,0	6,8	22,3
Fración de Hidrocarburos F3 (>C28-C40) <sup>(1)(RP)</sup>	18303	08/09/2022	mg/kg	1,0	6,8	29,0



## INFORME DE ENSAYO: 64537/2022

N° ALS LS						506846/2022-1.0
Fecha de Muestreo						04/09/2022
Hora de Muestreo						18:00:00
Tipo de Muestra						Suelo
Identificación						ABR-S
Parámetro	Ref. Mét.	Fecha de Ensayo	Unidad	LD	LQ	Resultado
<b>005 ENSAYOS POR CROMATOGRAFÍA - VOCs (BTEX)</b>						
Benceno <sup>(MMP)</sup>	12701	06/09/2022	mg/kg	0,00129	0,01032	< 0,00129
Tolueno <sup>(MMP)</sup>	12701	06/09/2022	mg/kg	0,00145	0,01015	< 0,00145
Etilbenceno <sup>(MMP)</sup>	12701	06/09/2022	mg/kg	0,00198	0,00990	< 0,00198
m-Xileno <sup>(MMP)</sup>	12701	06/09/2022	mg/kg	0,00110	0,00990	< 0,00110
p-Xileno <sup>(MMP)</sup>	12701	06/09/2022	mg/kg	0,00148	0,01036	< 0,00148
o-Xileno <sup>(MMP)</sup>	12701	06/09/2022	mg/kg	0,00151	0,01057	< 0,00151
Xilenos <sup>(MMP)</sup>	12701	06/09/2022	mg/kg	0,00409	0,03083	< 0,00409
<b>007 ENSAYOS DE METALES - Metales TCLP por ICP OES</b>						
Plata (Ag) <sup>(MMP)</sup>	13338	09/09/2022	mg/L	0,01	0,10	< 0,01
Arsénico (As) <sup>(MMP)</sup>	13338	09/09/2022	mg/L	0,02	0,20	< 0,02
Bario (Ba) <sup>(MMP)</sup>	13338	09/09/2022	mg/L	0,005	0,050	0,393
Berilio (Be) <sup>(MMP)</sup>	13338	09/09/2022	mg/L	0,0001	0,0010	< 0,0001
Cadmio (Cd) <sup>(MMP)</sup>	13338	09/09/2022	mg/L	0,0015	0,0150	< 0,0015
Cromo (Cr) <sup>(MMP)</sup>	13338	09/09/2022	mg/L	0,004	0,040	< 0,004
Níquel (Ni) <sup>(MMP)</sup>	13338	09/09/2022	mg/L	0,01	0,10	< 0,01
Plomo (Pb) <sup>(MMP)</sup>	13338	09/09/2022	mg/L	0,02	0,20	< 0,02
Antimonio (Sb) <sup>(MMP)</sup>	13338	09/09/2022	mg/L	0,015	0,150	< 0,015
Selenio (Se) <sup>(MMP)</sup>	13338	09/09/2022	mg/L	0,03	0,30	< 0,03
Zinc (Zn) <sup>(MMP)</sup>	13338	09/09/2022	mg/L	0,0035	0,0350	39,97

### Muestras del ítem: 21

N° ALS LS						506837/2022-2.0
Fecha de Muestreo						04/09/2022
Hora de Muestreo						17:00:00
Tipo de Muestra						Suelo
Identificación						AGR-G
Parámetro	Ref. Mét.	Fecha de Ensayo	Unidad	LD	LQ	Resultado
<b>007 ENSAYOS DE METALES</b>						
Mercurio Total (Hg) <sup>(MMP)</sup>	13312	09/09/2022	mg/kg	0,01	0,02	0,02
<b>007 ENSAYOS DE METALES - Metales por ICP OES</b>						
Plata (Ag) <sup>(MMP)</sup>	24028	09/09/2022	mg/kg	0,9	1,7	< 0,9
Aluminio (Al) <sup>(MMP)</sup>	24028	09/09/2022	mg/kg	3,0	10,0	10731
Arsénico (As) <sup>(MMP)</sup>	24028	09/09/2022	mg/kg	3,6	5,5	< 3,6
Boro (B) <sup>(MMP)</sup>	24028	09/09/2022	mg/kg	4,0	15,5	< 4,0
Bario (Ba) <sup>(MMP)</sup>	24028	09/09/2022	mg/kg	0,3	1,0	74,0
Berilio (Be) <sup>(MMP)</sup>	24028	09/09/2022	mg/kg	1,0	2,0	< 1,0
Bismuto (Bi) <sup>(MMP)</sup>	24028	09/09/2022	mg/kg	2,0	10,0	< 2,0
Calcio (Ca) <sup>(MMP)</sup>	24028	09/09/2022	mg/kg	1,5	2,5	76738
Cadmio (Cd) <sup>(MMP)</sup>	24028	09/09/2022	mg/kg	0,3	0,5	< 0,3
Cobalto (Co) <sup>(MMP)</sup>	24028	09/09/2022	mg/kg	1,0	2,0	7,0
Cromo (Cr) <sup>(MMP)</sup>	24028	09/09/2022	mg/kg	1,0	2,0	12,9
Cobre (Cu) <sup>(MMP)</sup>	24028	09/09/2022	mg/kg	0,8	2,5	47,6
Hierro (Fe) <sup>(MMP)</sup>	24028	09/09/2022	mg/kg	2,5	6,0	21685
Potasio (K) <sup>(MMP)</sup>	24028	09/09/2022	mg/kg	3,5	10,0	1722



## INFORME DE ENSAYO: 64537/2022

N° ALS LS						506837/2022-2.0
Fecha de Muestreo						04/09/2022
Hora de Muestreo						17:00:00
Tipo de Muestra						Suelo
Identificación						AGR-G
Parámetro	Ref. Mét.	Fecha de Ensayo	Unidad	LD	LQ	Resultado
Litio (Li) <sup>(RMP)</sup>	24028	09/09/2022	mg/kg	3,5	6,0	< 3,5
Magnesio (Mg) <sup>(RMP)</sup>	24028	09/09/2022	mg/kg	3,0	17,0	5909
Manganeso (Mn) <sup>(RMP)</sup>	24028	09/09/2022	mg/kg	2,0	10,0	340,6
Molibdeno (Mo) <sup>(RMP)</sup>	24028	09/09/2022	mg/kg	0,6	3,0	< 0,6
Sodio (Na) <sup>(RMP)</sup>	24028	09/09/2022	mg/kg	12,0	20,0	2538
Níquel (Ni) <sup>(RMP)</sup>	24028	09/09/2022	mg/kg	1,0	2,0	8,0
Fósforo (P) <sup>(RMP)</sup>	24028	09/09/2022	mg/kg	5,5	30,0	496,6
Plomo (Pb) <sup>(RMP)</sup>	24028	09/09/2022	mg/kg	3,0	5,0	21,3
Antimonio (Sb) <sup>(RMP)</sup>	24028	09/09/2022	mg/kg	4,0	10,0	< 4,0
Selenio (Se) <sup>(RMP)</sup>	24028	09/09/2022	mg/kg	2,2	10,0	< 2,2
Estaño (Sn) <sup>(RMP)</sup>	24028	09/09/2022	mg/kg	4,0	10,0	< 4,0
Estroncio (Sr) <sup>(RMP)</sup>	24028	09/09/2022	mg/kg	0,7	2,0	147,2
Titanio (Ti) <sup>(RMP)</sup>	24028	09/09/2022	mg/kg	0,4	1,0	720,4
Taño (Tl) <sup>(RMP)</sup>	24028	09/09/2022	mg/kg	4,0	9,0	< 4,0
Vanadio (V) <sup>(RMP)</sup>	24028	09/09/2022	mg/kg	0,7	2,0	48,8
Zinc (Zn) <sup>(RMP)</sup>	24028	09/09/2022	mg/kg	0,6	2,0	108,2

N° ALS LS						506838/2022-2.0
Fecha de Muestreo						04/09/2022
Hora de Muestreo						17:15:00
Tipo de Muestra						Suelo
Identificación						AGR-F
Parámetro	Ref. Mét.	Fecha de Ensayo	Unidad	LD	LQ	Resultado
<b>007 ENSAYOS DE METALES</b>						
Mercurio Total (Hg) <sup>(RMP)</sup>	13312	09/09/2022	mg/kg	0,01	0,02	0,02
<b>007 ENSAYOS DE METALES - Metales por ICP OES</b>						
Plata (Ag) <sup>(RMP)</sup>	24028	09/09/2022	mg/kg	0,9	1,7	< 0,9
Aluminio (Al) <sup>(RMP)</sup>	24028	09/09/2022	mg/kg	3,0	10,0	11465
Arsénico (As) <sup>(RMP)</sup>	24028	09/09/2022	mg/kg	3,6	5,5	< 3,6
Boro (B) <sup>(RMP)</sup>	24028	09/09/2022	mg/kg	4,0	15,5	13,9
Bario (Ba) <sup>(RMP)</sup>	24028	09/09/2022	mg/kg	0,3	1,0	99,3
Berilio (Be) <sup>(RMP)</sup>	24028	09/09/2022	mg/kg	1,0	2,0	< 1,0
Bismuto (Bi) <sup>(RMP)</sup>	24028	09/09/2022	mg/kg	2,0	10,0	< 2,0
Calcio (Ca) <sup>(RMP)</sup>	24028	09/09/2022	mg/kg	1,5	2,5	52044
Cadmio (Cd) <sup>(RMP)</sup>	24028	09/09/2022	mg/kg	0,3	0,5	< 0,3
Cobalto (Co) <sup>(RMP)</sup>	24028	09/09/2022	mg/kg	1,0	2,0	7,0
Cromo (Cr) <sup>(RMP)</sup>	24028	09/09/2022	mg/kg	1,0	2,0	32,8
Cobre (Cu) <sup>(RMP)</sup>	24028	09/09/2022	mg/kg	0,8	2,5	54,3
Hierro (Fe) <sup>(RMP)</sup>	24028	09/09/2022	mg/kg	2,5	6,0	23295
Potasio (K) <sup>(RMP)</sup>	24028	09/09/2022	mg/kg	3,5	10,0	2169
Litio (Li) <sup>(RMP)</sup>	24028	09/09/2022	mg/kg	3,5	6,0	11,0
Magnesio (Mg) <sup>(RMP)</sup>	24028	09/09/2022	mg/kg	3,0	17,0	6208
Manganeso (Mn) <sup>(RMP)</sup>	24028	09/09/2022	mg/kg	2,0	10,0	377,9
Molibdeno (Mo) <sup>(RMP)</sup>	24028	09/09/2022	mg/kg	0,6	3,0	< 0,6
Sodio (Na) <sup>(RMP)</sup>	24028	09/09/2022	mg/kg	12,0	20,0	3739
Níquel (Ni) <sup>(RMP)</sup>	24028	09/09/2022	mg/kg	1,0	2,0	17,9



## INFORME DE ENSAYO: 64537/2022

N° ALS LS						506838/2022-2.0
Fecha de Muestreo						04/09/2022
Hora de Muestreo						17:15:00
Tipo de Muestra						Suelo
Identificación						AGR-F
Parámetro	Ref. Mét.	Fecha de Ensayo	Unidad	LD	LQ	Resultado
Fósforo (P) <sup>(ICRP)</sup>	24028	09/09/2022	mg/kg	3,3	30,0	666,8
Piomo (Pb) <sup>(ICRP)</sup>	24028	09/09/2022	mg/kg	3,0	3,0	14,7
Antimonio (Sb) <sup>(ICRP)</sup>	24028	09/09/2022	mg/kg	4,0	10,0	< 4,0
Selenio (Se) <sup>(ICRP)</sup>	24028	09/09/2022	mg/kg	2,2	10,0	< 2,2
Estaño (Sn) <sup>(ICRP)</sup>	24028	09/09/2022	mg/kg	4,0	10,0	< 4,0
Estroncio (Sr) <sup>(ICRP)</sup>	24028	09/09/2022	mg/kg	0,7	2,0	131,1
Titanio (Ti) <sup>(ICRP)</sup>	24028	09/09/2022	mg/kg	0,4	1,0	641,5
Talio (Tl) <sup>(ICRP)</sup>	24028	09/09/2022	mg/kg	4,0	9,0	< 4,0
Vanadio (V) <sup>(ICRP)</sup>	24028	09/09/2022	mg/kg	0,7	2,0	65,0
Zinc (Zn) <sup>(ICRP)</sup>	24028	09/09/2022	mg/kg	0,6	2,0	124,6

N° ALS LS						506842/2022-2.0
Fecha de Muestreo						04/09/2022
Hora de Muestreo						17:30:00
Tipo de Muestra						Suelo
Identificación						ABR-H
Parámetro	Ref. Mét.	Fecha de Ensayo	Unidad	LD	LQ	Resultado
<b>007 ENSAYOS DE METALES</b>						
Mercurio Total (Hg) <sup>(ICRP)</sup>	13312	09/09/2022	mg/kg	0,01	0,02	< 0,01
<b>007 ENSAYOS DE METALES - Metales por ICP OES</b>						
Plata (Ag) <sup>(ICRP)</sup>	24028	09/09/2022	mg/kg	0,9	1,7	< 0,9
Aluminio (Al) <sup>(ICRP)</sup>	24028	09/09/2022	mg/kg	3,0	10,0	1083
Arsénico (As) <sup>(ICRP)</sup>	24028	09/09/2022	mg/kg	3,6	3,3	< 3,6
Boro (B) <sup>(ICRP)</sup>	24028	09/09/2022	mg/kg	4,0	15,5	< 4,0
Bario (Ba) <sup>(ICRP)</sup>	24028	09/09/2022	mg/kg	0,3	1,0	3,6
Berilio (Be) <sup>(ICRP)</sup>	24028	09/09/2022	mg/kg	1,0	2,0	< 1,0
Bismuto (Bi) <sup>(ICRP)</sup>	24028	09/09/2022	mg/kg	2,0	10,0	< 2,0
Calcio (Ca) <sup>(ICRP)</sup>	24028	09/09/2022	mg/kg	1,5	2,3	2071
Cadmio (Cd) <sup>(ICRP)</sup>	24028	09/09/2022	mg/kg	0,3	0,3	< 0,3
Cobalto (Co) <sup>(ICRP)</sup>	24028	09/09/2022	mg/kg	1,0	2,0	< 1,0
Cromo (Cr) <sup>(ICRP)</sup>	24028	09/09/2022	mg/kg	1,0	2,0	7,0
Cobre (Cu) <sup>(ICRP)</sup>	24028	09/09/2022	mg/kg	0,8	2,3	7,8
Hierro (Fe) <sup>(ICRP)</sup>	24028	09/09/2022	mg/kg	2,3	6,0	4683
Potasio (K) <sup>(ICRP)</sup>	24028	09/09/2022	mg/kg	3,3	10,0	60,6
Litio (Li) <sup>(ICRP)</sup>	24028	09/09/2022	mg/kg	3,3	6,0	< 3,3
Magnesio (Mg) <sup>(ICRP)</sup>	24028	09/09/2022	mg/kg	3,0	17,0	535,3
Manganeso (Mn) <sup>(ICRP)</sup>	24028	09/09/2022	mg/kg	2,0	10,0	131,7
Molibdeno (Mo) <sup>(ICRP)</sup>	24028	09/09/2022	mg/kg	0,6	3,0	< 0,6
Sodio (Na) <sup>(ICRP)</sup>	24028	09/09/2022	mg/kg	12,0	20,0	78,4
Níquel (Ni) <sup>(ICRP)</sup>	24028	09/09/2022	mg/kg	1,0	2,0	< 1,0
Fósforo (P) <sup>(ICRP)</sup>	24028	09/09/2022	mg/kg	3,3	30,0	221,9
Piomo (Pb) <sup>(ICRP)</sup>	24028	09/09/2022	mg/kg	3,0	3,0	< 3,0
Antimonio (Sb) <sup>(ICRP)</sup>	24028	09/09/2022	mg/kg	4,0	10,0	< 4,0
Selenio (Se) <sup>(ICRP)</sup>	24028	09/09/2022	mg/kg	2,2	10,0	< 2,2
Estaño (Sn) <sup>(ICRP)</sup>	24028	09/09/2022	mg/kg	4,0	10,0	< 4,0
Estroncio (Sr) <sup>(ICRP)</sup>	24028	09/09/2022	mg/kg	0,7	2,0	10,7



