

# **ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL**

**ESCUELA DE FORMACIÓN DE TECNÓLOGOS**

**ELABORACIÓN DE MENÚS PARA ENCAPSULAMIENTO DE  
RESIDUOS PELIGROSOS PARA LA EMPRESA HAZWAT.**

**COMPONENTE: ENCAPSULAMIENTO DE CENIZAS, LODOS Y  
CARBÓN ACTIVADO EN ADOQUINES.**

**TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR PRESENTADO COMO  
REQUISITO PARA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE TECNÓLOGO SUPERIOR  
EN AGUA Y SANEAMIENTO AMBIENTAL.**

**JOSELYN VALERIA LOOR JACOME**

Josselyn.loor@epn.edu.ec

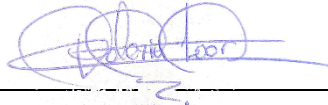
**DIRECTOR: Dra. VERÓNICA ELIZABETH MORALES CASA, MSC.**

Veronica.morales@epn.edu.ec

**DMQ, febrero 2022**

## **CERTIFICACIONES**

Yo, Josselyn Valeria Loor Jacome declaro que el trabajo de integración curricular aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.



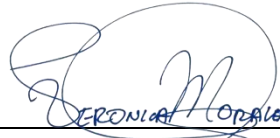
---

**JOSELYN VALERIA LOOR JACOME**

**josselyn.loor@epn.edu.ec**

**vale.loor@hotmail.com**

Certifico que el presente trabajo de integración curricular fue desarrollado por Josselyn Valeria Loor Jacome, bajo mi supervisión.



---

**VERÓNICA ELIZABETH MORALES CASA**

**DIRECTOR**

**veronica.morales@epn.edu.ec**

## **DECLARACIÓN DE AUTORÍA**

A través de la presente declaración, afirmamos que el trabajo de integración curricular aquí descrito, así como el producto resultante del mismo, son públicos y estarán a disposición de la comunidad a través del repositorio institucional de la Escuela Politécnica Nacional; sin embargo, la titularidad de los derechos patrimoniales nos corresponde a los autores que hemos contribuido en el desarrollo del presente trabajo; observando para el efecto las disposiciones establecidas por el órgano competente en propiedad intelectual, la normativa interna y demás normas.

JOSSELYN VALERIA LOOR JACOME

## **DEDICATORIA**

A mi madre Flavia Jacome, quien ha sabido formarme con buenos sentimientos, valores y hábitos, quien me apoyado en todo momento y me ha entregado su amor incondicional lo cual me ha ayudado a salir adelante en los momentos difíciles para alcanzar mis metas.

A mi padre, que desde el cielo me ilumina para seguir adelante.

A mis hermanos, por su apoyo incondicional.

A Christian, por su apoyo, ayuda y ser esa compañía que uno necesita al final del día. Gracias por demostrarme tu cariño siempre.

A mi familia, por sus consejos, palabras de aliento y que de una u otra forma me acompañan en mis metas.

Finalmente, a mis amigos y a las personas que he conocido a lo largo de la carrera, quienes me han ayudado a crecer en el ámbito académico y personal.

Josselyn Valeria Loor Jacome

## **AGRADECIMIENTO**

A todos quienes conforman la empresa Hazwat, por permitirnos visitar sus instalaciones y realizar este proyecto.

A los laboratorios del CICAM, LEMSUR y LDIA de la Facultad de Ingeniería Civil y Ambiental en la EPN, por su apoyo en la realización de análisis de laboratorio ejecutados en este proyecto.

A la fábrica de bloques y adoquines Hormaq, por ayudarnos en la elaboración de los adoquines en sus instalaciones.

A nuestros docentes de la carrera de Tecnología superior en agua y saneamiento ambiental, de la escuela de formación de tecnólogos en la Escuela politécnica nacional, por compartir sus conocimientos a lo largo de la carrera.

Finalmente agradezco a nuestra tutora de tesis Dra. Verónica Morales, por su valioso tiempo, paciencia y enseñanzas.

Y a cada una de las personas que de alguna manera colaboraron para que este proyecto surja.

Josselyn Valeria Loor Jacome

## INDICE DE CONTENIDOS

CERTIFICACIONES .....	1
DECLARACIÓN DE AUTORÍA .....	2
DEDICATORIA .....	3
AGRADECIMIENTO .....	4
INDICE DE CONTENIDOS .....	5
INDICE DE TABLAS .....	7
INDICE DE FIGURAS .....	8
RESUMEN .....	10
ABSTRACT .....	11
INTRODUCCIÓN .....	12
1 DESCRIPCIÓN DEL COMPONENTE DESARROLLADO.....	12
1.1 Objetivo general .....	13
1.2 Objetivos específicos .....	13
1.3 Alcance.....	13
1.4 Marco teórico.....	14
Residuos peligrosos .....	14
Gestión de residuos peligrosos .....	14
Encapsulamiento de residuos peligrosos .....	15
Contaminantes presentes en cenizas, lodos y carbón activado .....	15
Fabricación de adoquines .....	16
Lixiviación .....	18
2 METODOLOGÍA.....	20
2.1 Visita técnica de campo .....	20
2.2 Elaboración de menú de trabajo.....	20
2.3 Muestreo de los residuos peligrosos.....	20
2.4 Análisis físicos de cemento arena y residuos peligrosos.....	21
Ensayo de densidad aparente del cemento .....	21
Ensayo de densidad real del cemento .....	22
Ensayo de densidad aparente arena y residuos peligrosos.....	23
Ensayo de peso específico y absorción.....	23
Ensayo de granulometría arena y residuos peligrosos .....	24
Ensayo de contenido orgánico .....	24
Ensayo de contenido de humedad residuos peligrosos .....	25
2.5 Fabricación de adoquines.....	26
Dosificación .....	26

Mezclado.....	27
Moldeado .....	29
Secado.....	29
Curado .....	30
2.6 Pruebas mecánicas en adoquines.....	30
Pruebas de resistencia a la comprensión .....	30
Pruebas de absorción.....	32
2.7 Pruebas de lixiviación .....	33
2.8 Análisis en lixiviados .....	34
3 RESULTADOS .....	35
3.1 Inventario.....	35
3.2 Menú de trabajo .....	35
3.3 Resultado de los análisis físicos de los materiales de los adoquines .....	35
Densidad real y aparente del cemento .....	35
Densidad aparente de los materiales .....	36
Peso específico y absorción del árido fino.....	37
Granulometría de los materiales .....	37
Ensayo de contenido orgánico .....	38
Contenido de humedad .....	39
3.4 Fabricación de adoquines.....	40
Dimensiones .....	40
Acabados.....	41
3.5 Resultado de los ensayos mecánicos de los adoquines.....	43
Ensayos de resistencia .....	43
Ensayo de absorción .....	44
3.6 Resultados análisis de lixiviados .....	46
3.7 Informe técnico.....	48
3.8 Video del trabajo práctico .....	48
4 CONCLUSIONES .....	49
5 RECOMENDACIONES .....	50
6 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	52
7 ANEXOS.....	58
7.1 ANEXO I. Certificado de originalidad.....	58
7.2 Anexo II. Evidencia fotográfica de la metodología.....	65
7.3 ANEXO III. Inventario realizado en Hazwat.....	68
7.4 ANEXO IV. Resultado de los análisis físicos de los materiales.....	72

7.5	ANEXO V. Resultado de ensayos mecánicos y lixiviación. ....	83
7.6	ANEXO VI. Informe técnico.....	88

## INDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.1.</b>	Residuos peligrosos para encapsular y su lugar de procedencia. ....	13
<b>Tabla 1.2.</b>	Contaminantes potenciales en cenizas, lodos y carbón activado. ....	16
<b>Tabla 2.1.</b>	Cantidad de residuos muestreados por parte de la empresa Hazwat. ....	21
<b>Tabla 2.2.</b>	Dosificación para la fabricación de adoquines.....	27
<b>Tabla 3.1.</b>	Menú de materiales de trabajo, con sus características y procedencia.....	35
<b>Tabla 3.2.</b>	Tabla resumen de la densidad aparente y real del cemento.....	36
<b>Tabla 3.3.</b>	Resultados de densidad aparente del árido fino.....	36
<b>Tabla 3.4.</b>	Resultados de la gravedad específica y absorción de la arena. ....	37
<b>Tabla 3.5.</b>	Granulometría de <i>los materiales</i> . ....	38
<b>Tabla 3.6.</b>	Escala de color Gardner normalizado.....	39
<b>Tabla 3.7.</b>	Contenido de humedad de los residuos peligrosos.....	40
<b>Tabla 3.8.</b>	Dimensiones obtenidas en los adoquines.....	41
<b>Tabla 3.9:</b>	Comparación de las resistencias a la compresión con la normativa INEN.....	43
<b>Tabla 3.10.</b>	Resultado de absorción en adoquines.....	46
<b>Tabla 3.11.</b>	Comparación de los análisis de lixiviados con la normativa.....	47
<b>Tabla 7.1.</b>	Inventario galpón de fármacos.....	68
<b>Tabla 7.2.</b>	Inventario galpón de químicos.....	68
<b>Tabla 7.3.</b>	Inventario bloque 2 refinerías.....	69
<b>Tabla 7.4.</b>	Inventario galpón de pinturas y resinas. ....	70
<b>Tabla 7.5.</b>	Inventario galpón de aceites y grasas.....	71



## INDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.1.</b> Jerarquía en la gestión de residuos .	15
<b>Figura 2.1.</b> Pesaje de residuos peligrosos.	28
<b>Figura 2.2.</b> Adición de la cantidad de agua a la mezcla.	28
<b>Figura 2.3.</b> Mezcla manual de los residuos peligrosos.	28
<b>Figura 2.4.</b> Mezcla mecánica para los adoquines.	29
<b>Figura 2.5.</b> Moldeado de adoquines en vibro-compactadora.	29
<b>Figura 2.6.</b> Secado de adoquines.	30
<b>Figura 2.7.</b> Pesaje de los adoquines.	31
<b>Figura 2.8.</b> Alisado de superficies de los adoquines.	31
<b>Figura 2.9.</b> Rotura de adoquines.	31
<b>Figura 2.10.</b> Prueba de resistencia a la compresión en adoquines.	32
<b>Figura 2.11.</b> Prueba de absorción en adoquines.	32
<b>Figura 2.12.</b> Agua destilada para los adoquines.	33
<b>Figura 2.13.</b> Rotulación de los recipientes con los adoquines de cada dosificación.	33
<b>Figura 2.14.</b> Llenado de recipientes con agua destilada.	33
<b>Figura 2.15.</b> Toma de muestras de lixiviados.	33
<b>Figura 2.16.</b> Análisis en lixiviados.	34
<b>Figura 3.1.</b> Curvas granulométricas de los materiales.	38
<b>Figura 3.2.</b> Contenido orgánico en el árido fino.	39
<b>Figura 3.3.</b> Geometría y dimensiones del adoquín tipo cruz .	41
<b>Figura 3.4.</b> Adoquines de las distintas dosificaciones.	42
<b>Figura 3.5.</b> Adoquín con 10 % de residuos peligrosos.	42
<b>Figura 3.6.</b> Adoquín con 15% de residuos peligrosos.	42
<b>Figura 3.7.</b> Adoquín con 20% de residuos.	43
<b>Figura 3.8.</b> Curva resistencia vs Absorción.	46
<b>Figura 7.1.</b> Levantamiento de información de los galpones de almacenamiento.	65
<b>Figura 7.2.</b> Entrega de residuos peligrosos por parte de la empresa.	65
<b>Figura 7.3.</b> Residuos trasladados a la adoquinera Hormaq.	65
<b>Figura 7.4.</b> Toma de muestras para los análisis físicos.	65
<b>Figura 7.5.</b> Secado de la arena y residuos peligrosos.	66
<b>Figura 7.6.</b> Peso del cemento compactado.	66
<b>Figura 7.7.</b> Frasco de Le Chatelier con gasolina.	66
<b>Figura 7.8.</b> Granulometría en arena.	66
<b>Figura 7.9.</b> Llenado del recipiente cilíndrico.	66
<b>Figura 7.10.</b> Compactado de la arena en el recipiente.	67

<b>Figura 7.11.</b> Quitado del exceso de arena del recipiente. ....	67
<b>Figura 7.12.</b> Pesaje del recipiente más la arena. ....	67
<b>Figura 7.13.</b> Pesaje del análisis de peso específico. ....	67
<b>Figura 7.14.</b> Ensayo de contenido de humedad de los residuos peligrosos. ....	67
<b>Figura 7.15.</b> Resultado de densidad real de cemento. ....	72
<b>Figura 7.16.</b> Resultado de densidad aparente de cemento. ....	73
<b>Figura 7.17.</b> Resultado densidad aparente arena. ....	74
<b>Figura 7.18.</b> Resultado densidad aparente cenizas. ....	75
<b>Figura 7.19.</b> Resultado densidad aparente carbón. ....	76
<b>Figura 7.20.</b> Resultado de gravedad específica y absorción. ....	77
<b>Figura 7.21.</b> Resultado análisis granulométrico arena. ....	78
<b>Figura 7.22.</b> Resultado análisis granulométrico cenizas. ....	79
<b>Figura 7.23.</b> Resultado de análisis granulométrico carbón activado. ....	80
<b>Figura 7.24.</b> Resultado de contenido orgánico arena. ....	81
<b>Figura 7.25.</b> Resultado de contenido de humedad de agregados. ....	82
<b>Figura 7.26.</b> Resultado de compresión en adoquines. ....	83
<b>Figura 7.27.</b> Resultado de análisis de absorción en adoquines. ....	84
<b>Figura 7.28.</b> Resultado de absorción en adoquines. ....	85
<b>Figura 7.29.</b> Resultado de análisis de lixiviación blanco. ....	86
<b>Figura 7.30.</b> Resultado de lixiviación adoquín con 20 % de residuo peligroso. ....	87

## RESUMEN

El presente proyecto tuvo como finalidad evaluar la eficacia del uso de residuos peligrosos provenientes del centro de remediación Hazwat en el encapsulamiento en adoquines. Se realizaron visitas de campo en la empresa, de las cuales se obtuvo información para la propuesta de un menú con los residuos peligrosos para el encapsulamiento, siendo estos cenizas de incineración, lodos y carbón activado. La caracterización física de los residuos se llevó a cabo en el laboratorio del LEMSUR (FICA). Posteriormente, con dosificaciones de 10, 15 y 20 % de residuos se elaboraron los adoquines, y luego pasaron a la etapa de fraguado por 14 días. A continuación, se realizaron ensayos de absorción y resistencia en el laboratorio de LEMSUR (FICA), y con las dosificaciones que cumplieron la norma INEN 1688, fueron sometidos a ensayos de lixiviación para la determinación de metales pesados en el laboratorio del CICAM.

Como resultado se obtuvo que la mejor dosificación fue del 20% con una resistencia promedio de 20 Mpa para tránsito peatonal y con una absorción de 9.9 %. En cuanto a la determinación de metales pesados en los lixiviados ninguno sobrepaso los límites máximos permisibles de las normativas EPA 1311 y Tulsma libro VI Anexo 1, tabla 9.

Finalmente, se elaboró un informe técnico con los resultados obtenidos a fin de proporcionar información base para futuros estudios de encapsulamiento con los residuos peligrosos utilizados.

**PALABRAS CLAVE:** Encapsulamiento, lixiviado, resistencia, absorción, metales pesados, cenizas.

## **ABSTRACT**

The purpose of this project was to evaluate the effectiveness of the use of hazardous wastes from the Hazwat remediation center in the encapsulation of paving stones. Field visits were made to the company, from which information was obtained for the proposal of a menu with hazardous wastes for encapsulation, these being incineration ashes, sludge and activated carbon. The physical characterization of the wastes was carried out in the LEMSUR laboratory (FICA). Subsequently, the pavers were made with dosages of 10, 15 and 20 % of waste, and then went through the setting stage for 14 days. Next, absorption and resistance tests were carried out at the LEMSUR (FICA) laboratory, and with the dosages that complied with INEN 1688, they were subjected to leaching tests for the determination of heavy metals at the CICAM laboratory.

As a result, the best dosage was 20% with an average resistance of 20 Mpa for pedestrian traffic and an absorption of 9.9%. As for the determination of heavy metals in the leachates, none exceeded the maximum permissible limits of EPA 1311 and Tulsma Book VI Annex 1, Table 9.

Finally, a technical report was prepared with the results obtained in order to provide basic information for future encapsulation studies with the hazardous wastes used.

**KEY WORDS:** Encapsulation, leachate, resistance, absorption, heavy metals, ashes.

# INTRODUCCIÓN

## 1 DESCRIPCIÓN DEL COMPONENTE DESARROLLADO

El objetivo del centro de remediación ambiental Hazwat, ubicado en el cantón Cayambe-km 37, donde se llevó a cabo el presente estudio es gestionar los residuos peligrosos y especiales de las industrias en Ecuador. El centro cuenta con varias opciones de tratamiento para estos residuos como: incineración, trituración y compactación, celda de seguridad y estabilización, inactivación por autoclave, tratamiento de aguas grises y negras entre otros [1].

Con el desarrollo de este proyecto, se plantea una alternativa de tratamiento para estos residuos peligrosos, que a su vez contribuirá al desarrollo del proyecto elaboración de menús para encapsulamiento de residuos peligrosos para la empresa Hazwat.

Lo que se plantea es encapsular en adoquines cenizas, lodos y carbón activado (residuos peligrosos), como porcentaje sustituyente del árido en el adoquín. Para lo cual, se desarrollaron visitas de campo en la empresa, para obtener información de los residuos peligrosos que gestionan, cantidades que disponen, estados de agregación en los que se encuentra y su lugar de procedencia.

Posteriormente, se elaboró un menú de trabajo, con los residuos peligrosos gestionados por la empresa para su encapsulamiento en adoquines. Se realizó tres dosificaciones diferentes (10%, 15%, 20%) con cenizas, lodos de separación de aceites y carbón activado. Para la calidad se consideró los requisitos necesarios para la fabricación de adoquines en hormigón, planteados en la INEN 1488: Adoquines requisitos.

Y en los adoquines elaborados se realizó pruebas mecánicas de resistencia y absorción, para verificar la viabilidad técnica de acuerdo con la norma INEN 1488. Adicionalmente se realizó pruebas de lixiviación para determinar si existe la liberación de contaminantes potenciales al medio ambiente (metales pesados). Finalmente, dependiendo de los resultados obtenidos se realizará un reporte a Hazwat través de un informe o manual.

A continuación, se describe los materiales utilizados en la tabla 1.1 para el proceso mencionado y su lugar de procedencia.

**Tabla 1.1.** Residuos peligrosos para encapsular y su lugar de procedencia.

<b>Material a encapsular</b>	<b>Lugar de procedencia</b>
<b>Cenizas</b>	Fondo de cámara de combustión del proceso de incineración.
<b>Lodos</b>	Lodos de separación de aceite.
<b>Carbón activado</b>	Industrias refinerías de petróleo.