## INFORME DE ENSAYO: 64537/2022

N° ALS LS						506842/2022-2.0
Fecha de Muestreo						04/09/2022
Hora de Muestreo						17:30:00
Tipo de Muestra						Suelo
Identificación						ABR-H
Parámetro	Ref. Mét.	Fecha de Ensayo	Unidad	LD	LQ	Resultado
Titanio (Ti) <sup>(RFP)</sup>	24028	09/09/2022	mg/kg	0,4	1,0	107,6
Talio (Tl) <sup>(RFP)</sup>	24028	09/09/2022	mg/kg	4,0	9,0	< 4,0
Vanadio (V) <sup>(RFP)</sup>	24028	09/09/2022	mg/kg	0,7	2,0	3,9
Zinc (Zn) <sup>(RFP)</sup>	24028	09/09/2022	mg/kg	0,6	2,0	752,5

N° ALS LS						506846/2022-2.0
Fecha de Muestreo						04/09/2022
Hora de Muestreo						18:00:00
Tipo de Muestra						Suelo
Identificación						ABR-S
Parámetro	Ref. Mét.	Fecha de Ensayo	Unidad	LD	LQ	Resultado
<b>D07 ENSAYOS DE METALES</b>						
Mercurio Total (Hg) <sup>(RFP)</sup>	13312	09/09/2022	mg/kg	0,01	0,02	< 0,01
<b>D07 ENSAYOS DE METALES - Metales por ICP OES</b>						
Plata (Ag) <sup>(RFP)</sup>	24028	09/09/2022	mg/kg	0,9	1,7	< 0,9
Aluminio (Al) <sup>(RFP)</sup>	24028	09/09/2022	mg/kg	3,0	10,0	1339
Arsénico (As) <sup>(RFP)</sup>	24028	09/09/2022	mg/kg	3,6	5,5	< 3,6
Boro (B) <sup>(RFP)</sup>	24028	09/09/2022	mg/kg	4,0	15,5	< 4,0
Bario (Ba) <sup>(RFP)</sup>	24028	09/09/2022	mg/kg	0,3	1,0	70,3
Berilio (Be) <sup>(RFP)</sup>	24028	09/09/2022	mg/kg	1,0	2,0	< 1,0
Bismuto (Bi) <sup>(RFP)</sup>	24028	09/09/2022	mg/kg	2,0	10,0	< 2,0
Calcio (Ca) <sup>(RFP)</sup>	24028	09/09/2022	mg/kg	1,5	2,5	1074
Cadmio (Cd) <sup>(RFP)</sup>	24028	09/09/2022	mg/kg	0,3	0,5	< 0,3
Cobalto (Co) <sup>(RFP)</sup>	24028	09/09/2022	mg/kg	1,0	2,0	< 1,0
Cromo (Cr) <sup>(RFP)</sup>	24028	09/09/2022	mg/kg	1,0	2,0	8,9
Cobre (Cu) <sup>(RFP)</sup>	24028	09/09/2022	mg/kg	0,8	2,5	10,9
Hierro (Fe) <sup>(RFP)</sup>	24028	09/09/2022	mg/kg	2,5	6,0	6183
Potasio (K) <sup>(RFP)</sup>	24028	09/09/2022	mg/kg	3,5	10,0	30,2
Litio (Li) <sup>(RFP)</sup>	24028	09/09/2022	mg/kg	3,5	6,0	< 3,5
Magnesio (Mg) <sup>(RFP)</sup>	24028	09/09/2022	mg/kg	3,0	17,0	374,0
Manganeso (Mn) <sup>(RFP)</sup>	24028	09/09/2022	mg/kg	2,0	10,0	171,9
Molibdeno (Mo) <sup>(RFP)</sup>	24028	09/09/2022	mg/kg	0,6	3,0	< 0,6
Sodio (Na) <sup>(RFP)</sup>	24028	09/09/2022	mg/kg	12,0	20,0	45,7
Níquel (Ni) <sup>(RFP)</sup>	24028	09/09/2022	mg/kg	1,0	2,0	3,0
Fósforo (P) <sup>(RFP)</sup>	24028	09/09/2022	mg/kg	5,5	30,0	170,5
Plomo (Pb) <sup>(RFP)</sup>	24028	09/09/2022	mg/kg	3,0	5,0	< 3,0
Antimonio (Sb) <sup>(RFP)</sup>	24028	09/09/2022	mg/kg	4,0	10,0	< 4,0
Selenio (Se) <sup>(RFP)</sup>	24028	09/09/2022	mg/kg	2,2	10,0	< 2,2
Estaño (Sn) <sup>(RFP)</sup>	24028	09/09/2022	mg/kg	4,0	10,0	< 4,0
Estroncio (Sr) <sup>(RFP)</sup>	24028	09/09/2022	mg/kg	0,7	2,0	7,0
Titanio (Ti) <sup>(RFP)</sup>	24028	09/09/2022	mg/kg	0,4	1,0	105,7
Talio (Tl) <sup>(RFP)</sup>	24028	09/09/2022	mg/kg	4,0	9,0	< 4,0
Vanadio (V) <sup>(RFP)</sup>	24028	09/09/2022	mg/kg	0,7	2,0	4,4
Zinc (Zn) <sup>(RFP)</sup>	24028	09/09/2022	mg/kg	0,6	2,0	2191



## INFORME DE ENSAYO: 64537/2022

### Observaciones

- (0) Los resultados obtenidos corresponden a métodos que han sido acreditados por el INACAL - DA.
- (\*) Los resultados obtenidos corresponden a métodos que no han sido acreditados por el INACAL - DA.
- (p) Los resultados obtenidos corresponden a métodos que no han sido acreditados por AZLA.
- LD: Límite de detección.
- LQ: Límite de cuantificación.
- Los resultados que se encuentren por debajo del Límite de Cuantificación, no aplican para comparativos de consistencia.
- Las fechas de ejecución del análisis para los ensayos en campo realizados por ALS LS Perú S.A.C., se refiere a las fechas indicadas como fecha de muestreo. No Aplica para datos proporcionados por el cliente.
- Ref. Mét.: Código interno que referencia a la metodología de análisis.
- Para el caso de AZLA la palabra validado incluye el termino modificado.
- Los resultados de suelos, lodos y sedimentos se expresan en base seca.

### DESCRIPCION Y UBICACION GEOGRAFICA DE LAS ESTACIONES DE MONITOREO

Estación de Muestreo	Resp.del Muestreo	Tipo de Muestra	Fecha de Recepción	Fecha de Muestreo	Ubicación Geográfica UTM WGS84	Zona	Condición de la muestra	Descripción de la Estación de Muestreo
AGR-F	Ciente	Suelo	06/09/2022	04/09/2022	---	---	Proporcionado por el cliente	Reservado por el cliente
ABR-H	Ciente	Suelo	06/09/2022	04/09/2022	---	---	Proporcionado por el cliente	Reservado por el cliente
ABR-S	Ciente	Suelo	06/09/2022	04/09/2022	---	---	Proporcionado por el cliente	Reservado por el cliente
AGR-G	Ciente	Suelo	06/09/2022	04/09/2022	---	---	Proporcionado por el cliente	Reservado por el cliente
AGR-F	Ciente	Suelo	06/09/2022	04/09/2022	---	---	Proporcionado por el cliente	Reservado por el cliente
ABR-H	Ciente	Suelo	06/09/2022	04/09/2022	---	---	Proporcionado por el cliente	Reservado por el cliente
ABR-S	Ciente	Suelo	06/09/2022	04/09/2022	---	---	Proporcionado por el cliente	Reservado por el cliente

### REFERENCIA DE LOS METODOS DE ENSAYO

- (0) Los resultados obtenidos corresponden a métodos que han sido acreditados por el INACAL - DA.  
(\*) Los resultados obtenidos corresponden a métodos que no han sido acreditados por el INACAL - DA.  
(p) Los resultados obtenidos corresponden a métodos que no han sido acreditados por AZLA.

Ref. Mét.	Sede	Ensayo	Método de Referencia	Descripción
12647	LME	Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos (PAHs) <sup>(H)(p)</sup>	EPA Method 8270 E Rev. 6 June 2018	Semivolatile Organic Compounds by Gas Chromatography / Mass Spectrometry (GC/MS)
12976	LME	Hidrocarburos Totales de Petróleo (C9-C40) <sup>(H)(p)</sup>	EPA METHOD 8015 C Rev. 03 February 2007	Nonhalogenated Organics by Gas Chromatography
16927	LME	Hidrocarburos Totales de Petróleo (F1, C6-C10) <sup>(H)(p)</sup>	EPA METHOD 8015 C, Rev. 3 2007	Nonhalogenated Organics by Gas Chromatography
18303	LME	Hidrocarburos Totales de Petróleo, F2(>C10-C28), F3(>C28-C40) <sup>(H)(p)</sup>	EPA METHOD 8015 C Rev. 03 February 2007	Nonhalogenated Organics by Gas Chromatography
13312	LME	Mercurio Total <sup>(H)(p)</sup>	EPA 7471 B, Rev 2, February 2007	Mercury in solid or semisolid waste (Manual Cold-Vapor technique)
24028	LME	Metales por ICP OES <sup>(H)(p)</sup>	EPA 3050 B, Rev. 2 December / EPA 6010 D Rev. 3 July (Validado Modificado, 2022)	Acid Digestion of Sediments, sludges and soils / Inductively Coupled Plasma - Atomic Emission Spectrometry
13338	LME	Metales TCLP por ICP OES <sup>(H)(p)</sup>	EPA Method 1311 Rev 0, 1992	Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometry



## INFORME DE ENSAYO: 64537/2022

Ref. Mét.	Sede	Ensayo	Método de Referencia	Descripción
12701	LME	VOCs (BTEX) (H/P)	EPA Method 8260 D, Rev. 4, June, 2018	Volatile Organic Compounds By Gas Chromatography/Mass Spectrometry

### CÓDIGOS DE AUTENTICIDAD DEL INFORME DE ENSAYO

ALS LS Perú S.A.C. asegura a sus clientes una completa autenticidad del Informe de Ensayo 64537/2022, para que este informe pueda ser verificado en su totalidad. Para comprobar la autenticidad de los mismos en la base de datos de ALS LS Perú S.A.C., visitar el sitio Web [www.alsglobal.com](http://www.alsglobal.com) e introducir los siguientes códigos de autenticidad que se detallan a continuación:

Estación de Muestreo	N° ALS LS	Código único de Autenticidad
AGR-F	506838/2022-1.0	lnuluqu8.5838605
ABR-H	506842/2022-1.0	mnuluqu8.5248605
ABR-S	506846/2022-1.0	nnuluqu8.5648605
AGR-G	506837/2022-2.0	nppmsru8.5738605
AGR-F	506838/2022-2.0	tppmzru8.5838605

Estación de Muestreo	N° ALS LS	Código único de Autenticidad
ABR-H	506842/2022-2.0	lqpmzru8.5248605
ABR-S	506846/2022-2.0	mopmsru8.5648605

ALS LS Perú S.A.C. asegurando la marca y prestigio de su empresa.

### COMENTARIOS

LME: Av. Argentina 1859 - Cercado - Lima.

\*EPA\*: U.S. Environmental Protection Agency.

\*SM\*: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater.

\*ASTM\*: American Society for Testing and Materials.

\*ISO\*: International Organization for Standardization.

El presente documento es redactado íntegramente en ALS LS Perú S.A.C., su alteración o su uso indebido constituye delito contra la fe pública y se regula por las disposiciones civiles y penales de la materia, queda prohibida la reproducción parcial del presente informe, salvo autorización escrita de ALS LS Perú S.A.C.; sólo es válido para las muestras referidas en el presente informe.

El lote de muestras que incluye el presente informe será descartado a los 30 días calendario de haber ingresado la muestra al laboratorio.

Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

ALS LS Perú S.A.C. deslinda responsabilidad de la información proporcionada por el cliente.

Si ALS LS Perú S.A.C. no realizó el muestreo, los resultados se aplicaran a la muestra tal como se recibió.



FDT 002 - 01

## INFORME DE ENSAYO: 67435/2022

Emitido por: Karin Zelada Trigoso

Fecha de Emisión: 11/10/2022

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Karin Zelada Trigoso'.

Karin Zelada Trigoso

CQP: 830

Personal Signatario - Químico

División - Medio Ambiente

Pág. 1 de 4

Revisión: 02  
Fecha de Revisión: 23/07/2020

Av. República de Argentina N° 1859, Cercado de Lima - Perú Telf: (511) 488-9500  
Av. Dolores 167, José Luis Bustamante y Rivero, Arequipa - Perú Telf: (054) 424-570  
[www.alsglobal.com](http://www.alsglobal.com)



## INFORME DE ENSAYO: 67435/2022

### RESULTADOS ANALITICOS

Muestras del ítem: 21

Parámetro	Ref. Mét.	Fecha de Ensayo	Unidad	LD	LQ	Resultado
N° ALS LS 506837/2022-1.1 Fecha de Muestreo 04/09/2022 Hora de Muestreo 17:00:00 Tipo de Muestra Suelo Identificación AGR-G						
<b>005 ENSAYOS POR CROMATOGRAFÍA</b>						
Hidrocarburos Totales de Petróleo (C9-C40)	12976	01/10/2022	mg/kg	1,9	13,3	30,1
Fracción de Hidrocarburos F1 (C6-C10)	16927	01/10/2022	mg/kg	0,6	1,9	< 0,6
<b>005 ENSAYOS POR CROMATOGRAFÍA - Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos (PAHs)</b>						
Acenafteño	12647	30/09/2022	mg/kg	0,0009	0,0054	< 0,0009
Acenafileno	12647	30/09/2022	mg/kg	0,0009	0,0054	< 0,0009
Antraceno	12647	30/09/2022	mg/kg	0,0009	0,0054	< 0,0009
Benzo (a) Antraceno	12647	30/09/2022	mg/kg	0,0009	0,0054	< 0,0009
Benzo (a) Pireno	12647	30/09/2022	mg/kg	0,0009	0,0054	< 0,0009
Benzo (b) Fluoranteno	12647	30/09/2022	mg/kg	0,0009	0,0054	< 0,0009
Benzo (g,h,i) Perileno	12647	30/09/2022	mg/kg	0,0006	0,0054	< 0,0006
Benzo (k) Fluoranteno	12647	30/09/2022	mg/kg	0,0009	0,0054	< 0,0009
Crizeno	12647	30/09/2022	mg/kg	0,0009	0,0054	< 0,0009
Dibenzo (a,h) Antraceno	12647	30/09/2022	mg/kg	0,0009	0,0054	< 0,0009
Fenantreno	12647	30/09/2022	mg/kg	0,0009	0,0054	< 0,0009
Fluoranteno	12647	30/09/2022	mg/kg	0,0009	0,0054	< 0,0009
Fluoreno	12647	30/09/2022	mg/kg	0,0009	0,0054	< 0,0009
Indeno (1,2,3 cd) Pireno	12647	30/09/2022	mg/kg	0,0009	0,0054	< 0,0009
Naftaleno	12647	30/09/2022	mg/kg	0,0009	0,0054	0,0146
Pireno	12647	30/09/2022	mg/kg	0,0009	0,0054	< 0,0009
<b>005 ENSAYOS POR CROMATOGRAFÍA - Hidrocarburos Totales de Petróleo, F2(&gt;C10-C28), F3(&gt;C28-C40)</b>						
Fracción de Hidrocarburos F2 (>C10-C28)	18303	01/10/2022	mg/kg	1,0	6,8	11,3
Fracción de Hidrocarburos F3 (>C28-C40)	18303	01/10/2022	mg/kg	1,0	6,8	18,1
<b>005 ENSAYOS POR CROMATOGRAFÍA - VOCs (BTEX)</b>						
Benceno	12701	29/09/2022	mg/kg	0,00129	0,01032	< 0,00129
Tolueno	12701	29/09/2022	mg/kg	0,00145	0,01015	< 0,00145
Etilbenceno	12701	29/09/2022	mg/kg	0,00198	0,00990	< 0,00198
m-Xileno	12701	29/09/2022	mg/kg	0,00110	0,00990	< 0,00110
p-Xileno	12701	29/09/2022	mg/kg	0,00148	0,01036	< 0,00148
o-Xileno	12701	29/09/2022	mg/kg	0,00151	0,01057	< 0,00151
Xilenos	12701	29/09/2022	mg/kg	0,00409	0,03083	< 0,00409
<b>007 ENSAYOS DE METALES - Metales TCLP por ICP OES</b>						
Plata (Ag)	13338	09/09/2022	mg/L	0,01	0,10	< 0,01
Arsénico (As)	13338	09/09/2022	mg/L	0,02	0,20	< 0,02
Bario (Ba)	13338	09/09/2022	mg/L	0,005	0,050	0,265
Berilio (Be)	13338	09/09/2022	mg/L	0,0001	0,0010	< 0,0001
Cadmio (Cd)	13338	09/09/2022	mg/L	0,0015	0,0150	< 0,0015
Cromo (Cr)	13338	09/09/2022	mg/L	0,004	0,040	0,040
Níquel (Ni)	13338	09/09/2022	mg/L	0,01	0,10	< 0,01
Plomo (Pb)	13338	09/09/2022	mg/L	0,02	0,20	< 0,02
Antimonio (Sb)	13338	09/09/2022	mg/L	0,015	0,150	< 0,015
Selenio (Se)	13338	09/09/2022	mg/L	0,03	0,30	< 0,03
Zinc (Zn)	13338	09/09/2022	mg/L	0,0035	0,0350	0,360



## INFORME DE ENSAYO: 67435/2022

### Observaciones

- LD: Límite de detección.
- LQ: Límite de cuantificación.
- Los resultados que se encuentren por debajo del Límite de Cuantificación, no aplican para comparativos de consistencia.
- Las fechas de ejecución del análisis para los ensayos en campo realizados por ALS LS Perú S.A.C., se refiere a las fechas indicadas como fecha de muestreo. No Aplica para datos proporcionados por el cliente.
- Ref. Mét.: Código interno que referencia a la metodología de análisis.
- Los resultados de suelos, Lodos y sedimentos se expresan en base seca.