Fuente: Elaboración propia.

## **1.1 Objetivo general**

Estudiar la viabilidad técnica del encapsulamiento de residuos peligrosos como cenizas, lodos y carbón activado provenientes de la empresa gestora de residuos HAZWAT, en adoquines.

## **1.2 Objetivos específicos**

- Realizar un inventario de los residuos que se encuentran en los diferentes galpones de la empresa.
- Definir un menú con residuos peligrosos de Hazwat para ser usados como componentes en la fabricación de adoquines.
- Fabricar adoquines con los residuos peligrosos seleccionados.
- Realizar ensayos de resistencia mecánica, absorción y lixiviación de los adoquines para determinar su viabilidad técnica.
- Elaborar un manual con el procedimiento de la encapsulación de los residuos peligrosos en adoquines, con las dosificaciones que cumplan con la normativa de resistencia mecánica y lixiviación. Caso contrario se emitirá un informe técnico con los resultados presentados.

## **1.3 Alcance**

Después de varias visitas a la empresa, se realizó un inventario de los tipos de residuos peligrosos que disponen, características, estado de agregación, envases en los que se encuentra y su lugar de procedencia. Con esta información se desarrolló un menú de trabajo con tres tipos de residuos peligrosos: cenizas, lodos de separación de aceites y

carbón activado. A los cuales se realizaron ensayos físicos, para posteriormente ser encapsulados en adoquines, para esto se integró tres mezclas con dosificaciones diferentes de residuos en el adoquín de 10%, 15% y 20%.

Posteriormente, con el producto final encapsulado en el adoquín se realizó pruebas de resistencia mecánica a la compresión, absorción y pruebas de lixiviación, se comparó con la normativa correspondiente para identificar su posible uso en actividades de construcción. Finalmente se emitirá un reporte a Hazwat con los resultados obtenidos en este estudio.

## **1.4 Marco teórico**

### **Residuos peligrosos**

Los residuos peligrosos se pueden encontrar en diferentes estados de agregación: sólidos, líquidos, pastosos y gaseosos en recipientes. Estos presentan una amenaza potencial a la salud pública o a los organismos vivos, además de causar efectos adversos al medio ambiente. Son producto de origen industrial, agrícola o doméstico [2].

Estos pueden ser muy numerosos y presentar una o varias de las características peligrosas enumeradas en el acuerdo ministerial 061, título III, capítulo VI como: corrosivo, reactivo, tóxico, inflamable y biológico infeccioso (C.R.T.I.B), [3]. Se diferencian de los residuos urbanos, ya que presenta sustancias tóxicas, metales pesados como: arsénico, mercurio, cadmio, vanadio, etc. Estos residuos peligrosos necesitan una gestión específica, desde su origen hasta su eliminación, además que pueden causar daño por inhalación, ingestión o absorción cutánea [4].

### **Gestión de residuos peligrosos**

Históricamente la gestión de residuos peligrosos vivía centrada en una búsqueda de soluciones para la disposición final. Actualmente ha tomado una guía más integral, que cubre el ciclo de vida de los productos y de estos residuos. Sin embargo, la disposición final sigue siendo necesaria, pero es una unidad más de la gestión de residuos.

Dentro de la gestión de residuos sigue siendo necesario definir una jerarquía en las estrategias de gestión como lo muestra la siguiente figura 1.1 , dejando como la disposición final una última opción de manejo [5].



**Figura 1.1.** Jerarquía en la gestión de residuos [5].

El objetivo de la disposición final de residuos peligrosos es disminuir la peligrosidad y reducir el volumen, se conocen algunos procesos de tratamiento como: térmicos, fisicoquímicos, biológicos y estabilización- solidificación. Además estos procesos pueden producir otros residuos, emisiones y efluentes, que necesitan tratamientos adicionales [5], un ejemplo son las cenizas de incineración en un proceso térmico.

### **Encapsulamiento de residuos peligrosos**

El encapsulamiento de residuos peligrosos corresponde a un proceso de solidificación. Este reduce o evita en gran escala liberación de compuestos químicos nocivos en un residuo peligroso. Consiste en un sólido monolítico de alta integridad estructural, esta puede ser en finas partículas (micro encapsulamiento) o a gran escala en una celda de seguridad (macro encapsulamiento),[6].

Esta técnica es recomendada para residuos básicamente inorgánicos, que no contenga más del 10 a 20% de materia orgánica, ya que sufren degradación por lo que no es viable el uso de esta técnica [5].

Existen diferentes tecnologías aplicadas en el encapsulamiento de residuos peligrosos y con distintos materiales como el polietileno, asfalto, poliéster, y butadieno. Un ejemplo es el proceso a base de cemento portland, donde los contaminantes quedan en la estructura. Este procedimiento es usado para metales pesados: el níquel y cobalto reemplazan al calcio; el cromo reemplaza al silicio; el plomo, cinc y cadmio precipitan como hidróxidos y carbonatos; el mercurio es encapsulado como óxido de mercurio [5].

### **Contaminantes presentes en cenizas, lodos y carbón activado**

La contaminación ambiental producida por los residuos peligrosos puede ocurrir en cualquiera de las fases de gestión, estos en su composición química pueden contener



ciertos elementos reactivos, componentes orgánicos y metales pesados o metaloides. Los mismos que han sido caracterizados por su potencial tóxico hacia las formas de vida, por la Agencia de Protección Ambiental de EE. UU. (EPA), ya que estos pueden ser nocivos en algunas formas de vida, en altas concentraciones mayores a las que se encuentran presentes en el ambiente.

Los residuos peligrosos que fueron usados en este estudio son cenizas, lodos y carbón activado. Las cenizas son el resultado de un proceso térmico de incineración de residuos peligrosos de industrias como farmacéutica, salud, plásticos, etc. En cambio, los lodos provienen de la separación de aceites de empresas jaboneras o de exploraciones mineras. Y el carbón activado es usado en la absorción de ciertos contaminantes en refinerías de petróleo.

En la siguiente tabla 1.2 se muestran los contaminantes más comunes en cenizas, lodos y carbón activado.

**Tabla 1.2.** Contaminantes potenciales en cenizas, lodos y carbón activado.

<b>Residuos</b>	<b>Contaminantes potenciales</b>
Cenizas de incineración	Mercurio, cadmio, cobre, cromo, níquel, plomo, vanadio, cinc, sulfato de sodio, calcio.
Lodos residuales	Plomo, mercurio, cinc, níquel, cobre, arsénico, constituyentes volátiles, aceites y grasas.
Carbón activado contaminado	Plata, mercurio, Vanadio, cadmio, arsénico, plomo, hidrocarburos totales.

Fuente: [7],[8],[9].

### **Fabricación de adoquines**

Se deben cumplir varias normas en la fabricación de adoquines, tanto en los agregados y el producto terminado. Estos son elaborados con una mezcla de cemento portland hidráulico, árido fino y agua. Las especificaciones a seguir son descritas en la Norma INEN 1488, [10].

#### **Cemento**

El cemento usado en la fabricación de adoquines cumplirá con las especificaciones de la norma INEN 152 Cemento Portland Requisitos, el mismo que debe ser de tipo hidráulico puzolánico, [11].

## **Áridos y agua**

Los áridos que van a ser usados en los adoquines deben cumplir con la Norma INEN 872 “Áridos para hormigón”. Estos ocupan del 70 al 80% del total del concreto, son los responsables de la resistencia, y de disminuir las retracciones por fraguado del hormigón [12],[13].

El árido fino no debe ser más del 45% pasante en cualquier tamiz y su número de finura no debe ser menor de 2,3 ni mayor que 3,1. Además este debe estar libre de impurezas orgánicas [13].

El agua que se usa en la mezcla y el curado debe estar en buen estado, evitando impurezas orgánicas como: lodo, algas y entre otros. Para evitar un deterioro gradual del hormigón [14].

## **Dosificación**

Este es el paso inicial para determinar las proporciones de cemento y árido a ser incluidos en el adoquín. La dosificación que se recomienda es 4:1 (árido, cemento), pero esta puede variar según recomendaciones del lugar de fabricación. El agua depende de la humedad de los materiales, por lo que se debe agregar poco a poco hasta obtener las características esperadas [12].

## **Mezclado**

Las mezclas de los materiales pueden ser manuales o mecánicas. Se debe incorporar primero los materiales en seco hasta obtener una composición de color uniforme, se añade el agua y se continúa mezclando. La duración debe ser aproximadamente de 4 minutos para que todo el árido este cubierto por el agua y el cemento. La mezcla manual no es muy recomendable ya que podrían darse resistencias hasta 50% más bajas [12].

## **Moldeado**

Una vez obtenida la mezcla esta se debe llevar a la moldeadora, lo más pronto posible, ya que se usa cemento de alta resistencia inicial y de rápido fraguado. Los moldes deben estar limpios, cuando ya se agrega la mezcla, pasa por un proceso de vibro-comprensión. El tiempo de vibración y compactación dependerá de la resistencia que se quiere obtener. Después se desmoldan en un tablero donde se deja secar [12].

## **Secado**

Luego de que los adoquines son desmoldados en los tableros, aquí se dejan secar. Esto puede llevar de 4 a 8 horas, también se recomienda levantar los adoquines del tablero en las siguientes 4 a 8 horas o al día siguiente de su fabricación.

## **Curado**

Aquí se da el endurecimiento del adoquinado mediante una reacción entre el cemento y el agua. Por lo que se debe regar diariamente para conservar la humedad del concreto. El tiempo de fraguado los primeros 7 días son los más importantes ya que se desarrolla una resistencia de alrededor del 80%, de la resistencia característica de los 28 días. Una vez culminado este tiempo se puede realizar el ensayo de compresión [12].

## **Lixiviación**

La lixiviación es un proceso de tratamiento de un mineral u otra sustancia que entra en contacto con un disolvente, de manera tal que las partes insolubles se separan de las partes solubles. Los elementos contaminantes son liberados en la fase acuosa de la fase sólida o matriz sólida [15].

Estas pruebas han demostrado ser una herramienta útil para la estimación de efectos medioambientales, ya que el contenido de un contaminante en un material como el suelo u otro residuo sólido no es determinante, sino su capacidad de ser movido hacia el agua. Estos resultados se consideran para la disposición de residuos y en el beneficio para el reusó de materiales en la construcción [16].

En el caso de reusó de este tipo de residuos en la construcción, resuelve problemáticas tanto para la disposición final y la explotación de materiales vírgenes para la construcción, pero estos deben ser evaluados no solo de una forma geotécnica si no también ambiental, para conocer los riesgos potenciales con el ambiente [16].

Según [16], en una matriz sólida las interacciones de contaminantes podrían darse movilizadas por el aire, la infiltración por lluvia o envejecimiento de la estructura por condiciones climáticas. Por lo que se ve necesaria esta prueba ya que permite determinar la movilidad de los contaminantes que pueden resultar nocivos para el medio ambiente.

Estas pruebas de lixiviación pueden realizarse en materiales de construcción, residuos y suelos granulares o compactos, por lo que la Agencia para Protección Ambiental en USA (con sus siglas en inglés EPA), creó una red de evaluación de lixiviación ambiental, donde

se proponen métodos y condiciones de evaluación según las necesidades, existen alrededor de 7 métodos de lixiviación.

- Método 1311: Procedimiento de lixiviación característico de toxicidad (TCLP),[17].
- Método 1312: Procedimiento de lixiviación por precipitación sintética (SPLP),[18].
- Método 1313: Partición líquido- sólido en función del pH del extracto utilizando un procedimiento de extracción por lotes en paralelo [19].
- Método 1315: Tasas de transferencia de masa de constituyentes en materiales granulares compactos o monolíticos mediante un procedimiento de lixiviación en tanque semi-dinámico [20].
- Método 1316: En función de la relación sólido- líquido utilizando extracción por lotes en paralelo[21].
- Método 1320: Procedimiento de extracción de residuos aceitosos[22].

El método 1315, aplica para materiales creados en una sola pieza por cemento o materiales granulares compactados. Por lo que es el método adecuado para el ensayo de lixiviación en materiales de la construcción como bloques, adoquines, bordillos, tejas, etc. El proceso consiste en contener el material en un tanque con agua, en un tiempo base de 14 días [20].

## **2 METODOLOGÍA**

### **Nota aclaratoria**

Por políticas de la empresa Hazwat el muestreo de los residuos sólidos peligrosos utilizados fue realizado por el personal de la empresa.

La empresa no entregó los residuos peligrosos solicitados completos, por lo que se tuvo que variar en número y tipo de residuos a lo que se tenía planificado trabajar inicialmente.

Por limitaciones presupuestarias designadas a los análisis de laboratorio en este proyecto, no se realizó los análisis fisicoquímicos correspondientes a la caracterización de los residuos peligrosos.

Debido a la demanda del mercado ecuatoriano en cuanto a productos de construcción se optó por escoger los adoquines como matriz de encapsulamiento.

### **2.1 Visita técnica de campo**

Se realizaron visitas a la empresa con la finalidad de hacer un levantamiento de información de los residuos que gestionan. Se visitó a la empresa Hazwat, ubicada en Cayambe Km-37 dos veces por semana, durante un mes, luego se elaboró un inventario correspondiente a cada galpón de almacenamiento con los residuos que se disponía, descripción y estados de agregación de estos. Esta actividad se realizó para definir el menú de los residuos peligrosos que se usó en este estudio como materia prima para la elaboración de adoquines (Ver Anexo II, figura 7.1).

### **2.2 Elaboración de menú de trabajo**

Con la información obtenida en el inventario realizado, se definieron los residuos peligrosos a ser encapsulados en los adoquines. Para la elección de residuos se tomó en cuenta la disponibilidad en el centro de rehabilitación ambiental, las cantidades, lugar de procedencias, algunas características físicas como su estado de agregación y condiciones granulométricas. Los residuos peligrosos seleccionados fueron: cenizas, lodos y carbón.

### **2.3 Muestreo de los residuos peligrosos.**

El muestreo de todos los residuos peligrosos, de acuerdo con la política de la empresa, fue realizado por su personal, para lo cual, se solicitó el peso requerido por cada residuo, tanto

para los análisis físicos y la elaboración de los adoquines. Para cuantificar la cantidad de muestra requerida se realizó cálculos de la dosificación de adoquines, detallados en la tabla 2.3, tomando un adicional de un 10% en peso de residuos.

La cantidad de residuos muestreados se visualizan en la siguiente tabla 2.1. Los mismos que fueron entregados por parte de la empresa el día 17 de diciembre de 2021, y fueron trasladados a la fábrica de bloques y adoquines, donde se llevó el proceso de elaboración de estos, posterior se tomó la muestra requerida para los análisis físicos (Ver Anexo II, Figuras 7.2, 7.3 y 7.4).

**Tabla 2.1.** Cantidad de residuos muestreados por parte de la empresa Hazwat.

Residuo	Cantidad para fabricado de adoquines	Cantidad adicional 10%	Total
	kg	Kg	Kg
<b>Cenizas</b>	20	2	22
<b>Lodos</b>	10	1	11
<b>Carbón activado</b>	19	2	20
<b>Total</b>			53

Fuente: Creación propia.

## 2.4 Análisis físicos de cemento arena y residuos peligrosos.

Los análisis físicos se dividieron en dos etapas, la primera en la caracterización física de cemento y árido mixto que se usó en la fabricación de adoquines y segunda en la ceniza y carbón activado. Los análisis se llevaron a cabo en el laboratorio LEMSUR de la Facultad de Ingeniería Civil y Ambiental de la Escuela Politécnica Nacional. Para la caracterización física de la arena y los residuos estos se secaron previamente por 24 horas, (Ver Anexo II, figura 7.5).

### Ensayo de densidad aparente del cemento

El ensayo de densidad aparente suelta se realizó con base en la norma INEN 858:2010. Para lo cual se usó un recipiente cilíndrico, en el cual se pesó y tomó medidas de diámetro y altura (P1, Ø, H). Luego se agregó el cemento hasta llenar completamente el envase, se quitó el exceso y se pesó nuevamente (P2S), se registraron estos pesos.

Para la densidad aparente compactada, el cemento se fue agregando de poco a poco en dos capas y se fue compactando, dejando caer el recipiente a una altura máxima de dos

centímetros, hasta llenar el envase y se tomó el peso final (P2C), (Ver Anexo II, figura 7.6). Este ensayo se realizó por duplicado. Para el cálculo de la densidad aparente suelta y compacta se usó la ecuación 2.1 y 2.2, respectivamente.

$$\delta_{Suelta} = \frac{(P2S-P1) (gr)}{V (cm3)}$$

**Ecuación 2-1.** Densidad suelta en función del peso suelto [23].

$$\delta_{Compactada} = \frac{(P2C-P1) (gr)}{V (cm3)}$$

**Ecuación 2-2.** Densidad compactada en función del peso compactado[23].

Donde:

P2S= Peso del cemento suelto en el recipiente, en gr.

P2C= Peso del cemento compactado en el recipiente, en gr.

P1= Pero del recipiente vacío, en gr.

V= Volumen del recipiente, en cm<sup>3</sup>.

### **Ensayo de densidad real del cemento**

Para determinar la densidad real del cemento se tomó el procedimiento dado por la norma ASM C188. Siguiendo los pasos del método con el frasco de Le Châtelier. Para iniciar se pesó el cemento alrededor de 64 g, y se llenó el frasco de Le Châtelier con gasolina hasta la marca entre 0 cm<sup>3</sup> y 1 cm<sup>3</sup>. Luego, se tomó el valor exacto del volumen y se pesó el frasco con la gasolina. Posteriormente, se introdujo en una tina con agua, está debe tener una temperatura de 23 °C ± 2 (Ver Anexo II, figura 7.7).

Inmediatamente, se introdujo de poco a poco el cemento previamente pesado, para evitar que se adhiera al interior del frasco. Posteriormente, se colocó el tapón y se agitó levemente de forma horizontal para liberar el aire y se tomó la medida del volumen desplazado y el peso final. En análisis se realizó por duplicado. Para el cálculo final se utilizó la ecuación 2.3.

$$\delta_{Real} = \frac{P2-P1 (gr)}{V2-V1 (cm3)}$$

**Ecuación 2-3.** Densidad real método Le Chatelier [23].

Donde:

$\delta_{Real}$  = Densidad real, en gr /cm<sup>3</sup>.

P1 = Peso del frasco con gasolina, en gr.

P2=Peso del frasco con gasolina y cemento, en gr.

V1= Lectura de volumen en el cuello inferior del frasco, cm<sup>3</sup>.

V2= Lectura del volumen desplazado en el cuello superior del frasco, en cm<sup>3</sup>.

### **Ensayo de densidad aparente arena y residuos peligrosos**

El presente ensayo se ejecutó en el árido fino y los residuos peligrosos, con base en la norma INEN 858:2010. Para lo cual se usó un recipiente cilíndrico, en el cual se pesó y tomó medidas de diámetro y altura (P1, Ø, H). Luego se agregó el material hasta llenar completamente el envase, se quitó el exceso con ayuda de una varilla y se pesó nuevamente (P2S, se registraron los pesos).