### DESCRIPCION Y UBICACION GEOGRAFICA DE LAS ESTACIONES DE MONITOREO

Estación de Muestreo	Resp.del Muestreo	Tipo de Muestra	Fecha de Recepción	Fecha de Muestreo	Ubicación Geográfica UTM WGS84	Zona	Condición de la muestra	Descripción de la Estación de Muestreo
AGR-G	Cliente	Suelo	06/09/2022	04/09/2022	---	---	Proporcionado por el cliente	Reservado por el cliente

### REFERENCIA DE LOS METODOS DE ENSAYO

Ref. Mét.	Sede	Ensayo	Método de Referencia	Descripción
12647	LME	Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos (PAHs)	EPA Method 8270 E Rev. 6 June 2018	Semivolatile Organic Compounds by Gas Chromatography / Mass Spectrometry (GC/MS)
12976	LME	Hidrocarburos Totales de Petróleo (C9-C40)	EPA METHOD 8015 C Rev. 03 February 2007	Nonhalogenated Organics by Gas Chromatography
16927	LME	Hidrocarburos Totales de Petróleo (F1, C6-C10)	EPA METHOD 8015 C, Rev. 3 2007	Nonhalogenated Organics by Gas Chromatography
18303	LME	Hidrocarburos Totales de Petróleo, F2(>C10-C28), F3(>C28-C40)	EPA METHOD 8015 C Rev. 03 February 2007	Nonhalogenated Organics by Gas Chromatography
13338	LME	Metales TCLP por ICP OES	EPA Method 1311 Rev 0, 1992	Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometry
12701	LME	VOCs (BTEX)	EPA Method 8260 D, Rev. 4, June 2018	Volatile Organic Compounds By Gas Chromatography/Mass Spectrometry

### CÓDIGOS DE AUTENTICIDAD DEL INFORME DE ENSAYO

ALS LS Perú S.A.C. asegura a sus clientes una completa autenticidad del Informe de Ensayo 67435/2022, para que este informe pueda ser verificado en su totalidad. Para comprobar la autenticidad de los mismos en la base de datos de ALS LS Perú S.A.C., visitar el sitio Web [www.alsglobal.com](http://www.alsglobal.com) e introducir los siguientes códigos de autenticidad que se detallan a continuación:

Estación de Muestreo	Nº ALS LS	Código único de Autenticidad
AGR-G	306837/2022-1.1	pgontru8.738605

ALS LS Perú S.A.C. asegurando la marca y prestigio de su empresa.

### COMENTARIOS

LME: Av. Argentina 1859 - Cercado - Lima.

\*EPA\*: U.S. Environmental Protection Agency.

\*SM\*: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater.

\*ASTM\*: American Society for Testing and Materials.

\*ISO\*: International Organization for Standardization.

El presente documento es redactado íntegramente en ALS LS Perú S.A.C., su alteración o su uso indebido constituye delito contra la fe pública y se regula por las disposiciones civiles y penales de la materia, queda prohibida la reproducción parcial del presente informe, salvo autorización escrita de ALS LS Perú S.A.C.; sólo es válido para las muestras referidas en el presente informe.

El lote de muestras que incluye el presente informe será descartado a los 30 días calendario de haber ingresado la muestra al laboratorio.



FDT 002 - 02

## INFORME DE ENSAYO: 67435/2022

Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

ALS LS Perú S.A.C. deslinda responsabilidad de la información proporcionada por el cliente.

Si ALS LS Perú S.A.C. no realizó el muestreo, los resultados se aplicaran a la muestra tal como se recibió.

Pág. 4 de 4

Revisión: 02  
Fecha de Revisión: 23/07/2020

Av. República de Argentina N° 1859, Cercado de Lima - Perú Telf: (511) 488-9500  
Av. Dolores 167, José Luis Bustamante y Rivero, Arequipa - Perú Telf: (054) 424-570  
[www.alsglobal.com](http://www.alsglobal.com)

# ANEXO 11: Informes de ensayo de residuos de abrasivos - Laboratorio N°1 de Ensayo de Materiales



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA**  
**Facultad de Ingeniería Civil**

**LABORATORIO N° 1 DE ENSAYO DE MATERIALES "ING. MANUEL GONZÁLES DE LA COTERA"**

Carrera de Ingeniería Civil Acreditada por



Engineering  
Technology  
Accreditation  
Commission

## INFORME

Del : Laboratorio N°1 Ensayo de Materiales  
 A : ESTRELLA DE BELEN PINTO PAREJA  
 Obra : PLANTA DE LICUEFACCIÓN DE GAS NATURAL  
 Ubicación : SAN VICENTE DE CAÑETE  
 Asunto : Ensayo de Granulometría en Agregados  
 Expediente N° : 22-1030-2  
 Recibo N° : 77522  
 Fecha de emisión : 25/05/2022

1. DE LA MUESTRA : GARNET USADO (TÉCNICA DE CHORRO ABRASIVO SECO), de la marca GMA BLAST.  
 2. MÉTODO DEL ENSAYO : Norma de referencia NTP 400.012.2021.  
 Procedimiento interno AT-PR-24.

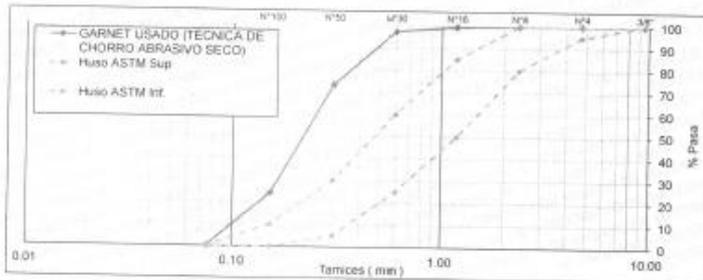
### 3. RESULTADOS

#### 3.1. ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO

TAMIZ		%RET	%RET ACUM.	% PASA	% PASA ASTM C 33 HUSO AGR. FINO
(Pulg)	(mm)				
3/8"	9.50	0.0	0.0	100.0	100
N°4	4.75	0.0	0.0	100.0	95 - 100
N°8	2.36	0.1	0.1	100.0	80 - 100
N°16	1.18	0.5	0.6	99.5	50 - 85
N°30	0.60	2.0	2.6	97.4	25 - 60
N°50	0.30	24.4	27.0	73.0	5 - 30
N°100	0.15	48.9	75.9	24.1	0 - 10
FONDO		24.1	100.0	0.0	0

MODULO DE FINURA : 1.06

#### 3.2. CURVA GRANULOMÉTRICA



4. OBSERVACIONES: 1) La información referente al muestreo, procedencia, cantidad, fecha de obtención e identificación, debe ser proporcionada por el solicitante.

Hecho por : Ing. M. Huaynalaya  
 Técnicos : Sr. G.P.L.



NOTAS  
 1) Está prohibido reproducir o modificar el informe de ensayo, total o parcialmente, sin la autorización del laboratorio.  
 2) Los resultados de los ensayos solo corresponden a las muestras proporcionadas por el solicitante.



**UNI-LEM**  
 La Calidad es nuestro compromiso  
 Laboratorio Certificado ISO 9001

Av. Tupac Amaru N° 210, Lima 25  
 apartado 1301 - Perú  
 (511) 381-3343  
 (511) 481-1070 Anexo: 4058 / 4046

www.lem.uni.edu.pe  
 lem@uni.edu.pe  
 Laboratorio de Ensayo de Materiales - UNI





# UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

## Facultad de Ingeniería Civil

LABORATORIO N° 1 DE ENSAYO DE MATERIALES "ING. MANUEL GONZÁLES DE LA COTERA"

Centro de Ingeniería Civil Acreditada por



### INFORME

Del : Laboratorio N°1 Ensayo de Materiales  
 A : ESTRELLA PINTO PAREJA  
 Obra : APROVECHAMIENTO DE ABRASIVOS USADOS EN PREPARACIÓN DE SUPERFICIES Y RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN PARA LA FABRICACIÓN DE ADOQUINES PARA PAVIMENTO  
 Asunto : Ensayo de Granulometría en Agregados  
 Expediente N° : 22-2227-3  
 Recibo N° : 78737  
 Fecha de emisión : 03/10/2022

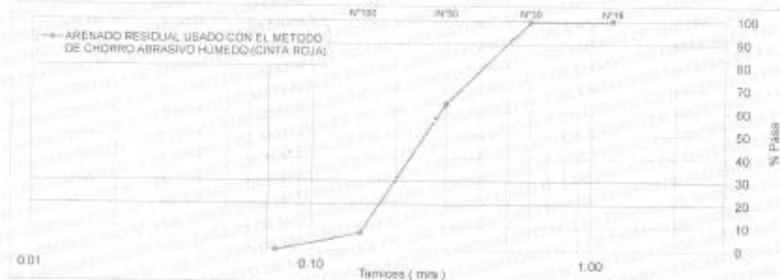
1. DE LA MUESTRA : ARENADO RESIDUAL USADO CON EL MÉTODO DE CHORRO ABRASIVO HÚMEDO (CINTA ROJA), procedente de la cantera GMA GAMET.  
 2. MÉTODO DEL ENSAYO : Norma de referencia NTP 400.012.2021. Procedimiento interno AT-PR-24.  
 3. RESULTADOS :

#### 3.1. ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO

TAMIZ		%RET	%RET ACUM.	% PASA
(Pulg)	(mm)			
N°16	1.18	0.0	0.0	100.0
N°30	0.63	0.4	0.4	99.6
N°50	0.30	36.1	36.5	63.5
N°100	0.15	56.1	92.6	7.4
FONDO		7.4	100.0	0.0

MÓDULO DE FINURA : 1.30

#### 3.2. CURVA GRANULOMÉTRICA



4. OBSERVACIONES: 1) La información referente al muestreo, procedencia, cantidad, fecha de obtención e identificación han sido proporcionadas por el solicitante.

Hecho por : Mag. Ing. M. A. Tejada S.  
 Técnico : Sr. T. M. T.



Oscar Miranda Hospital  
 Jefe (a) del laboratorio

#### NOTAS:

- 1) Esta prueba reproduce a máquina el sistema de ensayo, total o parcialmente, sin la autorización del laboratorio.  
 2) Los resultados de los ensayos realizados corresponden a las muestras proporcionadas por el solicitante.



**UNI-LEM**  
 La Calidad es nuestro compromiso  
 Laboratorio Certificado ISO 9001



Av. Tupac Amaru N° 210, Lima 25  
 apartado 1301 - Perú  
 (511) 381 - 3343  
 (511) 481-1070 Anexo: 4058 / 4046



www.lem.uni.edu.pe  
 lem@uni.edu.pe  
 Laboratorio de Ensayo de Materiales - UNI





**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA**  
**Facultad de Ingeniería Civil**

**LABORATORIO N° 1 DE ENSAYO DE MATERIALES "ING. MANUEL GONZÁLES DE LA COTERA"**



**INFORME**

Del : Laboratorio N°1 Ensayo de Materiales  
 A : ESTRELLA DE BELEN PINTO PAREJA  
 Obra : PLANTA DE LICUEFACCIÓN DE GAS NATURAL  
 Ubicación : SAN VICENTE DE CAÑETE  
 Asunto : Ensayo de Peso Unitario  
 Expediente N° : 22-1030-3  
 Recibo N° : 77522  
 Fecha de emisión : 25/05/2022

- 1.0. DE LA MUESTRA : GARNET USADO (TÉCNICA DE CHORRO ABRASIVO SECO), de la marca GMA BLAST.
- 2.0. MÉTODO DEL ENSAYO : Norma de referencia NTP 400.017:2020, para Peso Unitario. Procedimiento interno AT-PR-20.

3.0. RESULTADOS :

MUESTRA	PESO UNITARIO SUELTO (Kg/m <sup>3</sup> )	PESO UNITARIO COMPACTADO (Kg/m <sup>3</sup> )
GARNET USADO (TÉCNICA DE CHORRO ABRASIVO SECO)	2318	2606

- 4.0. OBSERVACIONES: 1) La información referente al muestreo, procedencia, cantidad, fecha de obtención e identificación han sido proporcionadas por el solicitante.

Hecho por : Ing. M. Huaynalaza  
 Técnicos : Sr. G.P.L.



Ing. Oscar Miranda Hospital  
 Jefe (e) del laboratorio

NOTAS:

- 1) Está prohibido reproducir o modificar el informe de ensayo, total o parcialmente, sin la autorización del laboratorio.  
 2) Los resultados de los ensayos solo corresponden a las muestras proporcionadas por el solicitante.



**UNI-LEM**

La Calidad es nuestro compromiso  
 Laboratorio Certificado ISO 9001



Av. Tupac Amaru N° 210, Lima 25  
 apartado 1301 - Perú



(511) 381-3343



(511) 481-1070 Anexo: 4058 / 4046



www.lem.uni.edu.pe



lem@uni.edu.pe



Laboratorio de Ensayo de Materiales - UNI





# UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

## Facultad de Ingeniería Civil

LABORATORIO N° 1 DE ENSAYO DE MATERIALES "ING. MANUEL GONZÁLES DE LA COTERA"



### INFORME

Del : Laboratorio N°1 Ensayo de Materiales  
A : ESTRELLA DE BELEN PINTO PAREJA  
Obra : PLANTA DE LICUEFACCIÓN DE GAS NATURAL  
Ubicación : SAN VICENTE DE CAÑETE  
Asunto : Ensayo de Contenido de Humedad en Agregados  
Expediente N° : 22-1030-1  
Recibo N° : 77522  
Fecha de emisión : 25/05/2022

- 1.0. DE LA MUESTRA : GARNET USADO (TÉCNICA DE CHORRO ABRASIVO SECO), de la marca GMA BLAST.
- 2.0. MÉTODOS DEL ENSAYO : Norma de referencia NTP 339.185.2021.  
Procedimiento interno AT-PR-21.

3.0. RESULTADOS :

MUESTRA	PESO MUESTRA (g)	PESO MUESTRA SECA (g)	CONTENIDO DE HUMEDAD (%)
GARNET USADO (TÉCNICA DE CHORRO ABRASIVO SECO)	500	497.9	0.42

4.0. OBSERVACIONES: 1) La información referente al muestreo, procedencia, cantidad, fecha de obtención e identificación han sido proporcionadas por el solicitante.

Hecho por : Ing. M. Huaynalaya R.  
Técnico : Sr. G.P.L.