Para la densidad aparente compactada, el material se agregó de poco a poco en dos capas y se compactó, con la misma varilla, hasta llenar el envase y se tomó el peso final (P2C), (Ver Anexo II, figuras 7.9,7.10,7.11 y 7.12). Este ensayo se realizó por duplicado. Para el cálculo de la densidad aparente suelta y compacta se usó la ecuación 1.1 y 1.2, respectivamente.

### **Ensayo de peso específico y absorción**

Este ensayo se realizó con base en la norma INEN 856:2010: Áridos. Determinación de la densidad relativa y absorción en el árido fino. Se pesó alrededor de 1 kg de muestra, se lavó el material ya que contenía polvo hasta que el agua quedo cristalina. Luego se dejó reposar el árido por 24 h en el agua, con altura aproximada de 2 cm. Pasada las 24 h la muestra está saturada, se dejó secar hasta que este superficialmente seco.

Para saber si la muestra se encontraba en ese punto se agregó en un cono y se compactó con 25 golpes, y se sacó del molde si la muestra se desborona completamente está demasiado seca, y si se queda muy firme tiene mucha humedad. Una vez que se obtuvo la muestra SSS se pesó aproximadamente 300 gr. Luego se llenó el picnómetro con 500ml, a este se adicionó la muestra SSS, se sacó el aire con una bomba de vacío por 10 minutos y se tomó el peso del recipiente. Luego se dejó secar el material por 24 h y se tomó el peso nuevamente (Ver Anexo II, figura 7.7).



## Ensayo de granulometría arena y residuos peligrosos

El ensayo de granulometría se determinó con base en el método definido por la ASTM C33M-13, y el árido analizado debe cumplir con la normativa INEN 872. Este ensayo se realizó tanto para el árido mixto y los residuos peligrosos.

Se pesó alrededor de 500 gr, luego se colocó ocho tamices de aberturas de 9,5; 4,75; 2,36; 1,18; 0,6; 0,3; 0,15; 0,075 mm; ordenados desde la abertura mayor hasta la menor. Se agregó la muestra previamente pesada y se dio pequeños movimientos, hasta que el material paso por todas las aberturas. Se registró en peso retenido en cada tamiz (Ver Anexo II, figura 7.8). Finalmente, para conocer el porcentaje de material que pasa por cada tamiz y el porcentaje acumulado se usó las ecuaciones 2.4, 2.5, 2.6 [23].

$$\% \text{ retenido} = \frac{\text{Peso de cada tamiz} + 100}{\text{Peso total de la muestra}}$$

**Ecuación 2-4.** % de peso retenido.

$$\% \text{retenido acumulado} = \frac{\% \text{retenido en cada tamiz}}{100}$$

**Ecuación 2-5.** % retenido acumulado

$$\% \text{ que pasa} = 100\% - \% \text{retenido acumulado.}$$

**Ecuación 2-6.** % de material que pasa.

## Ensayo de contenido orgánico

Este ensayo se realizó con el fin de evaluar si existe cantidad orgánica en la arena o si la cantidad existente se encuentra dentro de la Norma INEN 855:2010: Determinación de impurezas orgánicas en el árido fino para hormigón. Se siguió el procedimiento dado por la norma ASTM C40M-11.

En una botella de vidrio transparente y graduada, se llenó con arena hasta los 130 ml, luego se añadió la solución de hidróxido de sodio al 3% hasta completar los 200 ml, y se dejó reposar por 24 horas. Finalmente, pasado este tiempo se comparó la coloración del líquido, con la norma INEN 855, como se muestra en el Anexo II, figura 7.13.

## Ensayo de contenido de humedad residuos peligrosos

El contenido de humedad de un sólido puede expresarse en base húmeda y base seca, pero en el secado de sólidos es más conveniente referir a la humedad en base seca [24].

En este ensayo el contenido de humedad (en base seca) se realizó para las cenizas y el carbón activado, según la Norma ASTM C566, que se usa específicamente para los agregados de hormigón. Inicialmente se pesaron los recipientes vacíos, luego se agregó la ceniza y el carbón activado en cada recipiente y se registró el peso nuevamente. Inmediatamente, los recipientes con las muestras pesadas previamente se metieron en la estufa por 24 horas. Finalmente se registró el peso del recipiente más la muestra seca (Ver Anexo II, figura 7.14).

El contenido de humedad en base seca representa la masa de agua de un material comparada con la masa seca. Mientras que en base húmeda indica el porcentaje de masa de agua que contiene la muestra con respecto a su masa total, es decir, la masa de agua es menor o igual a la masa total del material, por lo que esta no puede ser mayor al 100 %, pero si este supera el 50% el resultado en base seca será mayor a 100% [25].

En la siguiente figura 2.1 se puede observar a modo de ejemplo que el contenido de humedad base húmeda (Hbh) no sobrepasa el 100 %, mientras que en base seca (Hbs) puede ser mayor al 100 %.

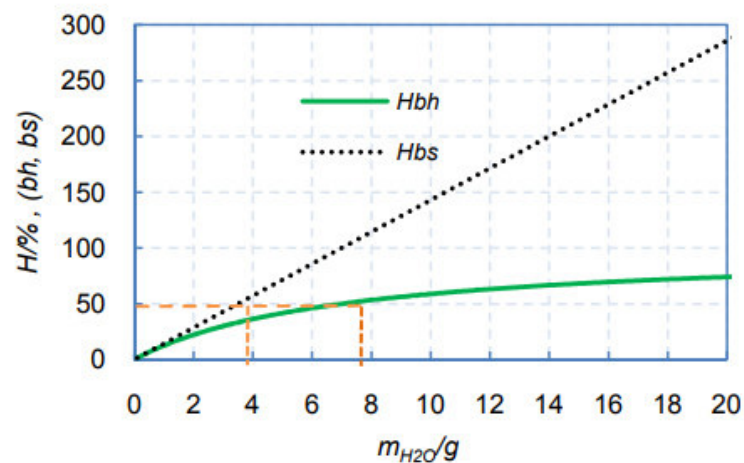


Figura 2.1. Contenido de humedad en base seca y base húmeda [25].

Para el cálculo del porcentaje humedad en base seca se usó la siguiente ecuación 2.7.

$$Hbs (\%) = \left( \frac{Mh - Ms}{Ms} \right) \times 100\%$$

**Ecuación 2-7.** Porcentaje de humedad en base seca [25].

Donde:

Hbs = Porcentaje de humedad en base seca total, en %.

Mh= Peso del material húmedo, en gr.

Ms=Peso del material seco, en gr.

Adicionalmente se calculó el porcentaje de humedad en base húmeda de los residuos con la siguiente ecuación 2.8.

$$\% Hbh = \frac{Ms}{Mh} \%Hbs$$

**Ecuación 2-8.** Porcentaje de humedad en base húmeda [26].

Donde:

Hbh = Porcentaje de humedad en base húmeda total, en %.

Mh= Peso del material húmedo, en gr.

Ms=Peso del material seco, en gr.

## 2.5 Fabricación de adoquines

Los residuos peligrosos seleccionados fueron trasladados a la fábrica de bloques y adoquines Hormaq, ubicado en la entrada a Nayón. Para la elaboración de adoquines se tomó como referencia la experiencia del fabricante, la misma que tiene relación con un manual de procesos constructivos del adoquinado, escrito por María Cabezas Fierro [12].

### Dosificación

Para la dosificación de los adoquines, los cálculos fueron tomados de un volumen mayor para 66 adoquines, los mismos que se fabrican a partir de un quintal de cemento y 8 carretillas de árido mixto (98 kg por carretilla), con estos datos se calculó la cantidad

necesaria para 11 adoquines por dosificación, el cemento usado fue Armaduro Tipo IP de alta resistencia inicial.

Se seleccionaron 3 dosificaciones de residuos peligrosos que conformaron el adoquín de 10, 15 y 20 %. Para la dosificación de 10% se tomó en partes iguales el porcentaje de cenizas, lodos y carbón activado. Para la dosificación de 15 %, se disminuyó el porcentaje de lodos, porque según revisión bibliográfica el lodo húmedo, disminuye la resistencia en adoquines [27]. Para la dosificación del 20 % se disminuyó, el porcentaje de cenizas, ya que estudios indican que esta disminuye la resistencia en hormigón [28].

Los cálculos obtenidos se muestran en la siguiente tabla 2.2, para 11 adoquines por dosificación, además se detalla el porcentaje exacto que se usó de cada residuo por cada dosificación. Los residuos peligrosos reemplazaron al árido mixto.

**Tabla 2.2.** Dosificación para la fabricación de adoquines.

Componentes	Dosificación 1		Dosificación 2		Dosificación 3		TOTAL, kg
	Porcentaje	Peso kg	Porcentaje	Peso kg	Porcentaje	Peso kg	
Cenizas	3.3	3.53	9	9.6	6	6.4	20
Lodos	3.3	3.53	2	2.1	4	4.3	10
Carbón activado	3.3	3.53	4	4.3	10	10.7	19
Árido fino	82	88.02	77.2	82.6	72.2	77.2	248
Cemento	7.8	8.34	7.8	8.3	7.8	8.3	25

Fuente: Elaboración propia.

### Mezclado

Inicialmente, se pesaron los residuos peligrosos, el cemento y el árido fino con base a la dosificación previamente planteada, (Ver figura 2.1). Después de realizar el pesaje de los materiales, para las dos principales dosificaciones de 10 y 15 % se realizó una mezcla manual, (Ver figura 2.2).

Para la dosificación de 20 % se ejecutó una mezcla mecánica, para luego llevarlo a la máquina moldeadora, (Ver figura 2.4). La cantidad de agua se adicionó con base a la humedad de los otros materiales (Ver figura 2.3). Adicional se fabricaron adoquines sin residuos peligrosos para usarlos como blanco.



**Figura 2.1.** Pesaje de residuos peligrosos.



**Figura 2.2.** Adición de la cantidad de agua a la mezcla.



**Figura 2.3.** Mezcla manual de los residuos peligrosos.



**Figura 2.4.** Mezcla mecánica para los adoquines.

### **Moldeado**

Una vez obtenida la mezcla, esta fue llevada a los moldes de 22cm x 24cm X 8cm, de un adoquín tipo cruz, dentro de una máquina de vibro- compactación. Luego se retiró el exceso de material en los adoquines y se colocaron en un tablero que está bajo los moldes, para el posterior curado y secado, como se muestra en la figura 2.5. Se obtuvieron un total de 11 adoquines por dosificación, y 11 adoquines blancos.



**Figura 2.5.** Moldeado de adoquines en vibro-compactadora.

### **Secado**

Según el manual de procesos constructivos del adoquinado de María Cabezas Fierro [12], los adoquines se pueden levantar de 4 a 8 horas después de su fabricación, por recomendación del fabricante se esperó 4 días. Durante los cuales se realizó el proceso de secado como se muestra en la figura 2.6.





**Figura 2.6.** Secado de adoquines.

### **Curado**

El curado se realizó por los siguientes días, hasta trasladarlos al laboratorio de LEMSUR y prepararlos para las pruebas mecánicas. Normalmente este se debe curar 28 días, pero el adoquín a los 7 días ya adquiere el 80% de resistencia [12], por lo que las pruebas se pueden hacer a partir de los 7 días.

## **2.6 Pruebas mecánicas en adoquines**

### **Pruebas de resistencia a la compresión**

Para las pruebas de resistencia a la compresión en adoquines se usaron 3 adoquines por dosificación más los 3 adoquines del blanco. Inicialmente se tomó el peso de los adoquines, y las dimensiones de estos, para obtener el área de contacto en  $\text{cm}^2$  de los adoquines, (Ver figura 2.7). Después se alisaron las superficies de los adoquines, para que la plancha presione al adoquín en toda el área por igual y la resistencia no sea menor, (Ver imagen 2.8).

La rotura de los adoquines se realizó a los 14 días, por limitaciones de tiempo para el desarrollo de este estudio (Ver figura 2.9 y 2.10). Pero para obtener la resistencia a los 28 días se utilizó la siguiente ecuación 2.7, [29].

$$R_t = R_{28} \frac{at^{2/3}}{b+t^{2/3}}$$

**Ecuación 2-9.** Fórmula de Ross, resistencia a los 28 días.

Donde:

$R_t$ = Tensión característica o específica a “t” días, en Mpa.

$R_{28}$ = Tensión características o específica a los “28” días, en Mpa.

T= Tiempo en “días”.

a = 1,36 para hormigón de cemento portland normal.

b= 3,91 para hormigón de cemento portland normal.



**Figura 2.7.** Pesaje de los adoquines.



**Figura 2.8.** Alisado de superficies de los adoquines.



**Figura 2.9.** Rotura de adoquines.





**Figura 2.10.** Prueba de resistencia a la compresión en adoquines.

### **Pruebas de absorción**

Las pruebas de absorción se realizaron con base en la normativa NTE INEN 3040. Inicialmente, se codificaron los 3 adoquines por cada dosificación más los adoquines del blanco. Luego, se metieron en tanques con agua, el nivel del agua 15 cm sobre el adoquín. Los adoquines se dejaron sumergidos por 3 días y se tomó el peso del adoquín saturado con agua. Después, estos fueron metidos en un horno por tres días, (Ver figura 2.11). Pasado este tiempo se tomó el peso seco, para el cálculo del porcentaje de absorción.

Con el objetivo de obtener el valor de absorción a los 28 días, para que pueda ser comparado con la norma, se correlaciono el porcentaje de absorción a los 14 días y la resistencia mecánica a los 14 días, y se realizó una regresión a través de un ajuste de la curva obtenida [29].



**Figura 2.11.** Prueba de absorción en adoquines.

## 2.7 Pruebas de lixiviación

Una vez obtenido los resultados de los ensayos de resistencia a la compresión, las dosificaciones que cumplieron con la normativa INEN1688, fueron sometidos a pruebas de lixiviación.

Estos análisis se realizaron de acuerdo con la metodología de la EPA-1315- Tasas de transferencia de masa de constituyentes en materiales granulares monolíticos o compactos. Inicialmente, se sumergieron los adoquines en agua destilada, un adoquín en cada recipiente para simular una escorrentía, (Ver figura 2.12, 2.13 y 2.14). Los recipientes se almacenaron en un lugar cerrado para evitar la contaminación con agentes externos. Finalmente, los adoquines se mantuvieron sumergidos por 14 días que es el tiempo planteado por la técnica para obtener el lixiviado. Las muestras fueron tomadas en frascos estériles para el análisis de metales pesados, (Ver figura 2.15).



**Figura 2.12.** Agua destilada para los adoquines.



**Figura 2.13.** Rotulación de los recipientes con los adoquines de cada dosificación.



**Figura 2.14.** Llenado de recipientes con agua destilada.



**Figura 2.15.** Toma de muestras de lixiviados.

## 2.8 Análisis en lixiviados

Los análisis de metales pesados fueron realizados en el laboratorio de LDIA en la facultad de Civil y Ambiental y en el laboratorio del CICAM.

Para las lecturas de metales en el laboratorio de LDIA se realizaron ensayos por espectrofotometría en base al manual HACH (Ver figura 2.16) para: cromo hexavalente el método 8023, para Zinc el método 8009, para níquel y cobalto el método 8150. Para los metales arsénico, cadmio, plomo y vanadio la lectura se llevó a cabo en el laboratorio del CICAM, mediante el método de referencia PE-V-62 de la EPA 7010 por absorción atómica.



**Figura 2.16.** Análisis en lixiviados.

### 3 RESULTADOS

#### 3.1 Inventario

Del levantamiento de información en la empresa Hazwat se obtuvieron datos de los galpones de fármacos, químicos, bloque 2 de refinería, pinturas y resinas, aceites y grasas el mismo que se presenta en el Anexo III, tablas 7.1, 7.2, 7.3, 7.4 y 7.5.

#### 3.2 Menú de trabajo

En la siguiente tabla se detallan los residuos que formaron parte del menú de trabajo con su característica y el lugar de procedencia.

**Tabla 3.1.** Menú de materiales de trabajo, con sus características y procedencia.

<b>Residuos para encapsular</b>	<b>Características</b>	<b>Lugar de procedencia</b>
Cenizas	Residuo del proceso de incineración	Cenizas de incineración de residuos hospitalarios, comerciales e industriales.
Carbón	Carbón activado contaminado	Empresas de refinería de petróleo.
Lodos	Lodos de separación de aceites, pasan por un proceso de filtración	Empresas de exploración minera.

Fuente: Elaboración propia.

#### 3.3 Resultado de los análisis físicos de los materiales de los adoquines

##### Densidad real y aparente del cemento

Para la fabricación de adoquines se usó el cemento marca Armaduro- tipo IP. A continuación, en la tabla 3.2, se muestran los promedios obtenidos de los duplicados. Las densidades obtenidas se encuentran dentro del rango normal de cementos puzolánicos, densidad real de 2,8- 3,10 gr/cm<sup>3</sup> y densidad aparente de 0,8-1,4 gr/cm<sup>3</sup>, [30]. Por lo que el cemento usado para la fabricación de los adoquines fue el adecuado. Este es un parámetro importante para tomar en cuenta ya que el volumen de un material varía de acuerdo con su peso debido a que esto determinará la cantidad volumétrica en la dosificación de hormigon. Un detalle más completo se encuentra en el anexo IV, figura 7.15 y 7.16, resultado de los análisis realizados en el LEMSUR.

**Tabla 3.2.** Tabla resumen de la densidad aparente y real del cemento.

Descripción	Densidad suelta g/cm <sup>3</sup>	Densidad compactada g/cm <sup>3</sup>	Densidad real g/cm <sup>3</sup>
Ensayo 1	0.984	1.307	3.18
Ensayo 2	0.985	1.283	3.03
<b>Promedio</b>	0.9845	1.295	3.105

Fuente: Elaboración propia en base a resultados del LEMSUR.

### **Densidad aparente de los materiales**

La densidad aparente es la relación entre la masa en el aire de un volumen dado de agregado, incluyendo los poros saturables [31]. A continuación, en la tabla 3.3 se muestra los resultados obtenidos en la densidad aparente de los materiales de la arena, cenizas y carbón activado.

La densidad aparente compactada de la arena es de 1879 kg/m<sup>3</sup>, mientras que la de los agregados: para cenizas 598 kg/m<sup>3</sup> y el carbón 1022 kg/m<sup>3</sup>. La diferencia entre estos valores se da por el porcentaje de porosidad o vacíos. El carbón activado no fue puro estuvo mezclado con catalizadores pequeños y este peso aumento su densidad, sin embargo el carbón sigue siendo más poroso que la ceniza. A mayor porosidad la densidad aparente es menor [32]. La porosidad en el adoquinado o pavimento pueden ser beneficiosos ya que podría reducir gastos en obras de drenaje [33]. Pero en este caso particular no es muy recomendable ya que permite que la escorrentía de lluvia se infiltre en la tierra a través de la superficie permeable, y si se está trabajando con residuos peligrosos podrían liberar contaminantes al ambiente, por lo que se sugiere densidad aparente media -alta en los residuos peligrosos, para disminuir la porosidad en el adoquinado. En el anexo IV, figuras 7.17, 7.18 y 7.19, se detalla el resultado por parte del LEMSUR.

**Tabla 3.3.** Resultados de densidad aparente del árido fino.

Descripción	Densidad suelta kg/m <sup>3</sup>	Densidad compactada kg/m <sup>3</sup>
Arena	1743	1879
Cenizas	454	598
Carbón activado	928	1022

Fuente: Elaboración propia en base a resultados del LEMSUR.

## Peso específico y absorción del árido fino

El peso específico de la arena es la relación entre el peso y el volumen, es decir la densidad relativa. Con esta se puede conocer el % de vacíos del material[34]. En la tabla 3.4, se muestra el resultado de la gravedad específica y absorción del agua.

En cuanto a la absorción de agua en la arena, permite conocer la porosidad del material, por la diferencia de pesos de saturado y SSS. El % de absorción de agua es bajo por lo que la arena no es muy porosa y es adecuada para el presente estudio [34]. En el anexo IV, figura 7.20, se muestra el resultado por parte del LEMSUR.

**Tabla 3.4.** Resultados de la gravedad específica y absorción de la arena.

Descripción	Densidad relativa seca	Densidad relativa S.S. S	Densidad relativa aparente	Absorción de agua %
Arena	2,51	2,59	2,75	3,52

Fuente: Elaboración propia en base a resultados del LEMSUR.

## Granulometría de los materiales

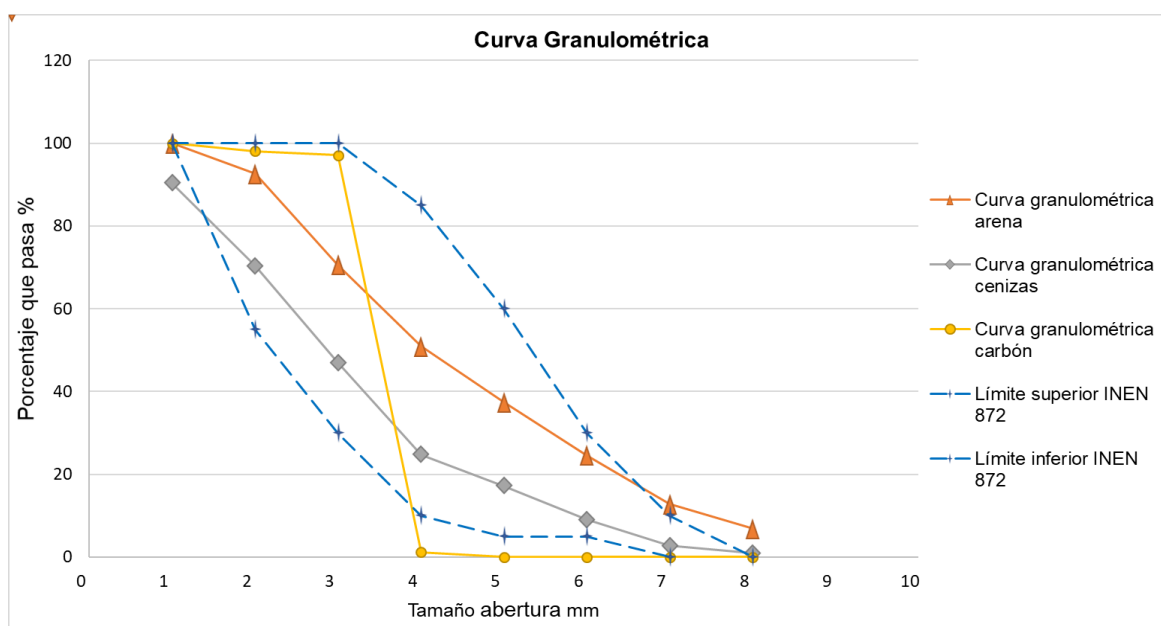
A continuación, en la tabla 3.5, se muestra la granulometría obtenida en la arena, cenizas y carbón activado. En base a la abertura del tamiz en mm y el % que pasa del material, estos deben cumplir con ciertos requisitos de graduación de tamaño de partícula para árido fino y grueso, si no cumplen con los mismos se debe demostrar que este no afectara a la resistencia del adoquín [13]. En la figura 3.1, se muestran las curvas granulométricas obtenidas, donde las curvas de color azul entre cortadas representan el límite superior e inferior permitida por la INEN 872. Por lo que el material que cumpla con la normativa deberá estar dentro de los límites establecidos.

En este caso la arena y las cenizas tienen una granulometría continua y se encuentran dentro de los límites establecidos, de modo que se puede trabajar con los mismos. En el caso del carbón su curva granulométrica es discontinua, no cuenta con la distribución de tamaños según los estándares, y al momento de formar la mezcla pueden quedar espacios existentes y presentar mayor riesgo de segregación en la matriz, provocando una baja en las resistencias y durabilidad como lo plantean [35] y [36]. El detalle más completo se encuentra en el anexo IV, figuras 7.21, 7.22 y 7.23.

**Tabla 3.5.** Granulometría de *los materiales*.

Tamiz N°	Tamaño abertura (mm)	% que pasa				
		Curva granulométrica arena	Curva granulométrica cenizas	Curva granulométrica carbón	Límite superior INEN 872	Límite inferior INEN 872
3/8	9 1/2	100	90.4	100	100	100
4	4.75	92.6	70.3	98.1	100	95
8	2.36	70.6	47	97.1	100	80
16	1.18	50.9	24.8	1.2	85	50
30	0.6	37.4	17.2	0	60	25
50	0.3	24.6	9	0	30	10
100	0.15	12.8	2.7	0	10	2
200	0.075	6.9	0.9	0		

Fuente: Elaboración propia en base a resultados del LEMSUR.



**Figura 3.1.** Curvas granulométricas de los materiales.

Fuente: Elaboración propia.

### Ensayo de contenido orgánico

La interpretación de color en el ensayo de contenido orgánico se determina en base a cinco vidrios de color normalizado en la escala de Gardner, la misma que se muestra en la siguiente tabla 3.6, tomada de la INEN 855.

Donde el árido no puede mostrar un color más oscuro o mayor que el color normalizado No.3 (Color de Gardner No.11). En el caso del árido mixto analizado no presenta cambios

de color, por lo que se determina que es un material libre de impurezas orgánicas y es conveniente para el uso en la elaboración de adoquines, como se muestra en la figura 3.2.

Este ensayo no se realizó para los residuos peligrosos, ya que al no conocer su composición química, era incierta su reacción con el hidróxido de sodio. El informe detallado por el LEMSUR se visualiza en el anexo IV, figura 7.24.

**Tabla 3.6.** Escala de color Gardner normalizado.

<b>Color normalizado escala de Gardner No.</b>	<b>Número de orden en el comparador</b>
5	1
8	2
11	3 (normalizado de referencia)
14	4
16	5

Fuente:[37].



**Figura 3.2.** Contenido orgánico en el árido mixto.

### **Contenido de humedad**

El contenido de humedad de los residuos es un papel importante dentro de la fabricación de adoquines, ya que de este dependerá la cantidad de agua que se va a agregar a la mezcla [12].



El resultado que se muestra en la tabla 3.7, es en base a la masa seca, el mismo que es usado en la metodología para los materiales con poca masa de agua y que se espera que el valor de humedad se aproxime a cero por ciento, como: granos, minerales, madera etc, [26]. Además, se detalla el contenido de humedad en base a la masa húmeda, por ser más fácil y directa su interpretación. Ejemplo del carbón activado en su resultado en base húmeda se entiende que es una proporción de 17 de agua y 83 de contenido seco.

El resultado obtenido está relacionado con el lugar de almacenamiento de los residuos peligrosos, las cenizas se encuentran en la intemperie, a diferencia del carbón que se encuentra bajo techo, por lo que el contenido de humedad de las cenizas es mayor. Otro factor a tomar encuentra es la característica porosa que poseen los residuos, como es el caso del carbón activado, esta aumenta la capacidad de absorción de agua [32], (Ver Anexo IV, figura 7.25).

**Tabla 3.7.** Contenido de humedad de los residuos peligrosos.

Descripción	Contenido de humedad en base seca % (Hbs)	Contenido de humedad en base húmeda % (Hbh)
Cenizas	103.48	50.65
Carbón activado	20.65	17.11

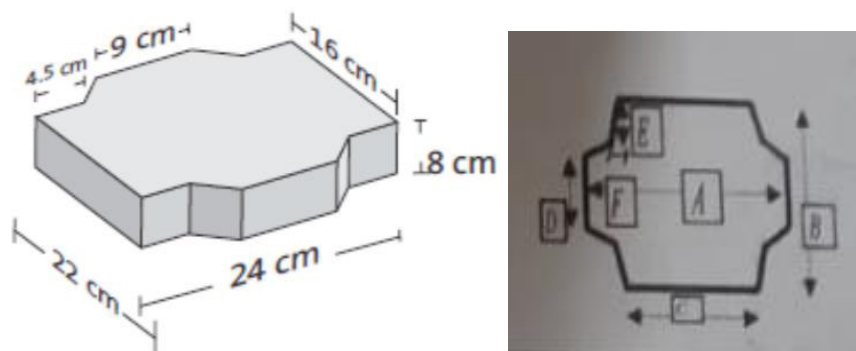
Fuente: Elaboración propia en base a resultados de LEMSUR.

### 3.4 Fabricación de adoquines

#### Dimensiones

Los adoquines fabricados fueron tipo cruz como se muestran en la figura 3.3. De acuerdo con la normativa INEN 1488, la relación de longitud/ ancho en el plano no debe ser mayor de 2, el espesor no superior a 10 cm e inferior a 6 cm [10].

En la tabla 3.8 se muestra las dimensiones obtenidas en los adoquines los mismos que tienen una tolerancia del espesor nominal y longitud de  $\pm 3$ mm, Y de ancho una tolerancia de  $\pm 1$  mm. Por lo que están dentro de las tolerancias admitidas en la INEN 1488.



**Figura 3.3.** Geometría y dimensiones del adoquín tipo cruz [27].

**Tabla 3.8.** Dimensiones obtenidas en los adoquines.

Código	Espesor (H)(cm)	A (cm)	B (cm)	C (cm)	D (cm)	E (cm)	F (cm)	Peso (g)
B1	8	24	22	9.5	17	2.5	2.5	8232.9
B3	8	24	22	9.5	17	2.5	2.5	8360.9
10-A	8	24	22	9.5	17	2	2	7620.7
10-B	8.3	24	22	9.6	17	2	2	7926.1
15-A	8.2	24.2	22	9.6	17	2.5	2.3	7594.7
15-B	8.2	24.2	22.1	9.5	17	2.5	2.3	7642
20-A	8	24	22	9.8	17.2	2.4	2.4	7990.6
20-C	8	24	22.1	9.5	17	2.4	2.4	8050.2

Fuente: Elaboración propia en base a resultados del LEMSUR.

### Acabados

Los acabados de los adoquines también son un factor importante, este no debe presentar fisuras, descascaramiento o defectos en la apariencia del adoquín. Sus aristas deben ser lisas y uniformes, no dejar que los agregados más gruesos queden expuestos, para evitar desgaste del adoquín [10], [12].

En cuanto al color este debe ser uniforme, si existen variaciones puede deberse a los áridos o el cemento, este está normado en la INEN BS 1014.[12]. En la figura 3.4 se muestra los adoquines fabricados, los mismos que presentan manchas de color negro lo que estéticamente no es admisible, ya que el color no es uniforme.

En cuanto a los acabados presentes en los adoquines se muestran en las figuras 3.5, 3.6 y 3.7 para las dosificaciones de 10, 15 y 20 % respectivamente. Los adoquines presentan fisuras y descascaramiento, especialmente en los adoquines

de 15 y 20 %, en los que más se puede visualizar. Esto puede deberse a que la mezcla no tuvo suficiente aire incorporado o el curado fue insuficiente, ya que solo se esperó 14 días, además que los materiales usados como áridos son impuros, como se plantea en un informe técnico preparado por la National Ready Mixed Concrete Association [38].



**Figura 3.4.** Adoquines de las distintas dosificaciones.



**Figura 3.5.** Adoquín con 10 % de residuos peligrosos.



**Figura 3.6.** Adoquín con 15% de residuos peligrosos.



Figura 3.7. Adoquín con 20% de residuos.

### 3.5 Resultado de los ensayos mecánicos de los adoquines

#### Ensayos de resistencia

A continuación, en la tabla 3.9, se presentan los resultados obtenidos en la prueba de resistencia a la compresión frente a lo establecido por la normativa INEN 1488, donde muestra resistencias dependientes del tipo de uso, a una rotura de 28 días. Un detalle más completo se muestra en el Anexo V figura 7.26.

**Tabla 3.9:** Comparación de las resistencias a la compresión con la normativa INEN.

Fecha de fábrica	Código	Peso (g)	Carga máxima (kN)	Resistencia Mpa			Normativa INEN 1488*		
				Resistencia 14 días	Formula de Ross 28 días	Promedio de resistencia	Para uso peatonal	Estacionamiento y calles residenciales	Caminos secundarios y calles principales
							20 Mpa	30 Mpa	40 Mpa
23/12/2021	B1	8233	1551.4	33.15	40.78	38.94	Cumple	Cumple	No Cumple
25/12/2021	B3	8361	1411.3	30.16	37.10				
23/12/2021	10-A	7621	565.4	11.83	14.55	14.42	No Cumple	No Cumple	No Cumple
23/12/2021	10-B	7926	444.8	11.62	14.30				
23/12/2021	15-A	7595	561.4	11.92	14.67	15.40	No Cumple	No Cumple	No Cumple
23/12/2021	15-B	7642	616.7	13.11	16.13				
23/12/2021	20-A	7991	687.9	14.59	17.95	20.32	Cumple	No Cumple	No Cumple
23/12/2021	20-C	8050	857.8	18.44	22.69				

\*Norma INEN 1488. Clasificación de tránsito y tipo de adoquín, [10].

Fuente: Elaboración propia en base a resultados del LEMSUR.

Como referencia a la calidad de resistencia en los adoquines, se tienen estudios realizados con otros materiales como cenizas de incineración [32], cenizas de biosólido [39] y lodos

residuales de anodizado de aluminio [40], como sustituyente del árido, en la mezcla de adoquines. En los casos mencionados se obtuvieron resultados bajos que no alcanzan la resistencia establecida por la normativa INEN 1488, y en algunos casos recomendaban el uso de estos solo para uso recreativo [40].

En base a estos estudios el porcentaje de cenizas y lodos se fue bajando, por lo que en la última dosificación del 20%, se usó mayor porcentaje de carbón y menor porcentaje de cenizas y lodos. Obteniendo una resistencia de 20 Mpa en los adoquines que corresponden al código 20-A y 20-C, la misma que cumple con la resistencia para tráfico peatonal en la norma INEN 1488. De cierta forma la granulometría de la ceniza al ser continua y al unirse con el carbón activado que posee una granulometría discontinua formó un complemento lo que disminuyó los vacíos presentes en la matriz y posiblemente formó un árido mixto.

Otro factor importante por el cual la resistencia en el adoquín con el 20% de residuos no alcanzó la resistencia planteada para tráfico vehicular para 30 y 40 Mpa, establecida en la normativa, fue la granulometría, del carbón activado ya que el mismo no tuvo una granulometría continua, por lo que se presenta espacios vacíos en la matriz bajando la resistencia del mismo [36]. Como se menciona anteriormente la presencia de lodos con cierto contenido de grasas y aceite puede afectar también la resistencia mecánica de los adoquines, lo que pudo afectar en los resultados obtenidos.

### **Ensayo de absorción**

La prueba de absorción total de agua sirve como un indicador a la resistencia climática, la misma que debe tener un índice de absorción inferior o igual a 6%, para adoquines de 5kg, según lo plantea en la INEN 3040 [41].

Los resultados obtenidos en el ensayo de absorción se muestran en la tabla 3.10, donde los adoquines fabricados pesan entre 7 a 8 kg, pudiendo ser esto una causa para que no cumpla con la normativa nacional. Pero según otras normas internacionales, como la normativa técnica colombiana de adoquines de concreto para pavimentos [42], la absorción de agua total no debe ser superior al 7% como valor promedio, y no superior a 8% para cada adoquín. De modo que el adoquín blanco cumple con este índice, pero las demás dosificaciones no.

Adicionalmente, este ensayo se realizó a los 14 días, por lo que se buscó un método para proyectar el índice de absorción a los 28 días, con el fin de comprobar los valores. Un estudio realizado en adoquines de hormigón sobre la correlación entre resistencia a la tracción indirecta y la absorción de agua, tienen un relación lineal y logarítmica [43]. Por lo

que se obtuvo la curva de resistencia vs. absorción, dando como resultado una curva inversamente proporcional, a mayor resistencia menor absorción (Ver figura 3.8). Pero debido a que los resultados obtenidos en el ensayo de resistencia a la compresión fueron bajos, se tiene un alto porcentaje de absorción.

Adicionalmente, pese a que los adoquines blancos no cumplieron con el porcentaje de absorción según la normativa ecuatoriana, si lo hacen con la normativa colombiana. Por lo que, debido a que los adoquines con materiales típicos están dentro de los requisitos de absorción con normativa internacional, se presume que existe algún residuo que se usó como materia prima que está afectando a la matriz. Hay diferentes factores que influyen en la cantidad de agua que puede ser absorbida siendo uno de ellos la porosidad.

Según los datos obtenidos en la densidad aparente de los residuos tenemos que el carbón activado tiene una densidad de  $1022 \text{ kg/m}^3$  y cenizas  $598 \text{ kg/m}^3$  la diferencia entre estos valores se da por el porcentaje de porosidad o vacíos en el medio (a nivel macro). El carbón activado no fue puro estuvo mezclado con catalizadores pequeños y este peso aumento su densidad.

Sin embargo, hay que considerar que carbón activado como material es más poroso (a nivel micro) que la ceniza. Según [44] el carbón activado tiene una gran variedad de tamaños de poros desde los 2nm hasta los 0.1 mm. Esta característica del carbón activado pudo haber aumentado la absorción de agua en el adoquín incrementando los porcentajes de absorción y promoviendo una baja resistencia. Adicionalmente, también influye la granulometría de los materiales, especialmente del carbón, ya que como se mencionó su curva granulométrica es discontinua quedando espacios en la matriz sólida, y este aumenta su absorción total de agua [36].