Ing. Oscar Miranda Hospital  
Jefe (e) del laboratorio

#### NOTAS:

- 1) Está prohibido reproducir o modificar el informe de ensayo, total o parcialmente, sin la autorización del laboratorio.
- 2) Los resultados de los ensayos solo corresponden a las muestras proporcionadas por el solicitante.



## UNI-LEM

La Calidad es nuestro compromiso  
Laboratorio Certificado ISO 9001



Av. Tupac Amaru N° 210, Lima 25  
apartado 1301 - Perú



(511) 381-3343



(511) 481-1070 Anexo: 4058 / 4046



[www.lem.uni.edu.pe](http://www.lem.uni.edu.pe)



[lem@uni.edu.pe](mailto:lem@uni.edu.pe)



Laboratorio de Ensayo  
de Materiales - UNI





**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA**  
**Facultad de Ingeniería Civil**

**LABORATORIO N° 1 DE ENSAYO DE MATERIALES "ING. MANUEL GONZÁLES DE LA COTERA"**



**INFORME**

Del : Laboratorio N°1 Ensayo de Materiales  
 A : ESTRELLA PINTO PAREJA  
 Obra : APROVECHAMIENTO DE ABRASIVOS USADOS EN PREPARACIÓN DE SUPERFICIES Y RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN PARA LA FABRICACIÓN DE ADOQUINES PARA PAVIMENTO  
 Asunto : Ensayo de Peso Unitario y Contenido de Humedad en Agregados  
 Expediente N° : 22-2227-6  
 Recibo N° : 78737  
 Fecha de emisión : 03/10/2022

1.0. DE LA MUESTRA : ARENADO RESIDUAL USADO CON EL MÉTODO DE CHORRO ABRASIVO HÚMEDO (CINTA ROJA), procedente de la cantera GMA GAMET.

2.0. MÉTODO DEL ENSAYO : Norma de referencia NTP 400.017:2020, para Peso Unitario y NTP 339.185:2021, para contenido de humedad  
 Procedimiento interno AT-PR-20, AT-PR-21.

3.0. RESULTADOS :

MUESTRA	PESO UNITARIO SUELTO (Kg/m <sup>3</sup> )	PESO UNITARIO COMPACTADO (Kg/m <sup>3</sup> )	CONTENIDO DE HUMEDAD (%)
ARENADO RESIDUAL USADO CON EL MÉTODO DE CHORRO ABRASIVO HÚMEDO (CINTA ROJA)	2269	2497	0.03

4.0. OBSERVACIONES: 1) La información referente al muestreo, procedencia, cantidad, fecha de obtención e identificación han sido proporcionadas por el solicitante.

Hecho por : Mag. Ing. M. A. Tejada S.  
 Técnico : Sr. T. M. T.

  
 Ing. Oscar Miranda Hospital  
 Jefe (e) del laboratorio

NOTAS:

- 1) Está prohibido reproducir o modificar el informe de ensayo, total o parcialmente, sin la autorización del laboratorio.
- 2) Los resultados de los ensayos solo corresponden a las muestras proporcionadas por el solicitante.



**UNI-LEM**  
 La Calidad es nuestro compromiso  
 Laboratorio Certificado ISO 9001

Av. Tupac Amaru N° 210, Lima 25  
 apartado 1301 - Parú  
 (511) 381 - 3343  
 (511) 481-1070 Anexo: 4058 / 4046

www.lem.uni.edu.pe  
 lem@uni.edu.pe  
 Laboratorio de Ensayo de Materiales - UNI





**INFORME**

Del : Laboratorio N°1 Ensayo de Materiales  
 A : ESTRELLA DE BELEN PINTO PAREJA  
 Obra : PLANTA DE LICUEFACCIÓN DE GAS NATURAL  
 Ubicación : SAN VICENTE DE CAÑETE  
 Asunto : Ensayo de Peso Especifico y Porcentaje de Absorción en Agregados  
 Expediente N° : 22-1030-4  
 Recibo N° : 77522  
 Fecha de emisión : 25/06/2022

1.0. DE LA MUESTRA : GARNET USADO (TÉCNICA DE CHORRO ABRASIVO SECO), de la marca GMA BLAST.

2.0. MÉTODO DEL ENSAYO : Norma de referencia NTP 400.022:2021.  
 Procedimiento interno AT-PR-22.

3.0. RESULTADOS :

MUESTRA	PESO ESPECÍFICO DE MASA	PESO ESPECÍFICO DE MASA SUPERFICIALMENTE SECO	PORCENTAJE DE ABSORCIÓN (%)
GARNET USADO (TÉCNICA DE CHORRO ABRASIVO SECO)	3.13	3.15	0.56

4.0. OBSERVACIONES: 1) La información referente al muestreo, procedencia, cantidad, fecha de obtención e identificación han sido proporcionadas por el solicitante.

Hecho por : Ing. M. Huaynalaya R.  
 Técnicos : Sr. G.P.L.



Ing. Oscar Miranda Hospital  
 Jefe (e) del laboratorio

**NOTAS:**

- 1) Está prohibido reproducir o modificar el informe de ensayo, total o parcialmente, sin la autorización del laboratorio.
- 2) Los resultados de los ensayos solo corresponden a las muestras proporcionadas por el solicitante.



**UNI-LEM**  
 La Calidad es nuestro compromiso  
 Laboratorio Certificado ISO 9001



Av. Tupac Amari N° 210, Lima 25  
 apartado 1301 - Perú  
 (511) 381-3343  
 (511) 481-1070 Anexo: 4058 / 4046



www.lem.uni.edu.pe  
 lem@uni.edu.pe  
 Laboratorio de Ensayo de Materiales - UNI





# UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

## Facultad de Ingeniería Civil

LABORATORIO N° 1 DE ENSAYO DE MATERIALES "ING. MANUEL GONZÁLES DE LA COTERA"



### INFORME

Del : Laboratorio N°1 Ensayo de Materiales  
A : ESTRELLA PINTO PAREJA  
Obra : APROVECHAMIENTO DE ABRASIVOS USADOS EN PREPARACIÓN DE SUPERFICIES Y RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN PARA LA FABRICACIÓN DE ADOQUINES PARA PAVIMENTO  
Asunto : Ensayo de Peso Especifico y Porcentaje de Absorción en Agregados  
Expediente N° : 22-2227-9  
Recibo N° : 78737  
Fecha de emisión : 03/10/2022

1.0. DE LA MUESTRA : ARENADO RESIDUAL USADO CON EL MÉTODO DE CHORRO ABRASIVO HÚMEDO (CINTA ROJA), procedente de la cantera GMA GAMET.

2.0. MÉTODO DEL ENSAYO : Norma de referencia NTP 400.022:2021.  
Procedimiento interno AT-PR-22.

### 3.0. RESULTADOS :

MUESTRA	PESO ESPECÍFICO DE MASA	PESO ESPECÍFICO DE MASA SUPERFICIALMENTE SECO	PORCENTAJE DE ABSORCIÓN (%)
ARENADO RESIDUAL USADO CON EL MÉTODO DE CHORRO ABRASIVO HÚMEDO (CINTA ROJA)	3.96	3.97	0.20

4.0. OBSERVACIONES: 1) La información referente al muestreo, procedencia, cantidad, fecha de obtención e identificación han sido proporcionadas por el solicitante.

Hecho por : Mag. Ing. M. A. Tejada S.  
Técnico : Sr. T. M. T.



Ing. Oscar Miranda Hospinal  
Jefe (e) del laboratorio

### NOTAS:

- 1) Está prohibido reproducir o modificar el informe de ensayo, total o parcialmente, sin la autorización del laboratorio.
- 2) Los resultados de los ensayos solo corresponden a las muestras proporcionadas por el solicitante



**UNI-LEM**  
La Calidad es nuestro compromiso  
Laboratorio Certificado ISO 9001



Av. Tupac Amaru N° 210, Lima 25  
apartado 1301 - Perú



(511) 381 - 3343



(511) 481-1070 Anexo: 4058 / 4046



[www.lem.uni.edu.pe](http://www.lem.uni.edu.pe)



[lem@uni.edu.pe](mailto:lem@uni.edu.pe)



Laboratorio de Ensayo  
de Materiales - UNI



# ANEXO 12: Informes de ensayo de agregados reciclados a base de residuos de construcción - Laboratorio N°1 de Ensayo de Materiales



## INFORME

Del : Laboratorio N°1 Ensayo de Materiales  
 A : ESTRELLA PINTO PAREJA  
 Obra : APROVECHAMIENTO DE ABRASIVOS USADOS EN PREPARACIÓN DE SUPERFICIES Y RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN PARA LA FABRICACIÓN DE ADOQUINES PARA PAVIMENTO  
 Asunto : Ensayo de Granulometría en Agregados  
 Expediente N° : 22-2227-1  
 Recibo N° : 78737  
 Fecha de emisión : 03/10/2022

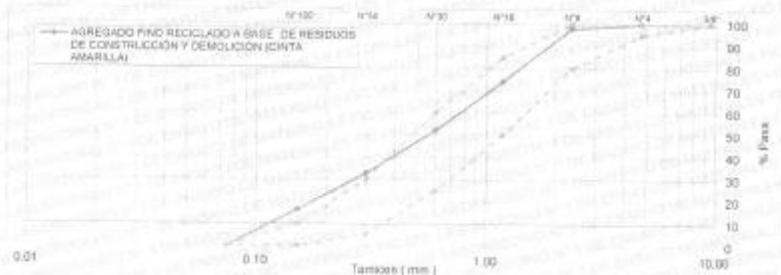
1. DE LA MUESTRA : AGREGADO FINO RECICLADO A BASE DE RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN Y DEMOLICIÓN (CINTA AMARILLA), procedente de la cantera CICLO
2. MÉTODO DEL ENSAYO : Norma de referencia NTP 400.012.2021.  
 Procedimiento interno AT-PR-24
3. RESULTADOS

### 3.1. ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO

TAMIZ (Pulg)	(mm)	%RET	%RET ACUM	% PASA	% PASA, ASTM C 33 MUJO AGR. FMO
3/8"	9.50	0.0	0.0	100.0	100
N°4	4.75	0.1	0.1	99.9	95 - 100
N°8	2.36	1.9	2.0	98.1	80 - 100
N°16	1.18	23.9	25.8	74.2	50 - 85
N°30	0.60	22.1	47.9	52.1	25 - 60
N°60	0.30	19.3	67.3	32.7	5 - 30
N°100	0.15	16.5	83.8	16.2	0 - 10
FONDO		16.2	100.0	0.0	0

MÓDULO DE FINURA : 2.27

### 3.2. CURVA GRANULOMÉTRICA



4. OBSERVACIONES: 1) La información referente al muestreo, procedencia, cantidad, fecha de obtención e identificación han sido proporcionadas por el solicitante

Hecho por : Mag. Ing. M. A. Tejada S.  
 Técnico : Sr. T. M. T.

Oscar Miranda Hospiral  
 Jefe (e) del laboratorio

#### NOTAS:

- 1) Está prohibido reproducir o modificar el informe de ensayo, total o parcialmente, sin la autorización del laboratorio.  
 2) Los resultados de los ensayos solo corresponden a las muestras aportadas por el solicitante.



**UNI-LEM**  
 La Calidad es nuestro compromiso  
 Laboratorio Certificado ISO 9001

Av. Tupac Amaru N° 210, Lima 25  
 apartado 1301 - Perú  
 (511) 381 - 3343  
 (511) 481-1070 Anexo: 4058 / 4046

www.lem.uni.edu.pe  
 lem@uni.edu.pe  
 Laboratorio de Ensayo de Materiales - UNI





**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA**  
**Facultad de Ingeniería Civil**

LABORATORIO N° 1 DE ENSAYO DE MATERIALES "ING. MANUEL GONZÁLES DE LA COTERA"



**INFORME**

Del : Laboratorio N°1 Ensayo de Materiales  
 A : ESTRELLA PINTO PAREJA  
 Obra : APROVECHAMIENTO DE ABRASIVOS USADOS EN PREPARACIÓN DE SUPERFICIES Y RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN PARA LA FABRICACIÓN DE ADOQUINES PARA PAVIMENTO  
 Asunto : Ensayo de Granulometría en Agregados  
 Expediente N° : 22-2227-2  
 Recibo N° : 78737  
 Fecha de emisión : 03/10/2022

1. DE LA MUESTRA : AGREGADO GRUESO RECICLADO A BASE DE RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN Y DEMOLICIÓN (CINTA AZUL), procedente de la cantera CICLO

2. MÉTODO DEL ENSAYO : Norma de referencia NTP 400.012.2021  
 Procedimiento interno AT-PR-24

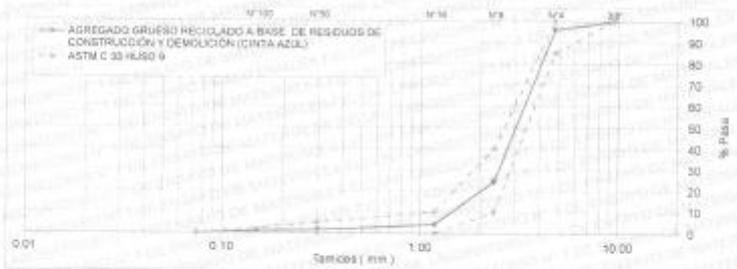
3. RESULTADOS

3.1. ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO

TAMIZ		% RET.	% RET. ACUM.	% PASA	% PASA ASTM C 33 HUSO 9
( Pulg )	(mm)				
3/8"	9.50	0.0	0.0	100.0	100
N°4	4.75	4.0	4.0	96.0	85 - 100
N°8	2.36	71.5	75.5	24.5	10 - 40
N°16	1.18	20.4	95.9	4.1	0 - 10
N°50	0.30	0.8	99.4	1.6	0 - 5
N°100	0.15	0.6	99.9	1.1	-
FONDO		1.1	100.0	0.0	

MÓDULO DE FINURA : 4.70

3.2. CURVA GRANULOMÉTRICA



4. OBSERVACIONES: 1) La información referente al muestreo, procedencia, cantidad, fecha de obtención e identificación han sido proporcionadas por el solicitante

Hecho por : Mag. Ing. M. A. Tejada S.  
 Técnico : Sr. T. M. T.

Oscar Miranda Hospina  
 Jefe (e) del laboratorio

NOTAS:

- 1) Este análisis reproduce o modifica cualquier dato de análisis, total o parcialmente, sin la autorización del laboratorio.
- 2) Los resultados de los análisis solo son válidos si las muestras proporcionadas por el solicitante.



**UNI-LEM**  
 La Calidad es nuestro compromiso  
 Laboratorio Certificado ISO 9001

Av. Tupac Amaru N° 210, Lima 25  
 apartado 1301 - Perú  
 (511) 381 - 3343  
 (511) 481-1070 Anexo: 4058 / 4046

www.lem.uni.edu.pe  
 lem@uni.edu.pe  
 Laboratorio de Ensayo de Materiales - UNI





**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA**  
**Facultad de Ingeniería Civil**

LABORATORIO N° 1 DE ENSAYO DE MATERIALES "ING. MANUEL GONZÁLES DE LA COTERA"



**INFORME**

Del : Laboratorio N°1 Ensayo de Materiales  
 A : ESTRELLA PINTO PAREJA  
 Obra : APROVECHAMIENTO DE ABRASIVOS USADOS EN PREPARACIÓN DE SUPERFICIES Y RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN PARA LA FABRICACIÓN DE ADOQUINES PARA PAVIMENTO  
 Asunto : Ensayo de Peso Unitario y Contenido de Humedad en Agregados  
 Expediente N° : 22-2227-4  
 Recibo N° : 78737  
 Fecha de emisión : 03/10/2022

1.0. DE LA MUESTRA : AGREGADO FINO RECICLADO A BASE DE RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN Y DEMOLICIÓN (CINTA AMARILLA), procedente de la cantera CICLO.

2.0. MÉTODO DEL ENSAYO : Norma de referencia NTP 400.017:2020, para Peso Unitario y NTP 339.185:2021, para contenido de humedad  
 Procedimiento interno AT-PR-20, AT-PR-21.