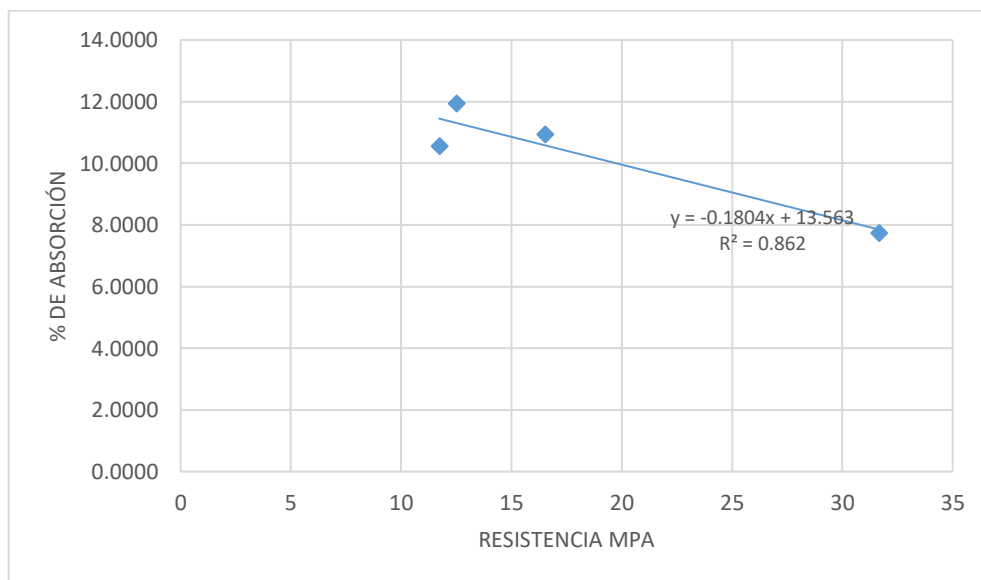
Si bien la absorción en adoquines puede tener sus beneficios, como el ahorro en estructuras para drenaje o filtración de lluvia es otro factor por el cual la resistencia disminuye

Un detalle más completo se encuentra en el anexo V, figuras 7.27 y 7.28.

**Tabla 3.10.** Resultado de absorción en adoquines.

Muestra	Código	Peso sss (g)	Peso seco (g)	Absorción % 14 días	Absorción promedio 14 días	Absorción promedio 28 días
1	Blanco	8710.2	8080.5	7.79	7.7	6.5
2	Blanco	8873.6	8245.5	7.62		
3	Blanco	8585.4	7962.6	7.82		
1	10-A	8097.3	7318.2	10.65	10.6	11
2	10-B	8422.3	7303.7	15.32		
3	10-C	8095.1	7657.7	5.71		
1	15-A	7861.2	6927.1	13.48	12.0	11
2	15-B	8098.4	7238.8	11.87		
3	15-B	8101	7331.4	10.5		
1	20-A	8512	7772.6	10.17	10.9	10
2	20-B	8245	7425	11.04		
3	20-C	7959.4	7131.7	11.61		

Fuente: Elaboración propia en base a resultados del LEMSUR.



**Figura 3.8.** Curva resistencia vs Absorción.

Fuente: Elaboración propia

### 3.6 Resultados análisis de lixiviados

Los análisis de lixiviados comprendieron 8 metales pesados, caracterizados como tóxicos por la Agencia de protección ambiental de los EE. UU (EPA). A continuación, en la tabla 3.12, se muestra los resultados obtenidos frente a la normativa nacional TULSMA Libro VI, Anexo I, Norma de calidad ambiental y descarga de afluentes al recurso agua y la normativa

EPA 1311 para metales [45], [46]. Los resultados se encuentran en el Anexo V, figuras 7.29 y 7.30

El análisis de lixiviado se hizo en comparación con un adoquín blanco que no contenía ningún porcentaje de residuos peligrosos, la lectura del lixiviado solo se realizó para el adoquín con el 20% de residuos peligrosos, ya que fue el que cumplió con la resistencia de tráfico peatonal.

**Tabla 3.11.** Comparación de los análisis de lixiviados con la normativa.

Código muestra	Parámetros	Unidad	Resultado	Límite máximo permisible EPA**	Límite máximo permisible Tulsma*
Blanco A	pH		7.7	---	6--9
Blanco B			8.25		
20 A			8.82		
Blanco A	Cinc	mg/L	-0.04	5	10
Blanco B			-0.02		
20 A			0.02		
Blanco A	Cromo VI	mg/L	0.092	---	0.5
Blanco B			0.088		
20 A			0.131		
Blanco A	Níquel	mg/L	0.054	---	2
Blanco B			0.061		
20 A			0.067		
Blanco A	Cobalto	mg/L	0.004		0.5
Blanco B			0.006		
20 A			0.045		
Blanco A	Arsénico	mg/L	<0.005	5	0.1
Blanco B			<0.005		
20 A			<0.005		
Blanco A	Cadmio	mg/L	<0.001	1	0.02
Blanco B			<0.001		
20 A			<0.001		
Blanco A	Plomo	mg/L	<0.005	5	0.5
Blanco B			<0.005		
20 A			<0.005		
Blanco A	Vanadio	mg/L	<0.020	---	
Blanco B			<0.020		
20 A			0.028		

\* Norma Tulsma Libro VI Anexo 1, Límites máximos permisible para descargas a alcantarillas.

\*\* Norma EPA 1311: Límites máximos permisibles para los constituyentes tóxicos en el extracto PECT (NOM-052- SEMARNAT/93)



Fuente: Elaboración propia en base a los resultados del SICAM.

Los resultados en lixiviados se encuentran bajo los límites máximos permisibles, por lo que no representa un gran impacto al ambiente. Si bien la porosidad y absorción en los adoquines es alta no se observó que influye a la liberación de metales. Posiblemente esto se debe a las propiedades de absorción y adsorción que tiene el carbón activado [47], ya se lo usa en diferentes procesos de depuración de agua subterránea, agua para piscina, decoloración de agua, refinamiento de las aguas residuales tratadas entre otros [44]. Por lo que tiene el poder de adherir, retener, purificar, desodorizar agua u otros líquidos o gases que entren en contacto con el elemento absorbente[44]. Por esta razón el carbón activado pudo ser un coadyuvante en el encapsulamiento de los metales en el adoquín pese a su capacidad de absorción de agua.

### **3.7 Informe técnico**

Con los resultados obtenidos en la caracterización física de los residuos peligrosos y los ensayos mecánicos de los adoquines, se extendió un informe técnico con los resultados obtenidos y recomendaciones para un producto mejor, el mismo que se encuentra en el anexo VI.

### **3.8 Video del trabajo práctico**

Como parte práctica del trabajo de titulación realizado durante este estudio se elaboró un video del proceso, donde se evidencia todas las etapas del proyecto, el mismo que se encuentra en el siguiente enlace.

[https://epnecuador-my.sharepoint.com/:v/g/personal/josselyn\\_loor\\_epn\\_edu\\_ec/EV5t3vJ5JLZFIFqL\\_prnsp0BHIJZuc0\\_asacGdoZ3mHYEw?e=PpZBnZ](https://epnecuador-my.sharepoint.com/:v/g/personal/josselyn_loor_epn_edu_ec/EV5t3vJ5JLZFIFqL_prnsp0BHIJZuc0_asacGdoZ3mHYEw?e=PpZBnZ)

## 4 CONCLUSIONES

- El fin de la caracterización física de los residuos peligrosos fue comparar estos con la arena como material sustituyente. La ceniza fue el residuo que más se asemejó a la curva granulométrica continua de la arena, y se encontró dentro de los límites establecidos por la INEN 872. En cuanto al carbón su curva fue discontinua, lo que provocó mayor porcentaje de vacíos en los adoquines. Sin embargo, no es el único parámetro para tomar en cuenta y garantizar la calidad del adoquín con estos residuos.
- En cuanto a las dimensiones de los adoquines, no presentan exactitud entre ellos, pero cumplen con las tolerancias en dimensiones admitidas en la INEN 1488 del espesor nominal y longitud de  $\pm 3\text{mm}$  y de ancho una tolerancia de  $\pm 1\text{ mm}$ . En sus acabados se presenta daños en las esquinas y descascaramiento lo que estéticamente no es admisible.
- Si bien la dosificación del 20% de residuos peligrosos en el adoquín cumplió con la resistencia a la compresión, para tráfico peatonal de 20 Mpa, este no cuenta con todos los criterios de calidad de adoquines para poder ser aceptado, como por ejemplo los acabados y absorción del agua, Por lo tanto, se concluye que no cumple con los requisitos normativos para adoquines.
- La resistencia en los adoquines se vio afectada por la granulometría del carbón y los lodos por su contenido de materia orgánica y humedad. Al ser discontinua la curva granulométrica del carbón y no tener graduación de tamaños genera vacíos en la matriz, lo que provoca una mayor absorción y baja resistencia entre 14.42 y 15.40 Mpa. Siendo estos dos residuos peligrosos los menos calificados para la fabricación de adoquines.
- En la absorción de agua los blancos no cumplieron con el porcentaje de absorción según la normativa ecuatoriana INEN 3040, pero si lo hacen con la normativa colombiana. En las demás dosificaciones no cumplieron con ninguna de las normas planteadas. En este caso no es recomendable tener una porosidad alta o porcentaje de absorción alta, ya que pueden liberar varios contaminantes potenciales, por lo que no se aceptó un índice de absorción alto.
- Los análisis de lixiviados se encontraron dentro del máximo permisible de la normativa nacional Tulsma Libro VI Anexo 1, tabla 9 y la EPA 1311, Límites máximos permisibles para los constituyentes tóxicos en el extracto PECT (NOM-

052- SEMARNAT/93) por lo que se logró un correcto encapsulado, gracias al carbón activado y sus propiedades de absorción/ adsorción.

## 5 RECOMENDACIONES

- En cuanto a la calidad del adoquín esta puede ser mejorada, si se trabaja con un porcentaje menor de lodos, especialmente si estos provienen de la separación de aceites de empresas jaboneras o de exploraciones mineras. Ya que según estudios este residuo afectó a la resistencia mecánica. Además, los adoquines tendrían menos material con contenido orgánico proveniente de los lodos promoviendo mejores resultados en la resistencia, absorción y acabados.
- Se debería efectuar previamente la caracterización química de los residuos peligrosos para poder realizar la prueba de contenido orgánico planteado en la INEN 855 y descartar reacciones con el hidróxido de sodio.
- Para futuros estudios se recomienda realizar el ensayo de granulometría de las cenizas en conjunto con el carbón activado para verificar si al trabajar juntos pueden formar un equivalente al árido mixto típico en los adoquines y obtener mejores resultados en la resistencia mecánica.
- Para obtener un análisis más concreto, se recomienda hacer dosificaciones con un solo tipo de residuo. De esta forma se puede evaluar cual fue el residuo que más afectó en la calidad del adoquín.
- Se recomienda al momento de elegir un nuevo sustituyente de la arena, verificar que su distribución de tamaño sea gradual, para disminuir el porcentaje de vacíos, la porosidad del adoquín y aumentar la resistencia en los mismos.
- Se recomienda esperar los 28 días de fraguado, para el uso y análisis del adoquín, ya que de esta forma se evitará el descascaramiento en las superficies, considerando que el curado (hidratación) es una variable importante en el endurecimiento del adoquín.
- En cualquier residuo que se vaya a usar como sustituyente de la arena en la mezcla de adoquines o cualquier hormigón, el contenido orgánico no debe ser mayor a el color normalizado color de vidrio N° 3 (Color escala de Gardner N° 11). En caso de que se usara este debe ser en pequeñas proporciones, especialmente en lodos

aceitosos o con un alto contenido de humedad. Ya que estos menoscaban la hidratación del cemento y el desarrollo de la resistencia del concreto.

- Al momento de la manipulación y la fabricación de adoquines con residuos peligrosos, se recomienda el uso de guantes, mascarilla, gafas de ser posible y alguna protección para la ropa. Ya que no se conoce con exactitud la caracterización química y los contaminantes presentes en el mismo, a fin de prevenir contaminación durante la manipulación.

## 6 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] HAZWAT Cia. Ltda., “HAZWAT Gestión Integral de Desechos,” 2019.  
<https://www.hazwat.com.ec/> (accessed Feb. 14, 2022).
- [2] EPA, “CÓMO MANEJAR SUS RESIDUOS PELIGROSOS: Una Guía para la pequeña empresa,” 2020, Accessed: Feb. 07, 2022. [Online]. Available:  
[https://www.epa.gov/sites/default/files/2020-02/documents/spanish\\_small\\_business\\_guide\\_.pdf](https://www.epa.gov/sites/default/files/2020-02/documents/spanish_small_business_guide_.pdf).
- [3] Ministerio del ambiente, “Acuerdo Ministerial 061 Reforma del libro VI DEL TEXTO UNIFICADO DE LEGISLACIÓN SECUNDARIA. Registro Oficial,” 2015, Accessed: Feb. 07, 2022. [Online]. Available:  
<http://extwprlegs1.fao.org/docs/pdf/ecu155124.pdf>.
- [4] E. Navas Cuenca, “Gestión de residuos peligrosos (2a. ed.),” p. 146, 2015.
- [5] J. Martinez, “Guía para la Gestión Integral de Residuos Peligrosos-Fundamentos Fundamentos Centro Coordinador del Convenio de Basilea para América Latina y el Caribe.,” *Cent. Coord. del Conv. Basilea para América Lat. y el Caribe. Montevideo Uruguay.*, pp. 5–121, 2005, Accessed: Feb. 07, 2022. [Online]. Available:  
[https://www.cempre.org.uy/docs/biblioteca/guia\\_para\\_la\\_gestion\\_integral\\_residuos/gestion\\_respel01\\_fundamentos.pdf](https://www.cempre.org.uy/docs/biblioteca/guia_para_la_gestion_integral_residuos/gestion_respel01_fundamentos.pdf).
- [6] A. Macías, S. Goñi, A. Guerreroy, and E. Fernández, “Inmovilización/solidificación de residuos tóxicos y peligrosos en matrices de cemento Immobilisation/solidification of hazardous toxic waste in cement matrices,” *Mater. construcción*, vol. 49, no. 254, 1999, Accessed: Feb. 07, 2022. [Online]. Available:  
<http://materconstrucc.revistas.csic.es>.
- [7] Santiago Cardona, “Reutilización y activación del coque de petróleo para remover metales en agua,” *Gestión y Ambient.*, vol. 9, no. 1, pp. 89–101, 2006, [Online]. Available: <https://www.redalyc.org/pdf/1694/169421183007.pdf>.
- [8] V. MUGICA, M. A. AMADOR, and M. T. y J. de J. FIGUEROA, “Mercurio y metales tóxicos en cenizas provenientes de procesos de combustión e incineración,” *Rev. Int. Contam. Ambient*, vol. 19, no. 2, pp. 93–100, 2003, [Online]. Available: <file:///C:/Users/Vale/Downloads/25141-Texto del artículo-46056-1-10-20110511.pdf>.

- [9] M. García, "Tratamiento de lodos residuales procedentes de plantas de tratamiento de aguas residuales mediante procesos electroquímicos para la disminución de concentración de coliformes fecales y totales," p. 128, 2016, [Online]. Available: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/12044/1/UPS-CT005866.pdf>.
- [10] INEN, "Adoquines. Requisitos 1488," *Inst. Ecuatoriano Norm.*, p. 4, 1986, [Online]. Available: <https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/1488.pdf>.
- [11] NTE INEN, "NTE INEN 152: Cemento portland, requisitos," p. 14, 2012, [Online]. Available: <https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/152-5.pdf>.
- [12] M. Cabezas, "Elaboración De Un Manual De Procesos Constructivos Del Adoquinado," *Esc. Politec. Nac. Esc. Form. Tecnólogos Elabor.*, p. 88, 2014, [Online]. Available: <https://books.google.com.ec/books?id=yIAzAQAAMAAJ&pg=PA130&dq=enzima+papina&hl=es-419&sa=X&ved=0ahUKEwjQ-MbzjvfPAhVC7iYKH YM7A30Q6AEIQTAH#v=onepage&q=enzima papina&f=false>.
- [13] NTE INEN, "Instituto Ecuatoriano de Normalizacion 872," *Inst. Ecuatoriano Norm.*, p. 21, 2011.
- [14] G. Rivera, "Concreto Simple," 2013. [https://www.academia.edu/25800481/Tecnologia\\_Concreto\\_y\\_Mortero\\_Rivera](https://www.academia.edu/25800481/Tecnologia_Concreto_y_Mortero_Rivera) (accessed Feb. 13, 2022).
- [15] K. C. G. Hidalgo, "Contenido de Taninos presentes en la corteza de pino palo blanco (*pinus maximinoi* H.E. Moore), en función de dos etapas de crecimiento," *NEFE Quart. century Proj. Implic. Res. Educ. policy makers from a Quart. century Financ. Educ.*, p. 49, 2010, [Online]. Available: <http://dx.doi.org/10.1016/j.tplants.2011.03.004><http://dx.doi.org/10.1016/j.pbi.2010.01.004><http://www.biomedcentral.com/1471-2156/12/42><http://dx.doi.org/10.1016/j.biotechadv.2009.11.005><http://www.sciencemag.org/content/323/5911/240.short><http://www.pape>.
- [16] M. Domínguez and A. Pérez, "Pruebas De Lixiviación Como Evaluación Ambiental De Materiales," *Secr. Comun. Y Transp.*, no. 515, p. 52, 2018, Accessed: Feb. 13, 2022. [Online]. Available: <https://imt.mx/archivos/Publicaciones/PublicacionTecnica/pt515.pdf>.
- [17] EPA, "Toxicity Characteristic Leaching procedure," no. July 1992, pp. 1–35, 1992, [Online]. Available: <https://www.epa.gov/hw-sw846/sw-846-test-method-1311->

toxicity-characteristic-leaching-procedure.

- [18] EPA, "Synthetic precipitation leaching procedure," no. 1990, pp. 38–59, 1994, [Online]. Available: <https://www.epa.gov/sites/default/files/2015-12/documents/1312.pdf>.
- [19] EPA, "Liquid-solid partitioning as a function of extract pH using a parallel batch extraction procedure," vol. 14429, no. July, p. 210093, 2017, [Online]. Available: [https://www.epa.gov/sites/default/files/2017-10/documents/method\\_1313\\_-\\_final\\_8-3-17.pdf](https://www.epa.gov/sites/default/files/2017-10/documents/method_1313_-_final_8-3-17.pdf).
- [20] EPA, "Mass transfer rates of constituents in monolithic or compacted granular materials using a semi-dynamic tank leaching procedure," vol. 93, no. I, p. 259, 2017, [Online]. Available: [https://www.epa.gov/sites/default/files/2017-10/documents/method\\_1315\\_-\\_final\\_8-3-17.pdf](https://www.epa.gov/sites/default/files/2017-10/documents/method_1315_-_final_8-3-17.pdf).
- [21] EPA, "Liquid-Solid partitioning as a function of liquid to solid ratio in solid materials using a parallel batch procedure," vol. 12457, no. July, p. 210093, 2017, [Online]. Available: [https://www.epa.gov/sites/default/files/2017-10/documents/method\\_1316\\_-\\_final\\_8-3-17.pdf](https://www.epa.gov/sites/default/files/2017-10/documents/method_1316_-_final_8-3-17.pdf).
- [22] J. Piaget, "Multiple extraction procedure," *Chem. Br.*, vol. 0182, no. 86, p. 7, 1986, [Online]. Available: <https://www.epa.gov/sites/default/files/2015-12/documents/1320.pdf>.
- [23] F. Ramírez and J. Samaniego, "Estudio comparativo de los efectos sobre la resistencia a la flexión del hormigón reforzado con fibras (HRF) usando microfibras de acero DRAMIX RC-6535-BN y de polipropileno/polietileno TUF-STRAND SF," p. 119, 2016.
- [24] E. politécnica de Catalunya, "Fonaments teòrics-Secador de sòlids," pp. 0–26, 2022, Accessed: Apr. 07, 2022. [Online]. Available: [http://epsem.upc.edu/~assecadordesolids/castella/fonaments\\_materia.html](http://epsem.upc.edu/~assecadordesolids/castella/fonaments_materia.html).
- [25] Campero Hormigon, "(PDF) Determinación de Humedad en Aridos Pétreos | Arturo Echeverría - Academia.edu," 2015. [https://www.academia.edu/13050634/Determinacion\\_de\\_Humedad\\_en\\_Aridos\\_Pet\\_reos](https://www.academia.edu/13050634/Determinacion_de_Humedad_en_Aridos_Pet_reos) (accessed Apr. 01, 2022).
- [26] E. Martines L. and L. Lira C., "ANÁLISIS Y APLICACIÓN DE LAS EXPRESIONES DEL CONTENIDO DE HUMEDAD EN SÓLIDOS," 2010. Accessed: Mar. 24, 2022.

- [Online]. Available: <https://www.cenam.mx/sm2010/info/pviernes/sm2010-vp01b.pdf>.
- [27] J. Marcelo and V. Salazar, "Evaluación de la viabilidad de uso de los lodos de la planta de tratamiento de aguas residuales del cantón Francisco de Orellana, provincia de Orellana, en la elaboración de adoquines de construcción," 2017.
- [28] G. Benavides, G. Luna, and L. Montenegro, "Efecto de la Sustitución de Agregado Fino por Ceniza Proveniente del Proceso de Incineración en Bruto de Residuos Sólidos Industriales en la Elaboración de Hormigón de Baja Resistencia," *Rev. Politécnica*, 2015, Accessed: Feb. 07, 2022. [Online]. Available: [https://revistapolitecnica.epn.edu.ec/ojs2/index.php/revista\\_politecnica2/article/view/558/pdf](https://revistapolitecnica.epn.edu.ec/ojs2/index.php/revista_politecnica2/article/view/558/pdf).
- [29] Schierloh M. I., Souchetti R.F., and Deusicha LD., "Procedimiento para la obtención de fórmulas de ajuste sobre la variación de la resistencia a compresión en el tiempo," *Univ. Tecnológica Nac. Fac. Reg. Concepción del Uruguay*, 2017.
- [30] N. C. Delgado Andrés, "Investigación | Universidad de Cuenca," pp. 1–109, 2020, Accessed: Feb. 07, 2022. [Online]. Available: <https://www.ucuenca.edu.ec/departamentos-de-investigacion/diep/investigacion-diep>.
- [31] RODRÍGUEZ IDROVO SANTIAGO OSWALDO, "DISEÑO DE HORMIGONES DE ALTA RESISTENCIA ( $f'_c = 40$  MPa), UTILIZANDO AGREGADOS DEL SECTOR DE PIFO, FIBRAS METÁLICAS, CEMENTO LAFARGE ARMADURO ESPECIAL Y ADITIVOS HIPERFLUIDIFICANTES.," *Univ. Cent. Del Ecuador*, 2014, [Online]. Available: [https://repositorio.uce.edu.ec/archivos/neyazan/CodigoEtica/CodigoEtica2019.pdf%0Ahttp://repositorio.uce.edu.ec/archivos/sebonillaj/INFORMACION 2019-2020/PANEL PRINCIPAL/MANUALES DE PROCESOS/Sistema de para Proyectos de Vinculaci3n.pdf](https://repositorio.uce.edu.ec/archivos/neyazan/CodigoEtica/CodigoEtica2019.pdf%0Ahttp://repositorio.uce.edu.ec/archivos/sebonillaj/INFORMACION%202019-2020/PANEL%20PRINCIPAL/MANUALES%20DE%20PROCESOS/Sistema%20de%20para%20Proyectos%20de%20Vinculaci3n.pdf).
- [32] C. Gonzalo Benavides Cedeño, "DISEÑO DE UNA PLANTA PARA LA FABRICACIÓN DE MAMPUESTOS DE USO PEATONAL CON CENIZAS DE INCINERACIÓN PROVENIENTES DE LA EMPRESA GPOWERGROUP S.A.," 2015, Accessed: Feb. 16, 2022. [Online]. Available: <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/11847/1/CD-6554.pdf>.
- [33] D. P. Quiroz Lasprina and A. Trujillo López, "Pavimentos Porosos como sistemas



- Alternativos al Drenaje Urbano,” 2013.
- [34] A. E. T. Cabrera, “Hormigón reciclado reemplazando el árido grueso natural del área minera ‘Pirincay’, por ladrillo triturado.” 2014, Accessed: Feb. 16, 2022. [Online]. Available: <http://dspace.uazuay.edu.ec/bitstream/datos/1459/1/09627.pdf>.
- [35] D. Montserrat, Z. Toro, D. Ignacio, and V. Espinosa, “Zoraida Sánchez Roldán,” 2019, Accessed: Feb. 15, 2022. [Online]. Available: <http://hdl.handle.net/10481/55703>.
- [36] Ramiro Bautista, “Aridos para Hormigón- Estudio Granulométrico de los áridos.” *Bvsde.Paho.Org*, vol. 2007, p. 19, 2008, Accessed: Feb. 15, 2022. [Online]. Available: [https://es.slideshare.net/ramirobautistaaguirre/aridos-para-hormigon?from\\_action=save](https://es.slideshare.net/ramirobautistaaguirre/aridos-para-hormigon?from_action=save).
- [37] NTE INEN, “INEN ÁRIDOS. DETERMINACIÓN DE LAS IMPUREZAS ORGÁNICAS EN EL ÁRIDO FINO PARA HORMIGÓN 855,” 2010, Accessed: Feb. 14, 2022. [Online]. Available: <https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/855.pdf>.
- [38] NRMCA, “Descascaramiento de las superficies de concreto CIP 2-Desacaramiento de las Superficies de Concreto ¿Qué es el descascaramiento?,” 2017. Accessed: Feb. 16, 2022. [Online]. Available: [www.nrmca.org](http://www.nrmca.org).
- [39] CRISTIAN CAMILO PÉREZ, “ELABORACIÓN DE ADOQUINES DE CONCRETO, EMPLEANDO CENIZAS DE BIOSÓLIDO COMO MATERIAL SUSTITUYENTE DE MATERIA PRIMA.” 2016, Accessed: Feb. 16, 2022. [Online]. Available: <https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/29875/2016cristianperez.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.
- [40] IVÁN SANTIAGO GRANDA MESIAS GUSTAVO ADOLFO PLAZA TAPIA, “UTILIZACIÓN DE LODOS RESIDUALES DE UNA PLANTA DE ANODIZADO DE ALUMINIO PARA LA FABRICACIÓN DE LADRILLOS Y ADOQUINES,” 2012, Accessed: Feb. 16, 2022. [Online]. Available: <http://repositorio.espe.edu.ec/xmlui/bitstream/handle/21000/6935/AC-SGA-ESPE-047218.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.
- [41] INEN, “NTE INEN 3040-Adoquines de hormigón y métodos de ensayo,” 2016, Accessed: Feb. 14, 2022. [Online]. Available: [https://vipresa.com.ec/wp-content/uploads/2019/02/nte\\_inen\\_3040.pdf](https://vipresa.com.ec/wp-content/uploads/2019/02/nte_inen_3040.pdf).

- [42] NTC, "Normas técnica colombiana ntc 2017 adoquines de concreto para pavimento contenido," 2010.
- [43] B. Andres Álvarez Soria Solange Jissela Guachamín Hurtado, "CORRELACIÓN ENTRE RESISTENCIA A LA TRACCIÓN INDIRECTA Y LA RESISTENCIA CLIMÁTICA (ABSORCIÓN DE AGUA) EN ADOQUINES DE HORMIGÓN EN LA CIUDAD DE QUITO," 2020, Accessed: Feb. 16, 2022. [Online]. Available: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/19410/1/UPS - TTS204.pdf>.
- [44] J. Fernandez, "CAPITULO I. EL CARBÓN ACTIVADO Y SUS PROPIEDADES," 2011.
- [45] Ministerio del Ambiente, "Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundaria. Norma de Calidad Ambiental y de descarga de efluentes : Recurso Agua, Libro 6, Anexo 1 'Norma de Calidad Ambiental y de descarga de efluentes : Recurso Agua.'" pp. 1–40, 2019, [Online]. Available: <http://www.cip.org.ec/attachments/article/1579/PROPUESTA ANEXO 1.pdf>.
- [46] CONANP, "Segunda seccion poder ejecutivo secretaria de medio ambiente y recursos naturales," *D. Of.*, pp. 1–41, 2013.
- [47] J. G. Carriazo, M. J. Saavedra, and M. F. Molina, "Propiedades adsorptivas de un carbón activado y determinación de la ecuación de Langmuir empleando materiales de bajo costo," *Educ. Química*, vol. 21, no. 3, pp. 224–229, 2010, doi: 10.1016/s0187-893x(18)30087-9.
- [48] HAZWAT Cia. Ltda., "HAZWAT Gestión Integral de Desechos," 2019. <https://www.hazwat.com.ec/> (accessed Jan. 30, 2022).

## 7 ANEXOS

### 7.1 ANEXO I. Certificado de originalidad.



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL  
ESCUELA DE FORMACIÓN DE TECNÓLOGOS



#### CERTIFICADO DE ORIGINALIDAD

Quito, D.M. 22 de febrero de 2022

De mi consideración:

Yo, Verónica E. Morales C., en calidad de Director del Trabajo de Integración Curricular titulado **COMPONENTE: ENCAPSULAMIENTO DE CENIZAS, LODOS Y CARBÓN ACTIVADO EN ADOQUINES** asociado a “Elaboración de menús para encapsulamiento de residuos peligrosos para la empresa HAZWAT” elaborado por la estudiante **JOSELYN VALERIA LOOR JACOME** de la carrera en Agua y Saneamiento Ambiental de la ESFOT, certifico que he empleado la herramienta Turnitin para la revisión de originalidad del documento escrito de las secciones: Resumen, Introducción, Metodología, Resultados, Conclusiones y Recomendaciones, producto del Trabajo de Integración Curricular indicado.

El documento escrito tiene un índice de similitud del **12%**.

Es todo cuanto puedo certificar en honor a la verdad, pudiendo el interesado hacer uso del presente documento para los trámites de titulación.

NOTA: Se adjunta el informe generado por la herramienta Turnitin.

Atentamente,

**Dra. Verónica Elizabeth Morales Casa**  
Directora de Trabajo Integración Curricular  
Profesora a tiempo completo  
Tecnología Superior en Agua y Saneamiento Ambiental

## Tesis

### ORIGINALITY REPORT

SIMILARITY INDEX **12**% **11** INTERNET SOURCES% **1** PUBLICATIONS% **3**%  
STUDENT PAPERS

### PRIMARY SOURCES

**1** [1library.co](http://1library.co)  
Internet Source 1%

**2** [www.imt.mx](http://www.imt.mx)  
Internet Source 1%

**3** [www.dspace.uce.edu.ec](http://www.dspace.uce.edu.ec)  
Internet Source 1%

**4** [docplayer.es](http://docplayer.es)  
Internet Source 1%

**5** [maeorellana.files.wordpress.com](http://maeorellana.files.wordpress.com)  
Internet Source 1%

**6** [bibdigital.epn.edu.ec](http://bibdigital.epn.edu.ec)  
Internet Source 1%

7	Submitted to Escuela Politecnica Nacional Student Paper	1%
8	Submitted to Facultad Latinoamericana de Ciencias Sociales (FLACSO) - Sede Ecuador Student Paper	<1%
9	repositorio.unach.edu.pe Internet Source	<1%
10	hdl.handle.net Internet Source	<1%
11	www.coursehero.com Internet Source	<1%
12	maepichincha.files.wordpress.com Internet Source	<1%
13	www.slideshare.net Internet Source	<1%
14	ribuni.uni.edu.ni Internet Source	<1%
15	Submitted to Universidad Nacional Autonoma de Chota Student Paper	<1%

16	civilgeeks.com	Internet Source	<1%
17	revistas.uide.edu.ec	Internet Source	<1%
18	documents.mx	Internet Source	<1%
19	tesis.ipn.mx	Internet Source	<1%
20	periodicos.ufpe.br	Internet Source	<1%
21	Arancha María Rizo Párraga. "DESARROLLO Y OPTIMIZACIÓN DE NUEVOS PROCESOS PARA LA OBTENCIÓN DE PRODUCTOS DE LA PESCA AHUMADOS", Universitat Politecnica de Valencia, 2017	Publication	<1%
22	git.40percent.club	Internet Source	<1%
23	Submitted to University of Liverpool	Student Paper	<1%

24	Submitted to Universidad Politecnica Salesiana del Ecuador Student Paper	<1%
25	oa.upm.es Internet Source	<1%
26	tesis.ipn.mx:8080 Internet Source	<1%
27	www.epa.gov Internet Source	<1%
28	principio-aceptar.fun Internet Source	<1%
29	ciencia.lasalle.edu.co Internet Source	<1%
30	repositorio.unc.edu.pe Internet Source	<1%
31	archive.org Internet Source	<1%
32	cienciadigital.org Internet Source	<1%

---

<b>33</b> Internet Source	<a href="https://dspace.esPOCH.edu.ec">dspace.esPOCH.edu.ec</a>	<1%
<b>34</b> Internet Source	<a href="https://healthebay.org">healthebay.org</a>	<1%
<b>35</b> Internet Source	<a href="https://patents.google.com">patents.google.com</a>	<1%
<b>36</b> Internet Source	<a href="https://repositorio.unan.edu.ni">repositorio.unan.edu.ni</a>	<1%
<b>37</b> Internet Source	<a href="https://repositorio.unapiquitos.edu.pe">repositorio.unapiquitos.edu.pe</a>	<1%
<b>38</b> Internet Source	<a href="https://www.aemcm.net">www.aemcm.net</a>	<1%
<b>39</b> Internet Source	<a href="https://www.obraspublicas.gob.ec">www.obraspublicas.gob.ec</a>	<1%
<b>40</b> Internet Source	<a href="https://www.owenmumford.com">www.owenmumford.com</a>	<1%
<b>41</b> Internet Source	<a href="https://www.scribd.com">www.scribd.com</a>	<1%

---



---

doczz.es

42 Internet Source

<1%

---

## 7.2 Anexo II. Evidencia fotográfica de la metodología.



**Figura 7.1.** Levantamiento de información de los galpones de almacenamiento.



**Figura 7.2.** Entrega de residuos peligrosos por parte de la empresa.



**Figura 7.3.** Residuos trasladados a la adoquinera Hormaq.



**Figura 7.4.** Toma de muestras para los análisis físicos.



**Figura 7.5.** Secado de la arena y residuos peligrosos.



**Figura 7.6.** Peso del cemento compactado.



**Figura 7.7.** Frasco de Le Chatelier con gasolina.



**Figura 7.8.** Granulometría en arena.



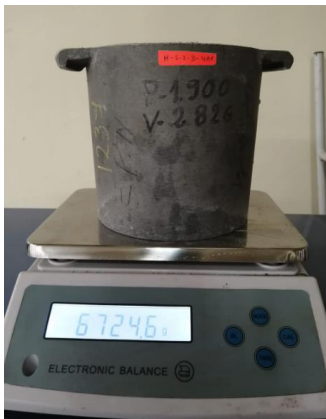
**Figura 7.9.** Llenado del recipiente cilíndrico.



**Figura 7.10.** Compactado de la arena en el recipiente.



**Figura 7.11.** Quitado del exceso de arena del recipiente.



**Figura 7.12.** Pesaje del recipiente más la arena.



**Figura 7.13.** Pesaje del análisis de peso específico.



**Figura 7.14.** Ensayo de contenido de humedad de los residuos peligrosos.

## 7.3 ANEXO III. Inventario realizado en Hazwat.

**Tabla 7.1.** Inventario galpón de fármacos.

Tipo de desecho	Porcentaje	Características	Tipo de Envase					Estado			
			Vidrio	Papel	Blister	Plástico	Metal	Cartón	Líquido	Pastoso	Sólido
Medicamentos	60%	Tabletas (vitaminas, usos veterinario)		x	x						x
		Injectables	x	x		x			x		
		Jarabes	x			x					x
		Ampollas	x			x			x		
Cosméticos	25%	Perfumes	x			x			x	x	
		Shampo				x			x		x
		Cremas				x			x		
		Pasta dental				x			x		x
		Cepillos de dientes				x			x		
		Desodorantes				x				x	
		Acetona				x				x	
		Bisutería (anillos, cadenas, aretes)					x		x		
		Esmaltes	x			x				x	
		Aerosoles					x				
		Pañales				x					x
Relojes				x		x					
Alimentos	9%	Chocolates				x					x
		Helados							x		x
		Chicles				x			x		x
		Harinas (fideos, pristiños)				x					x
		Mantequilla				x					x
Otros	6%	Etiquetas		x							x
		Ropa				x					x
		Juguets				x					x
		Electrodomésticos									x

**Tabla 7.2.** Inventario galpón de químicos.

Tipo de Desecho	Característica	Estado	Tipo de envase	Etiqueta de seguridad
Químicos de laboratorios	Mezcla de químicos no identificados	Líquido	Vidrio	Tóxicos, corrosivos, peligrosos para organismos acuáticos.
Químicos de industrias	Mezcla de químicos no identificados	Líquido	Plástico	Tóxicos, corrosivos, peligrosos para organismos acuáticos.
Polvos químicos	Polvos no identificados	Líquido	Plástico	Tóxicos, corrosivos, peligrosos para organismos acuáticos.
Químicos de laboratorios	Mezcla de químicos no identificados, con pH elevado.	Líquido	Vidrio	Tóxicos, corrosivos, peligrosos para organismos acuáticos.
Químicos de industrias	Mezcla de químicos no identificados, con pH elevado.	Líquido	Plástico	Tóxicos, corrosivos, peligrosos para organismos acuáticos.
Productos automotrices	Mezcla de hidrocarburos (incolore y negro)	Sólido	Plástico	Tóxicos, corrosivos, peligrosos para organismos acuáticos.
Lavado de gases	Contiene ácidos	Líquido	Plástico	Peligroso, tóxico y corrosivo.
Viales	Utilizados para DQO	Líquido	Vidrio	Tóxicos, corrosivos y sustancias infecciosas.