3.0. RESULTADOS :

MUESTRA	PESO UNITARIO SUELTO (Kg/m³)	PESO UNITARIO COMPACTADO (Kg/m³)	CONTENIDO DE HUMEDAD (%)
AGREGADO FINO RECICLADO A BASE DE RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN Y DEMOLICIÓN (CINTA AMARILLA)	1451	1628	2.69

4.0. OBSERVACIONES: 1) La información referente al muestreo, procedencia, cantidad, fecha de obtención e identificación han sido proporcionadas por el solicitante.

Hecho por : Mag. Ing. M. A. Tejada S  
 Técnico : Sr. T. M. T.



*[Signature]*  
 Ing. Oscar Miranda Hospinal  
 Jefe (e) del laboratorio

NOTAS:

- 1) Está prohibido reproducir o modificar el informe de ensayo, total o parcialmente, sin la autorización del laboratorio
- 2) Los resultados de los ensayos solo corresponden a las muestras proporcionadas por el solicitante.



**UNI-LEM**  
 La Calidad es nuestro compromiso  
 Laboratorio Certificado ISO 9001

Av. Tupac Amaru N° 210, Lima 25  
 apartado 1301 - Perú  
 (511) 381 - 3343  
 (511) 481-1070 Anexo: 4058 / 4046

www.lem.uni.edu.pe  
 lem@uni.edu.pe  
 Laboratorio de Ensayo de Materiales - UNI





# UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

## Facultad de Ingeniería Civil

LABORATORIO N° 1 DE ENSAYO DE MATERIALES "ING. MANUEL GONZÁLES DE LA COTERA"



### INFORME

**Del** : Laboratorio N°1 Ensayo de Materiales  
**A** : ESTRELLA PINTO PAREJA  
**Obra** : APROVECHAMIENTO DE ABRASIVOS USADOS EN PREPARACIÓN DE SUPERFICIES Y RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN PARA LA FABRICACIÓN DE ADOQUINES PARA PAVIMENTO  
**Asunto** : Ensayo de Peso Unitario y Contenido de Humedad en Agregados  
**Expediente N°** : 22-2227-5  
**Recibo N°** : 78737  
**Fecha de emisión** : 03/10/2022

**1.0. DE LA MUESTRA** : AGREGADO GRUESO RECICLADO A BASE DE RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN Y DEMOLICIÓN (CINTA AZUL), procedente de la cantera CICLO.

**2.0. MÉTODO DEL ENSAYO** : Norma de referencia NTP 400.017:2020, para Peso Unitario y NTP 339.185:2021, para contenido de humedad  
Procedimiento interno AT-PR-20, AT-PR-21.

**3.0. RESULTADOS** :

MUESTRA	PESO UNITARIO SUELTO (Kg/m <sup>3</sup> )	PESO UNITARIO COMPACTADO (Kg/m <sup>3</sup> )	CONTENIDO DE HUMEDAD (%)
AGREGADO GRUESO RECICLADO A BASE DE RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN Y DEMOLICIÓN (CINTA AZUL)	1170	1337	2.82

**4.0. OBSERVACIONES:** 1) La información referente al muestreo, procedencia, cantidad, fecha de obtención e identificación han sido proporcionadas por el solicitante.

Hecho por : Mag. Ing. M. A. Tejada S.  
Técnico : Sr. T. M. T.

  
Ing. Oscar Miranda Hospital  
Jefe (e) del laboratorio

**NOTAS:**

- 1) Está prohibido reproducir o modificar el informe de ensayo, total o parcialmente, sin la autorización del laboratorio.
- 2) Los resultados de los ensayos solo corresponden a las muestras proporcionadas por el solicitante.



**UNI-LEM**  
La Calidad es nuestro compromiso  
Laboratorio Certificado ISO 9001

Av. Tupac Amaru N° 210, Lima 25  
apartado 1301 - Perú  
(511) 381 - 3343  
(511) 481-1070 Anexo: 4058 / 4046

[www.lem.uni.edu.pe](http://www.lem.uni.edu.pe)  
[lem@uni.edu.pe](mailto:lem@uni.edu.pe)  
Laboratorio de Ensayo de Materiales - UNI





**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA**  
**Facultad de Ingeniería Civil**

**LABORATORIO N° 1 DE ENSAYO DE MATERIALES "ING. MANUEL GONZÁLES DE LA COTERA"**



**INFORME**

**Del A Obra** : Laboratorio N°1 Ensayo de Materiales  
 : ESTRELLA PINTO PAREJA  
 : APROVECHAMIENTO DE ABRASIVOS USADOS EN PREPARACIÓN DE SUPERFICIES Y RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN PARA LA FABRICACIÓN DE ADOQUINES PARA PAVIMENTO

**Asunto** : Ensayo de Peso Especifico y Porcentaje de Absorción en Agregados

**Expediente N°** : 22-2227-7

**Recibo N°** : 78737

**Fecha de emisión** : 03/10/2022

**1.0. DE LA MUESTRA** : AGREGADO FINO RECICLADO A BASE DE RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN Y DEMOLICIÓN (CINTA AMARILLA), procedente de la cantera CICLO.

**2.0. MÉTODO DEL ENSAYO** : Norma de referencia NTP 400.022:2021, Procedimiento interno AT-PR-22.

**3.0. RESULTADOS** :

MUESTRA	PESO ESPECÍFICO DE MASA	PESO ESPECÍFICO DE MASA SUPERFICIALMENTE SECO	PORCENTAJE DE ABSORCIÓN (%)
AGREGADO FINO RECICLADO A BASE DE RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN Y DEMOLICIÓN (CINTA AMARILLA)	2.47	2.55	3.52

**4.0. OBSERVACIONES:** 1) La información referente al muestreo, procedencia, cantidad, fecha de obtención e identificación han sido proporcionadas por el solicitante.

Hecho por : Mag. Ing. M. A. Tejada S.  
 Técnico : Sr. T. M. T.



Ing. Oscar Miranda Hospinal  
 Jefe (e) del laboratorio

**NOTAS:**

- 1) Está prohibido reproducir o modificar el informe de ensayo, total o parcialmente, sin la autorización del laboratorio.
- 2) Los resultados de los ensayos solo corresponden a las muestras proporcionadas por el solicitante.



**UNI-LEM**  
 La Calidad es nuestro compromiso  
 Laboratorio Certificado ISO 9001

Av. Tupac Amaru N° 210, Lima 25  
 apartado 1301 - Perú  
 (511) 381 - 3343  
 (511) 481-1070 Anexo: 4058 / 4046

www.lem.uni.edu.pe  
 lem@uni.edu.pe  
 Laboratorio de Ensayo de Materiales - UNI





**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA**  
**Facultad de Ingeniería Civil**

LABORATORIO N° 1 DE ENSAYO DE MATERIALES "ING. MANUEL GONZÁLES DE LA COTERA"



**INFORME**

Del : Laboratorio N°1 Ensayo de Materiales  
 A : ESTRELLA PINTO PAREJA  
 Obra : APROVECHAMIENTO DE ABRASIVOS USADOS EN PREPARACIÓN DE SUPERFICIES Y RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN PARA LA FABRICACIÓN DE ADCQUINES PARA PAVIMENTO  
 Asunto : Ensayo de Peso Específico y Porcentaje de Absorción en Agregados  
 Expediente N° : 22-2227-8  
 Recibo N° : 78737  
 Fecha de emisión : 03/10/2022

1.0. DE LA MUESTRA : AGREGADO GRUESO RECICLADO A BASE DE RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN Y DEMOLICIÓN (CINTA AZUL), procedente de la cantera CICLO

2.0. MÉTODO DEL ENSAYO : Norma de referencia NTP 400.021:2020  
 Procedimiento interno AT-PR-23.

3.0. RESULTADOS :

MUESTRA	PESO ESPECÍFICO DE MASA	PESO ESPECÍFICO DE MASA SUPERFICIALMENTE SECO	PORCENTAJE DE ABSORCIÓN (%)
AGREGADO GRUESO RECICLADO A BASE DE RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN Y DEMOLICION (CINTA AZUL)	2.30	2.45	6.29

4.0. OBSERVACIONES: 1) La información referente al muestreo, procedencia, cantidad, fecha de obtención e identificación han sido proporcionadas por el solicitante.

Hecho por : Mag. Ing. M. A. Tejada S.  
 Técnico : Sr. T. M. T.

  
 Ing. Oscar Miranda Hospital  
 Jefe (e) del laboratorio

NOTAS:

- 1) Está prohibido reproducir o modificar el informe de ensayo, total o parcialmente, sin la autorización del laboratorio.
- 2) Los resultados de los ensayos solo corresponden a las muestras proporcionadas por el solicitante.



**UNI-LEM**  
 La Calidad es nuestro compromiso  
 Laboratorio Certificado ISO 9001

Av. Tupac Amaru N° 210, Lima 25  
 apartado 1301 - Parú  
 (511) 381 - 3343  
 (511) 481-1070 Anexo: 4058 / 4046

www.lem.uni.edu.pe  
 lem@uni.edu.pe  
 Laboratorio de Ensayo de Materiales - UNI



# ANEXO 13: Informe de diseño de mezcla verificado – Laboratorio N°1 de Ensayo de Materiales



## INFORME

Del : Laboratorio N°1 Ensayo de Materiales  
A : ESTRELLA PINTO PAREJA  
Obra : TESIS APROVECHAMIENTO DE ABRASIVOS USADOS EN PREPARACIÓN DE SUPERFICIES Y RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN PARA LA FABRICACIÓN DE ADOQUINES PARA PAVIMENTO  
Asunto : Diseño de mezcla  $f'c = 340 \text{ Kg/cm}^2$   
Expediente N° : 22-2224  
Recibo N° : 78734  
Fecha de emisión : 17/10/2022

### 1.0 DE LOS MATERIALES

#### 1.1 Cemento:

Se utilizó cemento SOL Tipo I, proporcionado por el solicitante.

#### 1.2 Agregado Fino:

Consistente en una Muestra de AGREGADO FINO RECICLADO procedente de la cantera CICLO.

Las características se indican en el ANEXO 1.

#### 1.3 Agregado Grueso:

Consistente en una Muestra de CONFITILLO RECICLADO procedente de la cantera CICLO.

Las características se indican en el ANEXO 2

#### 1.4 Combinación de Agregados:

La granulometría del Agregado Global obtenido por la combinación del agregado fino y grueso, se muestra en el ANEXO 3.

#### 1.5 Agua:

Se uso agua potable procedente de la red UN

  
Ing. Oscar Miranda Hospital  
Jefe (e) del laboratorio

#### NOTAS

- 1) Está prohibido reproducir o modificar el informe de ensayo, total o parcialmente, sin la autorización del laboratorio.
- 2) Los resultados de los ensayos sólo corresponden a las muestras proporcionadas por el solicitante.



**UNI-LEM**  
La Calidad es nuestro compromiso  
Laboratorio Certificado ISO 9001

Av. Tupac Amaru N° 210, Lima 25  
apartado 1301 - Perú  
(511) 381 - 3343  
(511) 481-1070 Anexo: 4058 / 4046

[www.lem.uni.edu.pe](http://www.lem.uni.edu.pe)  
[lem@uni.edu.pe](mailto:lem@uni.edu.pe)  
Laboratorio de Ensayo de Materiales - UNI





# UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

## Facultad de Ingeniería Civil

LABORATORIO N° 1 DE ENSAYO DE MATERIALES "ING. MANUEL GONZÁLES DE LA COTERA"

Carrera de Ingeniería Civil Acreditada por



Engineering  
Technology  
Accreditation  
Commission

Pág. 2 de 5

Expediente N° : 22-2224

### 2.0 DISEÑO DE MEZCLA FINAL ( $f'c = 340 \text{ Kg/cm}^2$ ) CEMENTO SOL Tipo I

#### 2.1 CARACTERÍSTICAS GENERALES

Denominación	$f'c = 340$	Kg/cm <sup>2</sup>	
Asentamiento	0"		
Relación a/c de diseño	0.69		
Relación a/c de obra	0.84		
Proporciones de diseño	1	2.23	3.93
Proporciones de obra	1	2.29	4.04

#### 2.2 CANTIDAD DE MATERIAL DE DISEÑO POR m<sup>3</sup> DE CONCRETO

CEMENTO SOL Tipo I	266	Kg
AGREGADO FINO RECICLADO	593	Kg
CONFITILLO RECICLADO	1044	Kg
AGUA	183	L

#### 2.3 CANTIDAD DE MATERIAL POR m<sup>3</sup> DE CONCRETO EN OBRA

CEMENTO SOL Tipo I	266	Kg
AGREGADO FINO RECICLADO	609	Kg
CONFITILLO RECICLADO	1073	Kg
AGUA	225	L

#### 2.4 CANTIDAD DE MATERIAL POR BOLSA DE CEMENTO EN OBRA

CEMENTO SOL Tipo I	42.50	Kg
AGREGADO FINO RECICLADO	97.34	Kg
CONFITILLO RECICLADO	171.53	Kg
AGUA	35.91	L

#### 2.5 PROPORCIONES APROXIMADAS EN VOLUMEN

	CEMENTO SOL Tipo I	AGREGADO FINO RECICLADO	CONFITILLO RECICLADO
Proporciones	1	2.37	5.18
Agua	35.91	L/bolsa	

#### 3.0 OBSERVACIONES:

- 1) La información referente al muestreo, procedencia, cantidad, fecha de obtención e identificación han sido proporcionadas por el solicitante.
- 2) Hacer tandas de prueba por condiciones técnicas del lugar de obra, controlar las características de los materiales, personal técnico y equipos utilizados en obra.

Hecho por : Mag. Ing. M. A. Tejada S.  
Técnico : Sr. T.M.T.



Ing. Oscar Miranda Hospital  
Jefe (e) del laboratorio

#### NOTAS

- 1) Está prohibido reproducir o modificar el Informe de ensayo, total o parcialmente, sin la autorización del laboratorio.
- 2) Los resultados de los ensayos solo corresponden a las muestras proporcionadas por el solicitante.



**UNI-LEM**  
La Calidad es nuestro compromiso  
Laboratorio Certificado ISO 9001



Av. Tupac Amaru N° 210, Lima 25  
apartado 1301 - Perú  
(511) 381 - 3343  
(511) 481-1070 Arexco: 4058 / 4046



www.lem.uni.edu.pe  
lem@uni.edu.pe  
Laboratorio de Ensayo  
de Materiales - UNI





# UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

## Facultad de Ingeniería Civil

LABORATORIO N° 1 DE ENSAYO DE MATERIALES "ING. MANUEL GONZÁLES DE LA COTERA"



### ANEXO I

EXPEDIENTE N° : 22-2224

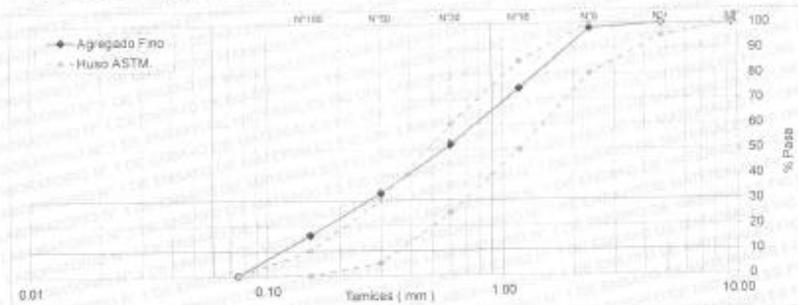
#### 1. CARACTERÍSTICAS DEL AGREGADO FINO :

Consiste en una Muestra de AGREGADO FINO RECICLADO procedente de la cantera CICLO.

##### A) ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO

TAMIZ		%	% RET.	%	% PASA
(Pulg)	(mm)	RET.	ACUM.	PASA	ASTM C 33 HUSO AGF. FINO
3/8"	9.50	0.0	0.0	100.0	100
N°4	4.75	0.1	0.1	99.9	85 - 100
N°8	2.36	1.9	2.0	98.1	80 - 100
N°16	1.18	23.9	25.8	74.2	50 - 85
N°30	0.60	22.1	47.9	52.1	25 - 60
N°50	0.30	19.3	67.3	32.7	5 - 30
N°100	0.15	16.5	83.8	16.2	0 - 10
FONDO		16.2	100.0	0.0	

##### B) CURVA DE GRANULOMETRÍA



##### C) PROPIEDADES FÍSICAS

Módulo de Fineza	2.27
Peso Unitario Suelto (kg/m <sup>3</sup> )	1450
Peso Unitario Compactado (kg/m <sup>3</sup> )	1627
Peso Específico (g/cm <sup>3</sup> )	2.47
Contenido de Humedad (%)	2.69
Porcentaje de Absorción (%)	3.52

#### 2. OBSERVACIONES:

1) La información referente al muestreo, procedencia, cantidad, fecha de obtención e identificación han sido proporcionadas por el solicitante.

Hecho por : Mag. Ing. M. A. Tejada S.  
Técnico : Sr. T.M.T.

#### NOTAS:

- 1) Está prohibido reproducir o modificar el informe de ensayo, total o parcialmente, sin la autorización del laboratorio.
- 2) Los resultados de los ensayos solo corresponden a las muestras proporcionadas por el solicitante.



**UNI-LEM**  
La Calidad es nuestro compromiso  
Laboratorio Certificado ISO 9001



Av. Tupac Amaru N° 210, Lima 25  
apartado 1301 - Perú  
(511) 381 - 3343  
(511) 481-1070 Anexo: 4058 / 4046



www.lem.uni.edu.pe  
lem@uni.edu.pe  
Laboratorio de Ensayo  
de Materiales - UNI





# UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

## Facultad de Ingeniería Civil

LABORATORIO N° 1 DE ENSAYO DE MATERIALES "ING. MANUEL GONZÁLES DE LA COTERA"

Correa de Ingeniería Civil Acreditada por



Pág. 4 de 5

### ANEXO 2

EXPEDIENTE N° : 22-2224

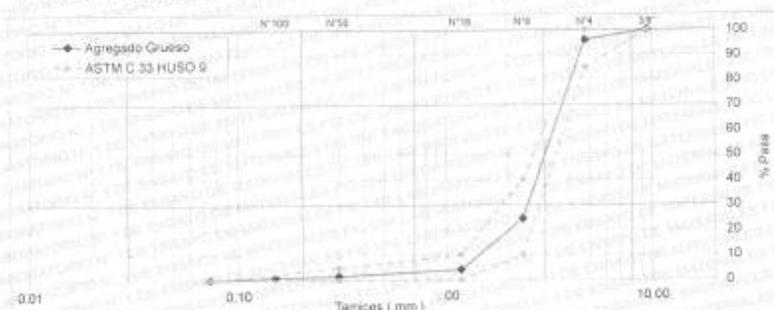
#### 1. CARACTERÍSTICAS DEL AGREGADO GRUESO :

Consiste en una Muestra de CONFITILLO RECICLADO procedente de la cantera CICLO.

##### A) ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO

TAMIZ		% RET.	% RET. ACUM.	% PASA	% PASA. ASTM C 33 HUSO 9
(Pulg)	(mm)				
3/8"	9.50	0.0	0.0	100.0	100
N°4	4.75	4.0	4.0	96.0	85 - 100
N°8	2.36	71.5	75.5	24.5	10 - 40
N°16	1.18	20.4	95.9	4.1	0 - 10
N°50	0.30	0.8	98.4	1.6	0 - 5
N°100	0.15	0.5	98.9	1.1	-
FONDO		1.1	100.0	0.0	

##### B) CURVA DE GRANULOMETRÍA



##### C) PROPIEDADES FÍSICAS

Módulo de Fineza	4.70
Peso Unitario Suelto (kg/m <sup>3</sup> )	1170
Peso Unitario Compactado (kg/m <sup>3</sup> )	1337
Peso Especifico (g/cm <sup>3</sup> )	2.30
Contenido de Humedad (%)	2.82
Porcentaje de Absorción (%)	6.29

2. OBSERVACIONES: 1) La información referente al muestreo, procedencia, cantidad, fecha de obtención e identificación han sido proporcionadas por el solicitante.

Hecho por : Mag. Ing. M. A. Tejada S.  
Técnico : Sr. T.M.T.

##### NOTAS:

- 1) Está prohibido reproducir o modificar el informe de ensayo, total o parcialmente, sin la autorización del laboratorio.
- 2) Los resultados de los ensayos solo corresponden a las muestras proporcionadas por el solicitante.



**UNI-LEM**  
La Calidad es nuestro compromiso  
Laboratorio Certificado ISO 9001



Av. Tupac Amaru N° 210, Lima 25  
apartado 1301 - Perú  
(511) 381 - 3343  
(511) 481-1070 Anexo: 4058 / 4046



www.lem.uni.edu.pe  
lem@uni.edu.pe



Laboratorio de Ensayo de Materiales - UNI





**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA**  
**Facultad de Ingeniería Civil**

**LABORATORIO N° 1 DE ENSAYO DE MATERIALES "ING. MANUEL GONZÁLES DE LA COTERA"**



**ANEXO 3**

EXPEDIENTE N° : 22-2224

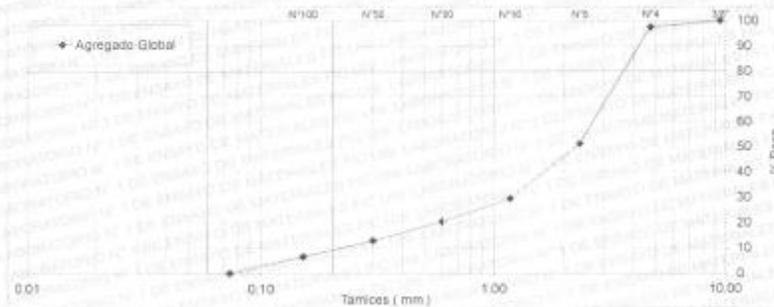
**1. CARACTERÍSTICAS DEL AGREGADO GLOBAL :**

Consiste en una combinación de AGREGADO FINO RECICLADO procedente de la cantera CICLO y CONFITILLO RECICLADO procedente de la cantera CICLO.

**A) ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO**

TAMIZ		% RET.	% RET. ACUM.	% PASA
(Pulg)	(mm)			
3/8"	9.50	0.0	0.0	100.0
N°4	4.75	2.8	2.8	97.4
N°5	2.36	46.3	48.8	51.2
N°16	1.18	21.6	70.5	29.5
N°30	0.60	9.1	79.6	20.4
N°50	0.30	7.5	87.1	12.9
N°100	0.15	6.3	93.4	6.6
FONDO		6.6	100.0	0.0

**B) CURVA DE GRANULOMETRÍA**



**C) PROPIEDADES FÍSICAS**

Tamaño Nominal Máximo	N°5
Módulo de Fineza	3.82
% Agregado Grueso	63.77
% Agregado Fino	36.23

**2. OBSERVACIONES:** 1) La información referente al muestreo, procedencia, cantidad, fecha de obtención e identificación han sido proporcionadas por el solicitante.

Hecho por : Mag. Ing. M. A. Tejada S.  
 Técnico : Sr. T.M.T.

**NOTAS:**

- 1) Está prohibido reproducir o modificar el informe de ensayo, total o parcialmente, sin la autorización del laboratorio.
- 2) Los resultados de los ensayos solo corresponden a las muestras proporcionadas por el solicitante.



**UNI-LEM**  
 La Calidad es nuestro compromiso  
 Laboratorio Certificado ISO 9001



Av. Tupac Amaru N° 210, Lima 25  
 apartado 1301 - Perú  
 (511) 381 - 3343  
 (511) 481-1070 Anexo: 4058 / 4046

www.lem.uni.edu.pe  
 lem@uni.edu.pe  
 Laboratorio de Ensayo de Materiales - UNI



## ANEXO 14: Análisis de tolerancia dimensional de los adoquines para pavimento fabricados

Resultados Tratamiento	Dimensiones (cm)			Tolerancia dimensional (mm)		
	Largo	Ancho	Altura	Largo	Ancho	Altura
<b>Patrón</b>						
M-1	20.10	10.00	6.20	-0.10	0.00	-0.20
M-2	20.10	10.10	6.10	-0.10	-0.10	-0.10
M-3	20.20	9.80	6.10	-0.20	0.20	-0.10
M-4	20.00	10.00	6.30	0.00	0.00	-0.30
M-5	20.10	10.30	6.40	-0.10	-0.30	-0.40
M-6	20.20	10.10	6.20	-0.20	-0.10	-0.20
M-7	20.10	10.00	6.20	-0.10	0.00	-0.20
M-8	20.10	10.10	6.10	-0.10	-0.10	-0.10
M-9	20.20	9.80	6.10	-0.20	0.20	-0.10
<b>T1-S</b>						
M-1	20.10	10.10	6.10	-0.10	-0.10	-0.10
M-2	20.10	10.00	6.10	-0.10	0.00	-0.10
M-3	20.20	10.00	6.10	-0.20	0.00	-0.10
M-4	20.10	10.10	6.00	-0.10	-0.10	0.00
M-5	20.20	10.00	6.20	-0.20	0.00	-0.20
M-6	20.20	10.30	6.20	-0.20	-0.30	-0.20
M-7	20.10	9.90	6.10	-0.10	0.10	-0.10
M-8	20.20	10.20	6.20	-0.20	-0.20	-0.20
M-9	20.10	10.00	6.20	-0.10	0.00	-0.20
<b>T2-S</b>						
M-1	20.00	10.20	6.10	0.00	-0.20	-0.10
M-2	20.00	10.10	6.00	0.00	-0.10	0.00
M-3	20.00	10.10	6.10	0.00	-0.10	-0.10
M-4	20.10	10.30	6.20	-0.10	-0.30	-0.20
M-5	20.10	10.20	6.10	-0.10	-0.20	-0.10
M-6	20.00	10.10	6.20	0.00	-0.10	-0.20
M-7	20.10	10.20	6.20	-0.10	-0.20	-0.20
M-8	20.20	10.10	6.20	-0.20	-0.10	-0.20
M-9	20.10	10.00	6.20	-0.10	0.00	-0.20
<b>T3-S</b>						
M-1	20.10	10.00	6.20	-0.10	0.00	-0.20
M-2	20.10	10.00	6.10	-0.10	0.00	-0.10
M-3	20.10	10.00	6.10	-0.10	0.00	-0.10
M-4	20.20	9.90	6.20	-0.20	0.10	-0.20
M-5	20.20	10.20	6.10	-0.20	-0.20	-0.10
M-6	20.20	10.30	6.30	-0.20	-0.30	-0.30
M-7	20.20	10.30	6.40	-0.20	-0.30	-0.40
M-8	20.10	10.00	6.20	-0.10	0.00	-0.20
M-9	20.20	10.10	6.30	-0.20	-0.10	-0.30
<b>T1-H</b>						
M-1	20.10	10.00	6.10	-0.10	0.00	-0.10
M-2	20.00	9.90	6.00	0.00	0.10	0.00
M-3	20.10	9.90	6.20	-0.10	0.10	-0.20
M-4	20.10	10.20	6.20	-0.10	-0.20	-0.20
M-5	20.30	10.10	6.10	-0.30	-0.10	-0.10
M-6	20.00	10.00	6.10	0.00	0.00	-0.10
M-7	20.20	10.10	6.10	-0.20	-0.10	-0.10
M-8	20.30	10.20	6.10	-0.30	-0.20	-0.10
M-9	20.10	10.10	6.10	-0.10	-0.10	-0.10
<b>T2-H</b>						
M-1	20.30	9.90	6.20	-0.30	0.10	-0.20
M-2	20.20	10.00	6.20	-0.20	0.00	-0.20
M-3	20.10	10.10	6.20	-0.10	-0.10	-0.20
M-4	20.20	10.10	6.20	-0.20	-0.10	-0.20
M-5	20.10	10.10	6.30	-0.10	-0.10	-0.30
M-6	20.10	9.90	6.20	-0.10	0.10	-0.20
M-7	20.00	10.00	6.30	0.00	0.00	-0.30
M-8	20.20	10.10	6.20	-0.20	-0.10	-0.20
M-9	20.20	10.40	6.30	-0.20	-0.40	-0.30
<b>T3-H</b>						
M-1	20.10	10.00	6.00	-0.10	0.00	0.00
M-2	20.10	10.00	6.10	-0.10	0.00	-0.10
M-3	20.20	10.10	5.90	-0.20	-0.10	0.10
M-4	20.10	10.10	6.20	-0.10	-0.10	-0.20
M-5	20.20	10.00	6.30	-0.20	0.00	-0.30
M-6	20.10	10.10	6.00	-0.10	-0.10	0.00
M-7	20.00	10.00	6.20	0.00	0.00	-0.20
M-8	20.10	10.10	6.10	-0.10	-0.10	-0.10
M-9	20.30	10.20	6.10	-0.30	-0.20	-0.10

# ANEXO 15: Informes de ensayos de resistencia a la compresión en adoquines para pavimento – Laboratorio N°1 de Ensayo de Materiales



## INFORME

Pág. 1 de 3

Del : Laboratorio N°1 Ensayo de Materiales  
 A : ESTRELLA PINTO PAREJA  
 Obra : APROVECHAMIENTO DE ABRASIVOS USADOS EN PREPARACIÓN DE SUPERFICIES Y RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN PARA LA FABRICACIÓN DE ADOQUINES PARA PAVIMENTO  
 Asunto : Ensayo de Resistencia a la Compresión en Unidades de Albañilería  
 Expediente N° : 22-2226-2383-1  
 Recibo N° : 78736  
 Fecha de emisión : 21/11/2022

1.0. DE LA MUESTRA : Adoquines elaborados con Agregado fino reciclado (cinta amarilla), Confitillo reciclado (cinta azul), Arenado residual seco, Arenado residual húmedo y cemento SOL con las siguientes proporciones.

	PATRÓN	RESIDUAL SECO 0.15	RESIDUAL SECO 0.30	RESIDUAL SECO 0.50	RESIDUAL HÚMEDO 0.15	RESIDUAL HÚMEDO 0.30	RESIDUAL HÚMEDO 0.50
Cemento Sol Tipo I (kg)	295.00	295.00	295.00	295.00	295.00	295.00	295.00
Agregado fino reciclado (kg)	609.00	517.65	426.30	304.50	517.65	426.30	304.50
Arenado residual seco (kg)	0.00	91.35	182.70	304.50	0.00	0.00	0.00
Arenado residual húmedo (kg)	0.00	0.00	0.00	0.00	91.35	182.70	304.50
Confitillo reciclado (kg)	1073.00	1073.00	1073.00	1073.00	1073.00	1073.00	1073.00
Agua (lit)	225.00	225.00	225.00	225.00	225.00	225.00	225.00

2.0. DEL EQUIPO : Máquina de Ensayo Uniaxial, ELE Internacional  
 Certificado de Calibración: CMC-021-202

3.0. MÉTODO DE ENSAYO : Norma de referencia NTP 399 611 2017 y NTP 399 604 2015  
 Procedimiento interno AT-PR-09.

### 4.0. RESULTADOS

N°	MUESTRAS	FECHA DE ELABORACIÓN	FECHA DE ENSAYO	DIMENSIONES (cm)			ÁREA BRUTA (cm²)	CARGA DE ROTURA (Kg)	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN* (Kg/cm²)
				LARGO	ANCHO	ALTURA			
1	RESIDUAL SECO 0.15 (7D) M-1	19/10/2022	26/10/2022	20.1	10.1	6.1	203.0	55300	272.4
2	RESIDUAL SECO 0.15 (7D) M-2	19/10/2022	26/10/2022	20.1	10.0	6.1	201.0	51900	258.2
3	RESIDUAL SECO 0.15 (7D) M-3	19/10/2022	26/10/2022	20.2	10.0	6.1	202.0	55100	272.8
4	RESIDUAL SECO 0.30 (7D) M-1	19/10/2022	26/10/2022	20.0	10.2	6.1	204.0	54200	265.7
5	RESIDUAL SECO 0.30 (7D) M-2	19/10/2022	26/10/2022	20.0	10.1	6.0	202.0	50500	250.5
6	RESIDUAL SECO 0.30 (7D) M-3	19/10/2022	26/10/2022	20.0	10.1	6.1	202.0	54500	269.8
7	RESIDUAL SECO 0.50 (7D) M-1	19/10/2022	26/10/2022	20.1	10.0	6.2	201.0	45300	226.4
8	RESIDUAL SECO 0.50 (7D) M-2	19/10/2022	26/10/2022	20.1	10.0	6.1	201.0	47700	237.3
9	RESIDUAL SECO 0.50 (7D) M-3	19/10/2022	26/10/2022	20.1	10.0	6.1	201.0	46300	230.3
10	RESIDUAL HÚMEDO 0.15 (7D) M-1	20/10/2022	27/10/2022	20.1	10.0	6.1	201.0	45300	225.2

Hecho por : Mag. Ing. M. A. Tejada S.  
 Técnico : Sres. T.M.T. - A.S.C.

Oscar Miranda Hospinal  
 Jefe (e) del laboratorio

### NOTAS

- 1) Está prohibido reproducir o modificar el informe de ensayo total o parcialmente sin la autorización del laboratorio.
- 2) Los resultados de los ensayos solo corresponden a las muestras etiquetadas por el laboratorio.



**UNI-LEM**  
 La Calidad es nuestro compromiso  
 Laboratorio Certificado ISO 9001

Av. Tupac Amaru N° 210, Lima 25  
 apartado 1301 - Perú  
 (511) 381 - 3343  
 (511) 481-1070 Anexo: 4058 / 4046

www.lcm.uni.edu.pe  
 lcm@uni.edu.pe  
 Laboratorio de Ensayo de Materiales - UNI





**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA**  
**Facultad de Ingeniería Civil**

**LABORATORIO N° 1 DE ENSAYO DE MATERIALES "ING. MANUEL GONZÁLES DE LA COTERA"**



Expediente N°: 22-2226-2383-1

Fig 2-a-1

N°	MUESTRAS	FECHA DE ELABORACION	FECHA DE ENSAYO	DIMENSIONES (cm)			ÁREA BRUTA (cm²)	CARGA DE ROTURA (Kg)	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (Kg/cm²)
				LARGO	ANCHO	ALTURA			
11	RESIDUAL HUMEDO 0.15 (7D) M-2	20/10/2022	27/10/2022	20.0	9.9	6.0	198.0	45961	230.0
12	RESIDUAL HUMEDO 0.15 (7D) M-3	20/10/2022	27/10/2022	20.1	9.9	6.2	196.0	45775	230.0
13	RESIDUAL HUMEDO 0.30 (7D) M-1	20/10/2022	27/10/2022	20.3	9.9	6.2	201.0	47100	234.4
14	RESIDUAL HUMEDO 0.30 (7D) M-2	20/10/2022	27/10/2022	20.2	10.0	6.2	202.0	50000	247.5
15	RESIDUAL HUMEDO 0.30 (7D) M-3	20/10/2022	27/10/2022	20.1	10.1	6.2	203.0	55300	272.4
16	RESIDUAL HUMEDO 0.50 (7D) M-1	20/10/2022	27/10/2022	20.1	10.0	6.0	201.0	50486	300.9
17	RESIDUAL HUMEDO 0.50 (7D) M-2	20/10/2022	27/10/2022	20.1	10.0	6.1	201.0	57120	284.2
18	RESIDUAL HUMEDO 0.50 (7D) M-3	20/10/2022	27/10/2022	20.2	10.1	5.9	204.0	60230	294.2
19	PATRÓN (7D) M-1	21/10/2022	28/10/2022	20.1	10.0	6.2	205.0	52850	262.6
20	PATRÓN (7D) M-2	21/10/2022	28/10/2022	20.1	10.1	6.1	203.0	53572	263.9
21	PATRÓN (7D) M-3	21/10/2022	28/10/2022	20.2	9.8	6.1	199.0	51509	260.2
22	RESIDUAL SECO 0.15 (14D) M-1	19/10/2022	02/11/2022	20.1	10.1	6.0	200.0	55085	275.8
23	RESIDUAL SECO 0.15 (14D) M-2	19/10/2022	02/11/2022	20.2	10.0	6.2	202.0	57279	283.6
24	RESIDUAL SECO 0.15 (14D) M-3	19/10/2022	02/11/2022	20.2	10.3	6.2	208.1	50484	242.6
25	RESIDUAL SECO 0.30 (14D) M-1	19/10/2022	02/11/2022	20.1	10.3	6.2	207.0	47670	230.3
26	RESIDUAL SECO 0.30 (14D) M-2	19/10/2022	02/11/2022	20.1	10.2	6.1	205.0	50986	248.7
27	RESIDUAL SECO 0.30 (14D) M-3	19/10/2022	02/11/2022	20.0	10.1	6.2	203.0	49286	223.1
28	RESIDUAL SECO 0.50 (14D) M-1	19/10/2022	02/11/2022	20.2	9.9	6.2	200.0	50443	252.2
29	RESIDUAL SECO 0.50 (14D) M-2	19/10/2022	02/11/2022	20.2	10.2	6.1	206.0	56360	273.6
30	RESIDUAL SECO 0.50 (14D) M-3	19/10/2022	02/11/2022	20.2	10.3	6.3	208.1	60487	290.7
31	RESIDUAL HUMEDO 0.15 (14D) M-1	20/10/2022	03/11/2022	20.1	10.2	6.2	206.0	49686	242.4
32	RESIDUAL HUMEDO 0.15 (14D) M-2	20/10/2022	03/11/2022	20.3	10.1	6.1	206.0	52673	256.9
33	RESIDUAL HUMEDO 0.15 (14D) M-3	20/10/2022	03/11/2022	20.0	10.0	6.1	200.0	51274	256.4
34	RESIDUAL HUMEDO 0.30 (14D) M-1	20/10/2022	03/11/2022	20.2	10.1	6.2	204.0	54508	267.3
35	RESIDUAL HUMEDO 0.30 (14D) M-2	20/10/2022	03/11/2022	20.1	10.1	6.3	203.0	46124	227.2
36	RESIDUAL HUMEDO 0.30 (14D) M-3	20/10/2022	03/11/2022	20.1	9.9	6.2	199.0	50594	254.8
37	RESIDUAL HUMEDO 0.50 (14D) M-1	20/10/2022	03/11/2022	20.1	10.1	6.2	203.0	48277	237.8
38	RESIDUAL HUMEDO 0.50 (14D) M-2	20/10/2022	03/11/2022	20.2	10.4	6.3	202.0	45122	223.4
39	RESIDUAL HUMEDO 0.50 (14D) M-3	20/10/2022	03/11/2022	20.1	10.1	6.0	200.0	49970	246.7
40	PATRÓN (14D) M-1	21/10/2022	04/11/2022	20.0	10.0	6.3	200.0	49275	222.5

Hecho por: Mag. Ing. M. A. Tejada S.  
Técnico: Snes. T. M. T. - A. S. C.



NOTAS:  
1) Esta prohibido reproducir o modificar el informe de ensayo, excepto pudiese ser, en la autorización del laboratorio.  
2) Las resultados de los ensayos solo corresponden a las metodologías programadas por el laboratorio.



**UNI-LEM**  
La Calidad es nuestro compromiso  
Laboratorio Certificado ISO 9001

Av. Tupac Amaru N° 210, Lima 25  
apartado 1301 - Perú  
(511) 381 - 3343  
(511) 481-1070 Anexo: 4058 / 4046

www.lem.uni.edu.pe  
lem@uni.edu.pe  
Laboratorio de Ensayo de Materiales - UNI





**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA**  
**Facultad de Ingeniería Civil**

**LABORATORIO N° 1 DE ENSAYO DE MATERIALES "ING. MANUEL GONZÁLES DE LA COTERA"**



Expediente N°: 22-2226-2383-1

Pág. 3 de 3

N°	MUESTRAS	FECHA DE ELABORACIÓN	FECHA DE ENSAYO	DIMENSIONES (cm)			ÁREA BRUTA (cm <sup>2</sup> )	CARGA DE ROTURA (Kg)	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN* (Kg/cm <sup>2</sup> )
				LARGO	ANCHO	ALTURA			
41	PATRÓN (14D) M-2	21/10/2022	04/11/2022	20.1	10.3	6.4	207.0	66206	319.8
42	PATRÓN (14D) M-3	21/10/2022	04/11/2022	20.2	10.1	6.2	204.0	61435	301.1
43	RESIDUAL SECO 0.15 (28D) M-1	19/10/2022	16/11/2022	20.1	9.9	6.1	199.0	44675	224.5
44	RESIDUAL SECO 0.15 (28D) M-2	19/10/2022	16/11/2022	20.2	10.2	6.2	206.0	46982	228.0
45	RESIDUAL SECO 0.15 (28D) M-3	19/10/2022	16/11/2022	20.1	10.0	6.2	201.0	41003	204.1
46	RESIDUAL SECO 0.30 (28D) M-1	19/10/2022	16/11/2022	20.1	10.2	6.2	206.0	50767	247.6
47	RESIDUAL SECO 0.30 (28D) M-2	19/10/2022	16/11/2022	20.2	10.1	6.2	204.0	55445	271.8
48	RESIDUAL SECO 0.30 (28D) M-3	19/10/2022	16/11/2022	20.1	10.0	6.2	201.0	51853	258.5
49	RESIDUAL SECO 0.50 (28D) M-1	19/10/2022	16/11/2022	20.2	10.3	6.4	208.1	56930	273.6
50	RESIDUAL SECO 0.50 (28D) M-2	19/10/2022	16/11/2022	20.1	10.0	6.2	201.0	57159	284.4
51	RESIDUAL SECO 0.50 (28D) M-3	19/10/2022	16/11/2022	20.2	10.1	6.3	204.0	56116	275.1
52	RESIDUAL HUMEDO 0.15 (28D) M-1	20/10/2022	17/11/2022	20.2	10.1	6.1	204.0	58575	289.1
53	RESIDUAL HUMEDO 0.15 (28D) M-2	20/10/2022	17/11/2022	20.3	10.2	6.1	207.1	67022	323.7
54	RESIDUAL HUMEDO 0.15 (28D) M-3	20/10/2022	17/11/2022	20.1	10.1	6.1	203.0	59616	288.7
55	RESIDUAL HUMEDO 0.30 (28D) M-1	20/10/2022	17/11/2022	20.0	10.0	6.3	200.0	62425	312.1
56	RESIDUAL HUMEDO 0.30 (28D) M-2	20/10/2022	17/11/2022	20.2	10.1	6.2	204.0	62164	304.8
57	RESIDUAL HUMEDO 0.30 (28D) M-3	20/10/2022	17/11/2022	20.2	10.4	6.3	210.1	62570	297.8
58	RESIDUAL HUMEDO 0.50 (28D) M-1	20/10/2022	17/11/2022	20.0	10.0	6.2	200.0	64404	322.0
59	RESIDUAL HUMEDO 0.50 (28D) M-2	20/10/2022	17/11/2022	20.1	10.1	6.1	203.0	63987	315.2
60	RESIDUAL HUMEDO 0.50 (28D) M-3	20/10/2022	17/11/2022	20.3	10.2	6.1	207.1	69022	334.8
61	PATRÓN (20D) M-1	21/10/2022	18/11/2022	20.1	10.0	6.2	201.0	58230	330.5
62	PATRÓN (20D) M-2	21/10/2022	18/11/2022	20.1	10.1	6.1	203.0	69124	340.5
63	PATRÓN (28D) M-3	21/10/2022	18/11/2022	20.2	9.8	6.1	198.0		348.5

5.0. OBSERVACIONES: 1) La información referente al muestreo, procedencia, cantidad, fecha de obtención y demás datos que hayan sido proporcionadas por el solicitante.

Hecho por: Mag. Ing. M. A. Tejada S.  
 Técnico: Sres. T.M.T. - A.S.C.



NOTAS:  
 1) Está prohibido reproducir o modificar el informe de ensayo, total o parcialmente, sin la autorización del laboratorio.  
 2) Los resultados de los ensayos solo corresponden a las muestras proporcionadas por el solicitante.



**UNI-LEM**  
 La Calidad es nuestro compromiso  
 Laboratorio Certificado ISO 9001

Av. Tupac Amaru N° 210, Lima 25  
 apartado 1301 - Perú  
 (511) 381 - 3343  
 (511) 481-1070 Anexo: 4058 / 4046

www.lem.uni.edu.pe  
 lem@uni.edu.pe  
 Laboratorio de Ensayo de Materiales - UNI



# ANEXO 16: Informes de ensayos de absorción de 24 horas en adoquines para pavimento – Laboratorio N°1 de Ensayo de Materiales



## UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA Facultad de Ingeniería Civil

LABORATORIO N° 1 DE ENSAYO DE MATERIALES "ING. MANUEL GONZÁLES DE LA COTERA"



Pág. 1 de 3

### INFORME

Del : Laboratorio N°1 Ensayo de Materiales  
A : ESTRELLA PINTO PAREJA  
Obra : APROVECHAMIENTO DE ABRASIVOS USADOS EN PREPARACIÓN DE SUPERFICIES Y RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN PARA LA FABRICACIÓN DE ADOQUINES PARA PAVIMENTO  
Asunto : Ensayo de Absorción de 24 horas en Unidades de Albañilería  
Expediente N° : 22-2226-2383-2  
Recibo N° : 78736  
Fecha de emisión : 21/11/2022

1.0. DE LA MUESTRA : Adoquines elaborados con Agregado fino reciclado (cinta amarilla), Confitillo reciclado (cinta azul), Arenado residual seco, Arenado residual húmedo y cemento SOL.

2.0. MÉTODO DEL ENSAYO : Norma de referencia NTP 399.604:2015.  
Procedimiento interno AT-PR-02.

3.0. RESULTADOS :

N°	MUESTRA	ABSORCIÓN 24H (%)
1	RESIDUAL SECO 0.15 (7D) M-1	9.2
2	RESIDUAL SECO 0.15 (7D) M-2	10.5
3	RESIDUAL SECO 0.15 (7D) M-3	9.3
4	RESIDUAL SECO 0.30 (7D) M-1	9.9
5	RESIDUAL SECO 0.30 (7D) M-2	10.6
6	RESIDUAL SECO 0.30 (7D) M-3	7.9
7	RESIDUAL SECO 0.50 (7D) M-1	7.1
8	RESIDUAL SECO 0.50 (7D) M-2	7.6
9	RESIDUAL SECO 0.50 (7D) M-3	8.3
10	RESIDUAL HÚMEDO 0.15 (7D) M-1	

Hecho por : Mag. Ing. M. A. Tejada S.  
Técnico : Sres. T.M.T. - A.S.C.



Oscar Miranda Hospinal  
Jefe (e) del laboratorio

#### NOTAS:

- 1) Está prohibido reproducir o modificar el informe de ensayo, total o parcialmente, sin la autorización del laboratorio.
- 2) Los resultados de los ensayos solo corresponden a las muestras proporcionadas por el solicitante.



**UNI-LEM**  
La Calidad es nuestro compromiso  
Laboratorio Certificado ISO 9001



Av. Tupac Amaru N° 210, Lima 25  
apartado 1301 - Perú



(511) 381 - 3343



(511) 481-1070 Anexo: 4058 / 4046



[www.lem.uni.edu.pe](http://www.lem.uni.edu.pe)



[lem@uni.edu.pe](mailto:lem@uni.edu.pe)



Laboratorio de Ensayo de Materiales - UNI





# UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

## Facultad de Ingeniería Civil

LABORATORIO N° 1 DE ENSAYO DE MATERIALES "ING. MANUEL GONZÁLES DE LA COTERA"



Expediente N°: 22-2226-2383-2

Pág. 2 de 3

N°	MUESTRA	ABSORCIÓN 24H (%)
11	RESIDUAL HÚMEDO 0.15 (7D) M-2	11.4
12	RESIDUAL HÚMEDO 0.15 (7D) M-3	11.3
13	RESIDUAL HÚMEDO 0.30 (7D) M-1	11.8
14	RESIDUAL HÚMEDO 0.30 (7D) M-2	12.2
15	RESIDUAL HÚMEDO 0.30 (7D) M-3	12.0
16	RESIDUAL HÚMEDO 0.50 (7D) M-1	12.3
17	RESIDUAL HÚMEDO 0.50 (7D) M-2	12.1
18	RESIDUAL HÚMEDO 0.50 (7D) M-3	12.7
19	PATRÓN (7D) M-1	12.8
20	PATRÓN (7D) M-2	13.0
21	PATRÓN (7D) M-3	11.7
22	RESIDUAL SECO 0.15 (28D) M-1	9.0
23	RESIDUAL SECO 0.15 (28D) M-2	10.2
24	RESIDUAL SECO 0.15 (28D) M-3	8.7
25	RESIDUAL SECO 0.30 (28D) M-1	8.8
26	RESIDUAL SECO 0.30 (28D) M-2	8.8
27	RESIDUAL SECO 0.30 (28D) M-3	8.6
28	RESIDUAL SECO 0.50 (28D) M-1	7.9
29	RESIDUAL SECO 0.50 (28D) M-2	9.2
30	RESIDUAL SECO 0.50 (28D) M-3	8.5

Hecho por : Mag. Ing. M. A. Tejada S  
Técnico : Sres. T.M.T. - A.S.C.



Oscar Miranda Hospinal  
Jefe (e) del laboratorio

#### NOTAS:

- 1) Está prohibido reproducir o modificar el informe de ensayo, total o parcialmente, sin la autorización del laboratorio.
- 2) Los resultados de los ensayos solo corresponden a las muestras proporcionadas por el solicitante.



**UNI-LEM**  
La Calidad es nuestro compromiso  
Laboratorio Certificado ISO 9001



Av. Tupac Amaru N° 210, Lima 25  
apartado 1301 - Perú



(511) 381 - 3343



(511) 481-1070 Anexo: 4058 / 4046



[www.lem.uni.edu.pe](http://www.lem.uni.edu.pe)



[lem@uni.edu.pe](mailto:lem@uni.edu.pe)



Laboratorio de Ensayo  
de Materiales - UNI





**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA**  
**Facultad de Ingeniería Civil**

**LABORATORIO N° 1 DE ENSAYO DE MATERIALES "ING. MANUEL GONZÁLES DE LA COTERA"**

Centro de Ingeniería Civil Acreditado por



Engineering  
Technology  
Accreditation  
Commission

Pág. 3 de 3

Expediente N°: 22-2226-2383-2

N°	MUESTRA	ABSORCIÓN 24H (%)
31	RESIDUAL HÚMEDO 0.15 (28D) M-1	12.1
32	RESIDUAL HÚMEDO 0.15 (28D) M-2	11.8
33	RESIDUAL HÚMEDO 0.15 (28D) M-3	11.1
34	RESIDUAL HÚMEDO 0.30 (28D) M-1	11.4
35	RESIDUAL HÚMEDO 0.30 (28D) M-2	11.4
36	RESIDUAL HÚMEDO 0.30 (28D) M-3	11.5
37	RESIDUAL HÚMEDO 0.50 (28D) M-1	11.9
38	RESIDUAL HÚMEDO 0.50 (28D) M-2	11.0
39	RESIDUAL HÚMEDO 0.50 (28D) M-3	11.2
40	PATRÓN (28D) M-1	12.6
41	PATRÓN (28D) M-2	11.8
42	PATRÓN (28D) M-3	12.9

4.0. OBSERVACIONES : 1) La información referente al muestreo, procedencia, cantidad, fecha de obtención e identificación han sido proporcionadas por el solicitante.

Hecho por : Mag. Ing. M. A. Tejada S.  
Técnico : Sres. T.M.T. - A.S.C.



Oscar Miranda Hospinal  
Jefe (e) del laboratorio

NOTAS:

- 1) Está prohibido reproducir o modificar el informe de ensayo, total o parcialmente, sin la autorización del laboratorio.
- 2) Los resultados de los ensayos solo corresponden a las muestras proporcionadas por el solicitante.



**UNI-LEM**  
La Calidad es nuestro compromiso  
Laboratorio Certificado ISO 9001



Av. Tupac Amaru N° 210, Lima 25  
apartado 1301 - Perú



(511) 381 - 3343



(511) 481-1070 Anexo: 4058 / 4046



www.lem.uni.edu.pe



lem@uni.edu.pe



Laboratorio de Ensayo  
de Materiales - UNI



## ANEXO 17: Costos de transporte externo y disposición final como residuo no peligroso para los residuos de abrasivos

Generación de residuos de abrasivo (ton)	Generación total (ton / año)	Número de servicios de transporte promedio <sup>a</sup> (viajes / año)	Costo total por servicio de transporte <sup>b</sup> (\$ / año)	Costo total por servicio de disposición <sup>c</sup> (\$ / año)	Costo total por manejo de residuos de arenado (\$ / año)
<b>2017</b>					
Total de residuos de abrasivo - chorro abrasivo seco	288.27	29	7830.00	11337.66	19167.66
Total de residuos de abrasivo - chorro abrasivo húmedo	0				
<b>2018</b>					
Total de residuos de abrasivo - chorro abrasivo seco	166.868	17	4590.00	6562.92	11152.92
Total de residuos de abrasivo - chorro abrasivo húmedo	0				
<b>2019</b>					
Total de residuos de abrasivo - chorro abrasivo seco	374.71	37	9990.00	14737.34	24727.34
Total de residuos de abrasivo - chorro abrasivo húmedo	0				
<b>2020<sup>d</sup></b>					
Total de residuos de abrasivo - chorro abrasivo seco	238.505	24	6480.00	9380.40	15860.40
Total de residuos de abrasivo - chorro abrasivo húmedo	0				
<b>2021</b>					
Total de residuos de abrasivo - chorro abrasivo seco	512.47	52	14040.00	20617.57	34657.57
Total de residuos de abrasivo - chorro abrasivo húmedo <sup>e</sup>	11.75				
<b>2022<sup>f</sup></b>					
Total de residuos de abrasivo - chorro abrasivo seco	630.007	79	21330.00	31239.70	52569.70
Total de residuos de abrasivo - chorro abrasivo húmedo	164.29				

<sup>a</sup> Se considera que las unidades empleadas para el transporte externo para disposición de residuos sólidos tienen una capacidad de carga de 10ton.

<sup>b</sup> Se considera una tarifa de transporte externo para disposición de residuos sólidos al relleno sanitario de Tower & Tower (Chincha-Ica) fijada por contrato de servicios a 5 años igual a \$270.00 por viaje.

<sup>c</sup> Se considera una tarifa de disposición de residuos sólidos no peligrosos en el relleno sanitario Tower & Tower (Chincha-Ica) igual a \$39.33/ton.

<sup>d</sup> Debido a restricciones laborales por la emergencia sanitaria declarada por la pandemia a raíz del COVID-19 hubo una reducción en la generación de residuos sólidos en general.

<sup>e</sup> En octubre del 2021 se dan inicio a las pruebas de preparación de superficie mediante chorro abrasivo húmedo.

<sup>f</sup> Información recabada hasta noviembre del 2022.

## ANEXO 18: Costos de transporte externo, disposición final como residuo no peligroso y valorización de los residuos de construcción

Generación de residuos de construcción (ton)	Generación total (ton / año)	Número de servicios de transporte promedio <sup>a</sup> (viajes / año)	Costo total por servicio de transporte <sup>b</sup> (\$/año)	Costo total por servicio de disposición <sup>c</sup> (\$/año)	Costo total por manejo de residuos de construcción (\$/año)	Número de servicios de transporte promedio <sup>a</sup> (viajes / año)	Costo total por servicio de transporte <sup>d</sup> (\$/año)	Costo total por servicio de disposición <sup>e</sup> (\$/año)	Costo total por manejo de residuos de construcción (\$/año)
<b>2021</b>									
<b>Total de residuos de construcción</b>	<b>201.580</b>	<b>20</b>	<b>\$ 5,400.00</b>	<b>\$ 7,928.14</b>	<b>\$ 13,328.14</b>	<b>20</b>	<b>\$ 11,000.00</b>	<b>\$ 645.06</b>	<b>\$ 11,645.06</b>
<b>2022</b>									
<b>Total de residuos de construcción</b>	<b>417.780</b>	<b>42</b>	<b>\$ 11,340.00</b>	<b>\$ 16,431.29</b>	<b>\$ 27,771.29</b>	<b>42</b>	<b>\$ 23,100.00</b>	<b>\$ 1,336.90</b>	<b>\$ 24,436.90</b>

<sup>a</sup> Se considera que las unidades empleadas para el transporte externo para disposición de residuos sólidos tienen una capacidad de carga de 10ton.

<sup>b</sup> Se considera una tarifa de transporte externo para disposición de residuos sólidos (de construcción) al relleno sanitario de Tower & Tower (Chincha-Ica) fijada por contrato de servicios a 5 años igual a \$270.00 por viaje.

<sup>c</sup> Se considera una tarifa de disposición de residuos sólidos (de construcción) en el relleno sanitario Tower & Tower (Chincha-Ica) igual a \$39.33/ton.

<sup>d</sup> Se considera una tarifa de transporte externo para valorización de residuos de construcción en la planta de valorización de MP RECICLA (Cieneguilla-Lima) fijada por contrato de servicios a 5 años igual a \$550.00 por viaje

<sup>e</sup> Se considera una tarifa de valorización de residuos de construcción en la planta de valorización de MP RECICLA (Cieneguilla-Lima) igual a \$3.20/ton.

**ANEXO 19: Costos de fabricación de adoquines para pavimento con agregados reciclados provenientes de residuos de construcción y residuos de abrasivos**

<b>Adoquín patrón a base de agregados reciclados provenientes de residuos de construcción</b>					
<b>Recurso</b>	<b>Descripción</b>	<b>Unidad</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Precio unitario S/.</b>	<b>Precio parcial S/.</b>
<b>Mano de obra</b>					<b>19.95</b>
	Operario <sup>a</sup>	HH	0.50	24.28	12.14
	Peón <sup>a</sup>	HH	0.50	15.61	7.81
<b>Materiales</b>					<b>21.29</b>
	Agua <sup>a</sup>	m <sup>3</sup>	0.013	7.24	0.09
	Agregado reciclado fino <sup>b</sup>	ton	0.036	125.00	4.50
	Agregado reciclado grueso (confitillo 3/8") <sup>b</sup>	ton	0.064	125.00	8.00
	Cemento Portlando tipo I <sup>a</sup>	bol	0.38	22.88	8.69
<b>Equipos</b>					<b>22.41</b>
	Mesa vibradora de 2HP <sup>a</sup>	h	2.00	6.00	12.00
	Mezcladora de 3 pies <sup>a</sup>	h	1.00	9.98	9.98
	Herramientas manuales <sup>a</sup>	%	2.00	21.63	0.43
<b>Costo directo por 1m<sup>2</sup> de adoquines:</b>					<b>63.65</b>
<b>Costo directo por adoquín (unidad)<sup>c</sup>:</b>					<b>1.27</b>

<sup>a</sup>Tomado de CAPECO (2003).

<sup>b</sup>Tomado de CICLO (2022).

<sup>c</sup>Tomando en cuenta que 1m<sup>2</sup> de adoquines equivale a 50 unidades.

<b>Adoquín a base de agregados reciclados provenientes de residuos de construcción y reemplazo del 15 por ciento del agregado reciclado fino con residuos de abrasivos (garnet) generados mediante las técnicas del chorro abrasivo seco y chorro abrasivo húmedo</b>					
<b>Recurso</b>	<b>Descripción</b>	<b>Unidad</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Precio unitario S/.</b>	<b>Precio parcial S/.</b>
<b>Mano de obra</b>					<b>19.95</b>
	Operario <sup>a</sup>	HH	0.50	24.28	12.14
	Peón <sup>a</sup>	HH	0.50	15.61	7.81
<b>Materiales</b>					<b>20.66</b>
	Agua <sup>a</sup>	m <sup>3</sup>	0.013	7.24	0.09
	Agregado reciclado fino <sup>b</sup>	ton	0.031	125.00	3.88
	Residuos de abrasivo (garnet) - reemplazo del 15 por ciento (técnica del chorro abrasivo seco/húmedo)	ton	0.005	0.00	0.00
	Agregado reciclado grueso (confitillo 3/8") <sup>b</sup>	ton	0.064	125.00	8.00
	Cemento Portlando tipo I <sup>a</sup>	bol	0.38	22.88	8.69
<b>Equipos</b>					<b>22.41</b>
	Mesa vibradora de 2HP <sup>a</sup>	h	2.00	6.00	12.00
	Mezcladora de 3 pies <sup>a</sup>	h	1.00	9.98	9.98
	Herramientas manuales <sup>a</sup>	%	2.00	21.63	0.43
<b>Costo directo por 1m<sup>2</sup> de adoquines:</b>					<b>63.02</b>
<b>Costo directo por adoquín (unidad):</b>					<b>1.26</b>

<sup>a</sup>Tomado de CAPECO (2003).

<sup>b</sup>Tomado de CICLO (2022).

<sup>c</sup>Tomando en cuenta que 1m<sup>2</sup> de adoquines equivale a 50 unidades.

<b>Adoquín a base de agregados reciclados provenientes de residuos de construcción y reemplazo del 30 por ciento del agregado reciclado fino con residuos de abrasivos (garnet) generados mediante las técnicas del chorro abrasivo seco y chorro abrasivo húmedo</b>					
<b>Recurso</b>	<b>Descripción</b>	<b>Unidad</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Precio unitario S/.</b>	<b>Precio parcial S/.</b>
<b>Mano de obra</b>					<b>19.95</b>
	Operario <sup>a</sup>	HH	0.50	24.28	12.14
	Peón <sup>a</sup>	HH	0.50	15.61	7.81
<b>Materiales</b>					<b>19.91</b>
	Agua <sup>a</sup>	m <sup>3</sup>	0.013	7.24	0.09
	Agregado reciclado fino <sup>b</sup>	ton	0.025	125.00	3.13
	Residuos de abrasivo (garnet) - reemplazo del 30 por ciento (técnica del chorro abrasivo seco/húmedo)	ton	0.011	0.00	0.00
	Agregado reciclado grueso (confitillo 3/8") <sup>b</sup>	ton	0.064	125.00	8.00
	Cemento Portlando tipo I <sup>a</sup>	bol	0.38	22.88	8.69
<b>Equipos</b>					<b>22.41</b>
	Mesa vibradora de 2HP <sup>a</sup>	h	2.00	6.00	12.00
	Mezcladora de 3 pies <sup>a</sup>	h	1.00	9.98	9.98
	Herramientas manuales <sup>a</sup>	%	2.00	21.63	0.43
<b>Costo directo por 1m<sup>2</sup> de adoquines:</b>					<b>62.27</b>
<b>Costo directo por adoquín (unidad):</b>					<b>1.25</b>

<sup>a</sup>Tomado de CAPECO (2003).

<sup>b</sup>Tomado de CICLO (2022).

<sup>c</sup>Tomando en cuenta que 1m<sup>2</sup> de adoquines equivale a 50 unidades.

<b>Adoquín a base de agregados reciclados provenientes de residuos de construcción y reemplazo del 50 por ciento del agregado reciclado fino con residuos de abrasivos (garnet) generados mediante las técnicas del chorro abrasivo seco y chorro abrasivo húmedo</b>					
<b>Recurso</b>	<b>Descripción</b>	<b>Unidad</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Precio unitario S/.</b>	<b>Precio parcial S/.</b>
<b>Mano de obra</b>					<b>19.95</b>
	Operario <sup>a</sup>	HH	0.50	24.28	12.14
	Peón <sup>a</sup>	HH	0.50	15.61	7.81
<b>Materiales</b>					<b>19.04</b>
	Agua <sup>a</sup>	m <sup>3</sup>	0.013	7.24	0.09
	Agregado reciclado fino <sup>b</sup>	ton	0.018	125.00	2.25
	Residuos de abrasivo (garnet) - reemplazo del 50 por ciento (técnica del chorro abrasivo seco/húmedo)	ton	0.018	0.00	0.00
	Agregado reciclado grueso (confitillo 3/8") <sup>b</sup>	ton	0.064	125.00	8.00
	Cemento Portlando tipo I <sup>a</sup>	bol	0.38	22.88	8.69
<b>Equipos</b>					<b>22.41</b>
	Mesa vibradora de 2HP <sup>a</sup>	h	2.00	6.00	12.00
	Mezcladora de 3 pies <sup>a</sup>	h	1.00	9.98	9.98
	Herramientas manuales <sup>a</sup>	%	2.00	21.63	0.43
<b>Costo directo por 1m<sup>2</sup> de adoquines:</b>					<b>61.40</b>
<b>Costo directo por adoquín (unidad):</b>					<b>1.23</b>

<sup>a</sup>Tomado de CAPECO (2003).

<sup>b</sup>Tomado de CICLO (2022).

<sup>c</sup>Tomando en cuenta que 1m<sup>2</sup> de adoquines equivale a 50 unidades.