**Tabla 7.3. Inventario bloque 2 refinerías.**

Tipo de desecho	Característica	Estado	Tipo de envase	Marca - Empresa
Fondo de tanque de brea	Derivado de petróleo	Semisólido	Metal	Refinería del Pacífico
Lupranato		Sólido	Metal	Refinería del Pacífico
Aceite con hidrocarburos	Mezcla semisólida de líquido (aceite) y sólido (hidrocarburo-color oscuro).	Semisólido	Metal	Refinería del Pacífico
Minerales		Sólido	Metal	Refinería del Pacífico
Carbón activado	Alto contenido de azufre. Carbono (50%) Oxígeno (30%) Azufre (6%).	Sólido	Metal	Refinería del Pacífico
Catalizadores	Bolas de cerámica granulares del óxido de aluminio, catalizador de la recuperación de azufre para la refinería de petróleo.	Sólido	Metal	Refinería del Pacífico
Carbón activado y aceite	Compuestos azufrados, nitrogenados y aromáticos.	Semisólido	Metal	Refinería del Pacífico
Carbón activado con mezcla rosada	Bolitas pequeñas y medianas, contiene permanganato de potasio.	Sólido	Metal	Refinería del Pacífico
Catalizador 2	Bolas de cerámica granulares del óxido de aluminio, catalizador de la recuperación de azufre para la refinería de petróleo.	Sólido	Metal	Refinería del Pacífico
Lodos	Alta concentración de hidrocarburos, moléculas tóxicas.	Semisólido	Metal	Refinería del Pacífico

**Tabla 7.4.** Inventario galpón de pinturas y resinas.

Tipo de Desecho	Característica	Estado	Tipo de envase	Marca - Empresa
Desechos comunes inorgánicos, tabaco	Filtros de cigarrillo (termofibra - lanamineral)	Sólido	Cartón	-
Resina epóxica	Contiene ácido bórico	Líquido	Metal	Sherwin Willians
Resina epóxica	Revestimiento epóxico fenólico, contiene butanol, acetato de n-butilo y metil-etil-cetona.	Líquido	Plástico	Sherwin Willians (Protective & Marine Coatings)
Resina epóxica	Contiene fenol	Líquido	Metal	Sherwin Willians (Protective & Marine Coatings)
Resina de poliéster	Acelerante líquido para hormigón y mortero proyectado	Líquido	Metal	-
Resina epóxica	Contiene polímero epoxy, fenilmetanol, éster de alquil glicidilo.	Líquido	Metal	Sherwin Willians (Protective & Marine Coatings)
Resina epóxica	Contiene compuestos aromáticos	Líquido	Metal	Pro-Line
Resina epóxica	Amina epoxy con alto contenido de sólidos.	Sólido	Metal	Sherwin Willians (Protective & Marine Coatings)
Resina epóxica	Contiene butanol, poliaminadas.	Sólidos y semisólidos		Sherwin Willians (Protective & Marine Coatings)
Plastificante Retardante para hormigones	Plastificante retardante formulado para hormigones, aditivo químico, su base química es polímeros.	Líquido	Plástico	Plastiment
Sellador de emulsión de agua epoxy	Contiene poliuretano, polímero epoxy, propoxietanol, fenilmetanol.	Líquido	Plástico	Sherwin Willians (Protective & Marine Coatings)
Pintura Inorgánica de Zinc	Contiene tolueno, etanol, polisilicato de etilo, silicato de etilo	Líquido	Metal	Sherwin Willians (Protective & Marine Coatings)
Pintura alquídica	Contiene minerales, polímero alquídico de soja, etilbencina, dióxido de titanio.	Líquido	Metal	Sherwin Willians
Shampoo Limpiaparabrisas	Contiene agua, isopropanol, aceites cítricos esenciales, emulsionantes, engrasantes, colorantes y lubricantes.	Líquido	Plástico	NISSAN
Tiñel "sucio"	Contiene acetato de etilo, alcoholes, rubber solvent.	Líquido	Plástico	Cóndor
Residuos varios	Base acuosa	Sólido	Plástico	Cóndor
Bulk tanks	Ácido benceno dicarboxílico.	Sólidos y semisólidos	Plástico	-
Látex	Contiene agua, carbonato de calcio, polímero acrílico, polímero de vinilo, dióxido de titanio.	Líquido	Metal	Sherwin Willians

**Tabla 7.5.** Inventario galpón de aceites y grasas.

Tipo de Desecho	Característica	Estado	Tipo de envase	Marca - Empresa
Desechos comunes inorgánicos, tabaco	Filtros de cigarrillo (termofibra - lanamineral)	Sólido	Cartón	-
Resina epóxica	Contiene ácido bórico	Líquido	Metal	Sherwin Willians
Resina epóxica	Revestimiento epóxico fenólico, contiene butanol, acetato de n-butilo y metil-etil-cetona.	Líquido	Plástico	Sherwin Willians (Protective & Marine Coatings)
Resina epóxica	Contiene fenol	Líquido	Metal	Sherwin Willians (Protective & Marine Coatings)
Resina de poliéster	Acelerante líquido para hormigón y mortero proyectado	Líquido	Metal	-
Resina epóxica	Contiene polímero epoxy, fenilmetanol, éster de alquil glicidilo.	Líquido	Metal	Sherwin Willians (Protective & Marine Coatings)
Resina epóxica	Contiene compuestos aromáticos	Líquido	Metal	Pro-Line
Resina epóxica	Amina epoxy con alto contenido de sólidos.	Sólido	Metal	Sherwin Willians (Protective & Marine Coatings)
Resina epóxica	Contiene butanol, poliaminadas.	Sólidos y semisólidos		Sherwin Willians (Protective & Marine Coatings)
Plastificante Retardante para hormigones	Plastificante retardante formulado para hormigones, aditivo químico, su base química es polímeros.	Líquido	Plástico	Plastiment
Sellador de emulsión de agua epoxy	Contiene poliuretano, polímero epoxy, propoxietanol, fenilmetanol.	Líquido	Plástico	Sherwin Willians (Protective & Marine Coatings)
Pintura Inorgánica de Zinc	Contiene tolueno, etanol, polisilicato de etilo, silicato de etilo	Líquido	Metal	Sherwin Willians (Protective & Marine Coatings)
Pintura alquídica	Contiene minerales, polímero alquídico de soja, etilbencina, dióxido de titanio.	Líquido	Metal	Sherwin Willians
Shampoo Limpiaparabrisas	Contiene agua, isopropanol, aceites cítricos esenciales, emulsionantes, engrasantes, colorantes y lubricantes.	Líquido	Plástico	NISSAN
Tiñel "sucio"	Contiene acetato de etilo, alcoholes, rubber solvent.	Líquido	Plástico	Cóndor
Residuos varios	Base acuosa	Sólido	Plástico	Cóndor
Bulk tanks	Ácido benceno dicarboxílico.	Sólidos y semisólidos	Plástico	-
Látex	Contiene agua, carbonato de calcio, polímero acrílico, polímero de vinilo, dióxido de titanio.	Líquido	Metal	Sherwin Willians



## 7.4 ANEXO IV. Resultado de los análisis físicos de los materiales.



### DENSIDAD REAL DEL CEMENTO

INF. No. 22 - 0021 - I  
Hoja 01 de 01

Quito, 20 de enero de 2022

#### DATOS DEL CLIENTE

Razón social: JOSSELYN VALERIA LOOR JÁCOME  
Dirección: LADRÓN DE GUEVARA E11-253 Y ANDALUCÍA  
Teléfono: 0987319359

#### DATOS DEL PROYECTO

Proyecto: ELABORACIÓN DE MENÚS DE ENCAPSULAMIENTO DE RESIDUOS PELIGROSOS PARA LA EMPRESA HAZWAT  
Contratante: \*\*\*  
Contratista: \*\*\*  
Fiscalizador: \*\*\*  
FECHA DE ENSAYO: 2021-12-14  
NORMA: ASTM C188

CARACTERÍSTICAS DE LA MUESTRA		
MARCA	TIPO DE CEMENTO	FECHA DE FABRICACIÓN
Armadero	IP	***

DENSIDAD REAL DEL CEMENTO						
MUESTRA	Volúmen inicial (cm <sup>3</sup> )	Peso Inicial (g)	Volúmen final (cm <sup>3</sup> )	Peso final (g)	Δ Temperatura (°C)	Densidad Real (g/cm <sup>3</sup> )
M1	0,5	326,3	19,4	386,4	0	3,18
M2	0,2	326,9	18,7	383	0	3,03
PROMEDIO						3,11

OBSERVACIONES: Los datos y resultados corresponden al archivo DEN.CEM 22-001-I


  
ING. MERCEDES VILLACÍS  
JEFE DE LABORATORIO



Figura 7.15. Resultado de densidad real de cemento.



DENSIDAD APARENTE DE CEMENTO

INF. No. 22 - 0025 - I  
Hoja 01 de 01

Quito, 20 de enero de 2022

DATOS DEL CLIENTE

Razón Social: JOSSELYN VALERIA LOOR JÁCOME  
Dirección: LADRÓN DE GUEVARA E11-253 Y ANDALUCÍA  
Teléfono: 0987319359

DATOS DEL PROYECTO

Proyecto: ELABORACIÓN DE MENÚS DE ENCAPSULAMIENTO DE RESIDUOS PELIGROSOS PARA LA EMPRESA HAZWAT

Contratante: \*\*\*

Contratista: \*\*\*

Fiscalizador: \*\*\*

PROCEDENCIA: \*\*\*

TIPO DE CEMENTO: ARMADURO IP

FECHA DE ENSAYO: 2021-12-14

NORMA: \*\*\*

DENSIDAD APARENTE DE CEMENTO			
IDENTIFICACIÓN	DESCRIPCIÓN	DENSIDAD SUELTA g/cm <sup>3</sup>	DENSIDAD COMPACTADA g/cm <sup>3</sup>
M1	ENSAYO 1	0.984	1.307
M2	ENSAYO 2	0.985	1.283

OBSERVACIÓN: Los datos y resultados corresponden al archivo DENS APAR-22-001-I

ING. MERCEDES VILLACÍS  
JEFE DE LABORATORIO



Figura 7.16. Resultado de densidad aparente de cemento.



DENSIDAD APARENTE

INF. No. 22 - 0011- I  
Hoja 01 de 01

Quito, 10 de enero de 2022

DATOS DEL CLIENTE

Razón Social: JOSSELYN VALERIA LOOR JÁCOME  
Dirección: LADRÓN DE GUEVARA E11-253 Y ANDALUCÍA  
Teléfono: 0987319359

DATOS DEL PROYECTO

Proyecto: ELABORACIÓN DE MENÚS DE ENCAPSULAMIENTO DE RESIDUOS PELIGROSOS PARA LA EMPRESA HAZWAT  
Contratante: \*\*\*  
Contratista: \*\*\*  
Fiscalizador: \*\*\*  
PROCEDENCIA: \*\*\*  
TIPO DE MUESTRA: ARENA  
FECHA DE ENSAYO: 2021-12-14  
NORMA: ASTM C29

DENSIDAD APARENTE AGREGADOS					
IDENTIFICACIÓN	DESCRIPCIÓN	MUESTRA SUELTA		MUESTRA COMPACTADA	
		DENSIDAD SECA (kg/m <sup>3</sup> )	CONTENIDO DE VACÍOS (%)	DENSIDAD SECA (kg/m <sup>3</sup> )	CONTENIDO DE VACÍOS (%)
1	ARENA	1743	30	1879	25

OBSERVACIÓN: Los datos y resultados corresponden al archivo Denapar22-001-I

ING. MERCEDES VILLACÍS  
JEFE DE LABORATORIO



Figura 7.17. Resultado densidad aparente arena.



### DENSIDAD APARENTE

INF. No. 22 - 0033 - I  
Hoja 01 de 02

Quito, 20 de enero de 2022

#### DATOS DEL CLIENTE

Razón Social: JOSSELYN VALERIA LOOR JÁCOME  
Dirección: LADRÓN DE GUEVARA E11-253 Y ANDALUCÍA  
Teléfono: 0987319359

#### DATOS DEL PROYECTO

Proyecto: ELABORACIÓN DE MENÚS DE ENCAPSULAMIENTO DE RESIDUOS PELIGROSOS PARA LA EMPRESA HAZWAT

Contratante: \*\*\*

Contratista: \*\*\*

Fiscalizador: \*\*\*

PROCEDENCIA: \*\*\*

TIPO DE MUESTRA: CENIZA

FECHA DE ENSAYO: 2021-12-21

NORMA: ASTM C29

DENSIDAD APARENTE AGREGADOS					
IDENTIFICACIÓN	DESCRIPCIÓN	MUESTRA SUELTA		MUESTRA COMPACTADA	
		DENSIDAD SECA (kg/m <sup>3</sup> )	CONTENIDO DE VACÍOS (%)	DENSIDAD SECA (kg/m <sup>3</sup> )	CONTENIDO DE VACÍOS (%)
1	Ceniza	454	***	598	***

**OBSERVACIÓN:** Los datos y resultados corresponden al archivo Denapar22-005-I.  
No se realizó el ensayo de peso específico por lo cual no es posible reportar el contenido de vacíos.

ING. MERCEDES VILLACÍS  
JEFE DE LABORATORIO



Figura 7.18. Resultado densidad aparente cenizas.





DENSIDAD APARENTE

INF. No. 22 - 0033 - I  
Hoja 02 de 02

Quito, 20 de enero de 2022

DATOS DEL CLIENTE

Razón Social: JOSSELYN VALERIA LOOR JÁCOME  
Dirección: LADRÓN DE GUEVARA E11-253 Y ANDALUCÍA  
Teléfono: 0987319359

DATOS DEL PROYECTO

Proyecto: ELABORACIÓN DE MENÚS DE ENCAPSULAMIENTO DE RESIDUOS PELIGROSOS PARA LA EMPRESA HAZWAT

Contratante: \*\*\*

Contratista: \*\*\*

Fiscalizador: \*\*\*

PROCEDENCIA: \*\*\*

TIPO DE MUESTRA: CARBÓN

FECHA DE ENSAYO: 2021-12-21

NORMA: ASTM C29

DENSIDAD APARENTE AGREGADOS					
IDENTIFICACIÓN	DESCRIPCIÓN	MUESTRA SUELTA		MUESTRA COMPACTADA	
		DENSIDAD SECA (kg/m <sup>3</sup> )	CONTENIDO DE VACÍOS (%)	DENSIDAD SECA (kg/m <sup>3</sup> )	CONTENIDO DE VACÍOS (%)
1	Carbón	928	***	1022	***

**OBSERVACIÓN:** La procedencia de los ítems de ensayo son proporcionadas por el cliente, lo que involucra su total responsabilidad.  
No se realizó el ensayo de peso específico por lo cual no es posible reportar el contenido de vacíos.

ING. MERCEDES VILLACÍS  
JEFE DE LABORATORIO



Figura 7.19. Resultado densidad aparente carbón



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL  
LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES, MECÁNICA DE SUELOS Y ROCAS



GRAVEDAD ESPECÍFICA Y ABSORCIÓN

INF. No. 22 - 0007-1  
Hoja 01 de 01

Quito, 10 de enero de 2022

DATOS DEL CLIENTE

Razón Social: JOSSELYN VALERIA LOOR JÁCOME  
Dirección: LADRÓN DE GUEVARA E11-253 Y ANDALUCÍA  
Teléfono: 0987319359

DATOS DEL PROYECTO

Proyecto: ELABORACIÓN DE MENÚS DE ENCAPSULAMIENTO DE RESIDUOS PELIGROSOS PARA LA EMPRESA HAZWAT

Contratante: \*\*\*

Contratista: \*\*\*

Fiscalizador: \*\*\*

PROCEDENCIA: \*\*\*

TIPO DE MUESTRA: ARENA

FECHA DE ENSAYO: 2021-12-14

NORMA: ASTM C128-15

RESULTADOS DEL ENSAYO					
IDENTIFICACIÓN	DESCRIPCIÓN	DENSIDAD RELATIVA SECA	DENSIDAD RELATIVA S.S.S	DENSIDAD RELATIVA APARENTE	ABSORCIÓN DE AGUA (%)
1	ARENA	2,51	2,59	2,75	3,52

OBSERVACIÓN: Los datos y resultados corresponden al archivo GSA-22-001-I

  
ING. MERCEDES VILLACIS  
JEFE DE LABORATORIO



Figura 7.20. Resultado de gravedad específica y absorción.



### ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO

INF. No. 22-0003-I  
Hoja 01 de 01

Quito, 10 de enero de 2022

#### DATOS DEL CLIENTE

Razón social: JOSSELYN VALERIA LOOR JÁCOME  
Dirección: LADRÓN DE GUEVARA E11-253 Y ANDALUCÍA  
Teléfono: 0687319359

#### DATOS DEL PROYECTO

Proyecto: ELABORACIÓN DE MENÚS DE ENCAPSULAMIENTO DE RESIDUOS PELIGROSOS PARA LA EMPRESA HAZWAT  
Contratante: \*\*\*  
Contratista: \*\*\*  
Fiscalizador: \*\*\*  
MUESTRA: ARENA  
PROCEDENCIA: \*\*\*  
FECHA DE ENSAYO: 2021-12-14  
NORMA: INEN 696

TAMIZ No.	TAMAÑO ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO (g)	PORCENTAJE RETENIDO (%)	PORCENTAJE ACUMULADO (%)	PORCENTAJE QUE PASA (%)
3/8"	9,5	0,0	0,0	0,0	100,0
No. 4	4,750	38,8	7,4	7,4	92,6
No. 8	2,360	108,8	21,9	28,4	70,6
No. 16	1,180	97,8	19,7	49,1	50,9
No. 30	0,600	66,7	13,5	62,6	37,4
No. 50	0,300	83,7	12,9	75,4	24,6
No. 100	0,150	58,3	11,8	87,2	12,8
No. 200	0,075	29,2	5,9	93,1	6,9
BANDEJA	-	34,4	6,9	100,0	0,0
TOTAL		495,7			

Observaciones: Los datos y resultados corresponden al archivo GR-F-22-001-I



ING. MERCEDES VILLACIS  
JEFE DE LABORATORIO



Figura 7.21. Resultado análisis granulométrico arena.



### ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO

INF. No. 22-0037-I  
Hoja 01 de 02

Quito, 21 de enero de 2022

#### DATOS DEL CLIENTE

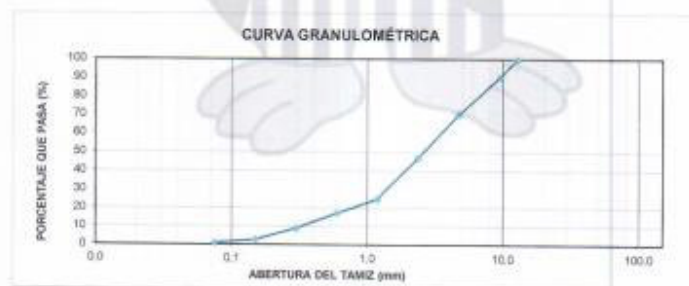
Razón social: JOSSELYN VALERIA LOOR JÁCOME  
Dirección: LADRÓN DE GUEVARA E11-253 Y ANDALUCÍA  
Teléfono: 0987319359

#### DATOS DEL PROYECTO

Proyecto: ELABORACIÓN DE MENÚS DE ENCAPSULAMIENTO DE RESIDUOS PELIGROSOS PARA LA EMPRESA HAZWAT  
Contratante: \*\*\*  
Contratista: \*\*\*  
Fiscalizador: \*\*\*  
MUESTRA: CENIZA  
PROCEDENCIA: \*\*\*  
FECHA DE ENSAYO: 2021-12-21  
NORMA: ASTM C136M

TAMIZ No.	TAMAÑO ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO (g)	PORCENTAJE RETENIDO (%)	PORCENTAJE ACUMULADO (%)	PORCENTAJE QUE PASA (%)
1/2"	12,7	0,0	0,0	0,0	100,0
3/8"	9,5	48,8	9,6	9,6	90,4
No. 4	4,750	101,8	20,1	29,7	70,3
No. 8	2,360	116,4	23,3	53,0	47,0
No. 16	1,180	112,7	22,2	75,2	24,8
No. 30	0,600	38,8	7,8	82,8	17,2
No. 50	0,300	41,2	8,1	91,0	9,0
No. 100	0,150	32,1	6,3	97,3	2,7
No. 200	0,075	9,3	1,8	99,1	0,9
BANDEJA	-	4,5	0,9	100,0	0,0
TOTAL		507,6			

Observaciones: Los datos y resultados corresponden al archivo GR-F-22-006-I



ING. MERCEDES VILLACIS  
JEFE DE LABORATORIO



Figura 7.22. Resultado análisis granulométrico cenizas.





### ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO

INF No. 22-0037-I  
Hoja 02 de 02

Quito, 21 de enero de 2022

#### DATOS DEL CLIENTE

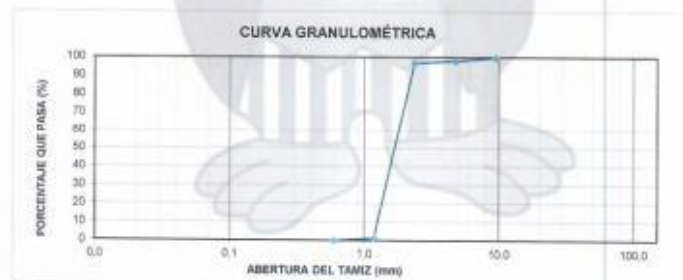
Razón social: JOSSELYN VALERIA LOOR JÁCOME  
Dirección: LADRÓN DE GUEVARA E11-253 Y ANDALUCÍA  
Teléfono: 0987319359

#### DATOS DEL PROYECTO

Proyecto: ELABORACIÓN DE MENÚS DE ENCAPSULAMIENTO DE RESIDUOS PELIGROSOS PARA LA EMPRESA HAZWAT  
Contratante: \*\*\*  
Contratista: \*\*\*  
Fiscalizador: \*\*\*  
MUESTRA: CARBÓN  
PROCEDENCIA: \*\*\*  
FECHA DE ENSAYO: 2021-12-21  
NORMA: ASTM C136M

TAMIZ No.	TAMAÑO ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO (g)	PORCENTAJE RETENIDO (%)	PORCENTAJE ACUMULADO (%)	PORCENTAJE QUE PASA (%)
3/8"	9.5	0.0	0.0	0.0	100.0
No. 4	4.750	9.3	1.9	1.9	98.1
No. 8	2.380	5.3	1.1	2.9	97.1
No. 16	1.180	477.7	95.8	98.8	1.2
No. 30	0.600	6.2	1.2	100.0	0.0
BANDEJA	-	0.0	0.0	100.0	0.0
TOTAL		498.5			

Observaciones: Los datos de procedencia son responsabilidad del cliente



ING. MERCEDES VILLACIS  
JEFE DE LABORATORIO



Figura 7.23. Resultado de análisis granulométrico carbón activado.



CONTENIDO ORGÁNICO

INF. No. 22 - 0015- I  
Hoja 01 de 01

Quito, 10 de enero de 2022

DATOS DEL CLIENTE

Razón Social: JOSSELYN VALERIA LOOR JÁCOME  
Dirección: LADRÓN DE GUEVARA E11-253 Y ANDALUCÍA  
Teléfono: 0987319359

DATOS DEL PROYECTO

Proyecto: ELABORACIÓN DE MENÚS DE ENCAPSULAMIENTO DE RESIDUOS  
PELIGROSOS PARA LA EMPRESA HAZWAT  
Contratante: \*\*\*  
Contratista: \*\*\*  
Fiscalizador: \*\*\*  
PROCEDENCIA: \*\*\*  
TIPO DE MUESTRA: ARENA  
FECHA DE ENSAYO: 2021-12-14  
NORMA: INEN 855



OBSERVACIÓN: Los datos y resultados corresponden al archivo Corg022-001-I

ING. MERCEDES VILLACÍS  
JEFE DE LABORATORIO



Figura 7.24. Resultado de contenido orgánico arena.


**ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL**  
 LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES, MECÁNICA DE SUELOS Y ROCAS **LEMSUR**

**CONTENIDO DE HUMEDAD DE AGREGADOS**

INF. No. 22 - 0029 - I  
 Hoja 01 de 02 Quito, 20 de enero de 2022

**DATOS DEL CLIENTE**  
 Razón Social: JOSSELYN VALERIA LOOR JÁCOME  
 Dirección: LADRÓN DE GUEVARA E11-253 Y ANDALUCÍA  
 Teléfono: 0987319359

**DATOS DEL PROYECTO**  
 Proyecto: ELABORACIÓN DE MENÚS DE ENCAPSULAMIENTO DE RESIDUOS PELIGROSOS PARA LA EMPRESA HAZWAT  
 Contratante: \*\*\*  
 Contratista: \*\*\*  
 Fiscalizador: \*\*\*  
 PROCEDENCIA: \*\*\*  
 TIPO DE MUESTRA: CENIZA  
 FECHA DE ENSAYO: 2021-12-21  
 NORMA: ASTM C566

No.	IDENTIFICACIÓN MUESTRA	MASA NATURAL (g)	MASA SECA (g)	CONTENIDO DE HUMEDAD (%)
1	Ceniza	35.5	16.10	55.13
2	Ceniza	33.1	15.70	110.83
<b>PROMEDIO</b>				<b>102.48</b>

OBSERVACIONES: Los datos y resultados corresponden al archivo HumAGR22-0014

  
 ING. MERCEDES VILLACIS  
 JEFE DE LABORATORIO




**ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL**  
 LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES, MECÁNICA DE SUELOS Y ROCAS **LEMSUR**

**CONTENIDO DE HUMEDAD DE AGREGADOS**

INF. No. 22 - 0029 - I  
 Hoja 02 de 02 Quito, 20 de enero de 2022

**DATOS DEL CLIENTE**  
 Razón Social: JOSSELYN VALERIA LOOR JÁCOME  
 Dirección: LADRÓN DE GUEVARA E11-253 Y ANDALUCÍA  
 Teléfono: 0987319359

**DATOS DEL PROYECTO**  
 Proyecto: ELABORACIÓN DE MENÚS DE ENCAPSULAMIENTO DE RESIDUOS PELIGROSOS PARA LA EMPRESA HAZWAT  
 Contratante: \*\*\*  
 Contratista: \*\*\*  
 Fiscalizador: \*\*\*  
 PROCEDENCIA: \*\*\*  
 TIPO DE MUESTRA: CARBÓN  
 FECHA DE ENSAYO: 2021-12-21  
 NORMA: ASTM C566

No.	IDENTIFICACIÓN MUESTRA	MASA NATURAL (g)	MASA SECA (g)	CONTENIDO DE HUMEDAD (%)
1	Carbon	60.6	50.30	20.48
2	Carbon	65	53.89	23.82
<b>PROMEDIO</b>				<b>20.65</b>

OBSERVACIONES: El muestreo e identificación de las muestras es total responsabilidad del cliente

  
 ING. MERCEDES VILLACIS  
 JEFE DE LABORATORIO



**Figura 7.25.** Resultado de contenido de humedad de agregados.

## 7.5 ANEXO V. Resultado de ensayos mecánicos y lixiviación.



Figura 7.26. Resultado de compresión en adoquines.





### ABSORCIÓN DE ADOQUINES

INF. No. 22-0041-I  
Hoja 01 de 02

Quito, 21 de enero de 2022

#### DATOS DEL CLIENTE

Razón social: JOSSELYN VALERIA LOOR JÁCOME  
Dirección: LADRÓN DE GUEVARA E11-253 Y ANDALUCÍA  
Teléfono: 0987319359

#### DATOS DEL PROYECTO

Proyecto: ELABORACIÓN DE MENÚ DE ENCAPSULAMIENTO DE RESIDUOS PELIGROSOS PARA LA EMPRESA HAZWAT  
Contratante: \*\*\*  
Contratista: \*\*\*  
Fiscalizador: \*\*\*  
TIPO: ADOQUÍN HEXAGONAL  
PROCEDENCIA: \*\*\*  
LOTE: \*\*\*  
FECHA DE ENSAYO: 2022-01-03  
NORMA: NTE INEN 3040-16

MUESTRA	CÓDIGO	PESO SSS	PESO SECO	ABSORCIÓN
	IDENTIFICACIÓN	(g)	(g)	%
1	Blanco	8710,2	8080,5	7,79
2	Blanco	8873,6	8245,5	7,62
3	Blanco	8585,4	7962,6	7,82
PROMEDIO				7,74

MUESTRA	CÓDIGO	PESO SSS	PESO SECO	ABSORCIÓN
	IDENTIFICACIÓN	(g)	(g)	%
4	10	8097,3	7318,2	10,65
5	10	8422,3	7303,7	15,32
6	10	8095,1	7857,7	5,71
PROMEDIO				***

OBSERVACIONES: La procedencia y muestreo son responsabilidad del cliente.  
Los datos y resultados de la muestra 1, 2 y 3 corresponden a la hoja 1 del archivo ADQDABS-022-001-I.  
No se realizó el cálculo del promedio debido a que los resultados varían considerablemente entre las muestras 4, 5 y 6.

ING. MERCEDES VILLACIS  
JEFE DE LABORATORIO



Figura 7.27. Resultado de análisis de absorción en adoquines.



### ABSORCIÓN DE ADOQUINES

INF. No. 22-0041-I  
Hoja 02 de 02

Quito, 21 de enero de 2022

#### DATOS DEL CLIENTE

Razón social: JOSSELYN VALERIA LOOR JÁCOME  
Dirección: LADRÓN DE GUEVARA E11-253 Y ANDALUCÍA  
Teléfono: 0987319359

#### DATOS DEL PROYECTO

Proyecto: ELABORACIÓN DE MENÚS DE ENCAPSULAMIENTO DE RESIDUOS PELIGROSOS PARA LA EMPRESA HAZWAT  
Contratante: \*\*\*  
Contratista: \*\*\*  
Fiscalizador: \*\*\*  
TIPO: ADOQUÍN HEXAGONAL  
PROCEDENCIA: \*\*\*  
LOTE: \*\*\*  
FECHA DE ENSAYO: 2022-01-03  
NORMA: NTE INEN 3040-16

MUESTRA	CÓDIGO	PESO SSS	PESO SECO	ABSORCIÓN
	IDENTIFICACIÓN	(g)	(g)	%
1	15	7861,2	6927,1	13,48
2	15	8098,4	7238,8	11,87
3	15	8101,0	7331,4	10,50
PROMEDIO				11,95

MUESTRA	CÓDIGO	PESO SSS	PESO SECO	ABSORCIÓN
	IDENTIFICACIÓN	(g)	(g)	%
1	20	8512,0	7725,9	10,17
2	20	8245,0	7425,0	11,04
3	20	7959,4	7131,7	11,61
PROMEDIO				10,94

OBSERVACIONES: La procedencia y muestreo son responsabilidad del cliente.

ING. MERCEDES VILLACIS  
JEFE DE LABORATORIO



Figura 7.28. Resultado de absorción en adoquines.



**ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL**  
**CENTRO DE INVESTIGACIÓN Y CONTROL AMBIENTAL**

Campus Politécnico "José Rubén Orellana Riosarte" • Calle Ladrón de Guevara E 11-253, Edificio Nro. 11  
RUC: 1760005620001 Tel.: (+593-2) 2976300 Ext.: 2151 • Línea directa: (+593-2) 3938864  
Apartado 17-01-2759 • E-mail: cicam@epn.edu.ec • Quito - Ecuador



**INFORME DE RESULTADOS**

Fecha: 09 de febrero de 2022

No IRI-22-059

**DATOS DEL CLIENTE:**

Director proyecto-investigación: Ing. Verónica Morales  
Nombre del Representante Legal: Josselyn Loor  
RUC: -  
Dirección: -  
Teléfono convencional: -  
Teléfono celular: -  
Correo electrónico: -

**DATOS DEL LABORATORIO:**

Fecha de recepción: 2022-01-28  
No. Oferta de Servicio: OF22-024-1  
No. Solicitud de trabajo: ST-22-017  
Tipo de servicio: Servicio de ensayo aplicado a la investigación  
Código de la muestra: MI-22-059  
Lugar de análisis: CICAM - Quito - Ladrón de Guevara E11-253  
Fecha de análisis: 07 al 08 de febrero de 2022  
Temperatura de ingreso al laboratorio: 6,1°C

**DATOS DE LA MUESTRA SUMINISTRADOS POR: CLIENTE**

Nombre del Proyecto: -  
Fecha de muestreo: 2021-01-13  
Rotulación de la muestra: Blanco B  
Tipo de muestreo: Puntual  
Tipo de muestra: Otros  
Lugar de muestreo: -  
Origen de la muestra: -  
Responsable de muestreo: Cliente

Tipo de envase: Plástico  
N° de envases: 1  
Preservante: No

PARÁMETRO	MÉTODO DE REFERENCIA/ MÉTODO INTERNO	UNIDAD	RESULTADO
<sup>(6)</sup> Arsénico	PE-V-62   EPA 7010 / Absorción atómica	mg/L	< 0,005
<sup>(6)</sup> Cadmio	PE-V-62   EPA 7010 / Absorción atómica	mg/L	< 0,001
<sup>(6)</sup> Plomo	PE-V-62   EPA 7010 / Absorción atómica	mg/L	< 0,005
<sup>(6)</sup> Vanadio	PE-V-62   EPA 7010 / Absorción atómica	mg/L	< 0,020

SM: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, Ed. Edición. PE: Procedimiento de Ensayo interno. N/A: No aplica.

**Accreditaciones:**

<sup>(6)</sup> Parámetro no acreditado

Mayor información respecto a los métodos, incertidumbres de medición y alcance de la acreditación de los parámetros se encuentra disponible en caso de ser solicitado.

**Nota:**

Este informe solo afecta a la muestra sometida a ensayo bajo las condiciones recibidas

La información completa de la medición de este ensayo se encuentra disponible para el cliente, cuando lo requiera

La incertidumbre de la medición de este ensayo se encuentra disponible para el cliente, cuando lo requiera

El laboratorio no se responsabiliza por la información proporcionada por el cliente que puedan afectar la validez de los resultados

En caso de que esta información sea solicitada por ley o disposiciones contractuales se notificará al cliente en forma previa

Prohibida la reproducción parcial de este informe

Firmado digitalmente por:  
JAIRO ENRIQUE  
JIMPIKIT  
CHUINTIAM

Revisado por: Jairo Jimpikit  
RESPONSABLE TÉCNICO



Firmado digitalmente por:  
GRETA CAROLA  
FIERRO NARANJO

Aprobado por: MSc. Carola Fierro  
COORDINADORA DE LABORATORIO

Figura 7.29. Resultado de análisis de lixiviación blanco.



**ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL  
CENTRO DE INVESTIGACIÓN Y CONTROL AMBIENTAL**

Campus Politécnico 'José Rubén Orellana Ricuarte' • Calle Ladrón de Guevara E 11-253, Edificio Nro. 11  
RUC: 1760005620001 Tel.: (+593-2) 2976300 Ext.: 2151 • Línea directa: (+593-2) 3938864  
Apertado 17-01-2759 • E-mail: cicam@epn.edu.ec • Quito - Ecuador



**INFORME DE RESULTADOS**

Fecha: 09 de febrero de 2022

No. IRI-22-060

**DATOS DEL CLIENTE:**

Director proyecto-investigación: Ing. Verónica Morales  
Nombre del Representante Legal: Josselyn Loor  
RUC: -  
Dirección: -  
Teléfono convencional: -  
Teléfono celular: -  
Correo electrónico: -

**DATOS DEL LABORATORIO:**

Fecha de recepción: 2022-01-28  
No. Oferta de Servicio: OF22-024-1  
No. Solicitud de trabajo: ST-22-017  
Tipo de servicio: Servicio de ensayo aplicado a la investigación  
Código de la muestra: MI-22-060  
Lugar de análisis: CICAM - Quito - Ladrón de Guevara E11-253  
Fecha de análisis: 07 al 08 de febrero de 2022  
Temperatura de ingreso al laboratorio: 6,1°C

**DATOS DE LA MUESTRA SUMINISTRADOS POR: CLIENTE**

Nombre del Proyecto:	-	Tipo de envase:	Plástico	Nº de envases:	1	Preservante:	No
Fecha de muestreo:	2021-01-14						
Rotulación de la muestra:	20 A						
Tipo de muestreo:	Puntual						
Tipo de muestra:	Otros						
Lugar de muestreo:	-						
Origen de la muestra:	-						
Responsable de muestreo:	Cliente						

PARÁMETRO	MÉTODO DE REFERENCIA / MÉTODO INTERNO	UNIDAD	RESULTADO
<sup>(6)</sup> Arsénico	PE-V-62   EPA 7010 / Absorción atómica	mg/L	< 0,005
<sup>(6)</sup> Cadmio	PE-V-62   EPA 7010 / Absorción atómica	mg/L	< 0,001
<sup>(6)</sup> Plomo	PE-V-62   EPA 7010 / Absorción atómica	mg/L	< 0,005
<sup>(6)</sup> Vanadio	PE-V-62   EPA 7010 / Absorción atómica	mg/L	0,028

SM: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. Ed. Edición. PE: Procedimiento de Ensayo interno. N/A: No aplica.

**Acreditaciones:**

<sup>(6)</sup> Parametro no acreditado

Mayor información respecto a los métodos, incertidumbres de medición y alcance de la acreditación de los parámetros se encuentra disponible en caso de ser solicitado.

**Nota:**

Este informe solo afecta a la muestra sometida a ensayo bajo las condiciones recibidas.

La información completa de la medición de este ensayo se encuentra disponible para el cliente, cuando lo requiera.

La incertidumbre de la medición de este ensayo se encuentra disponible para el cliente, cuando lo requiera.

El laboratorio no se responsabiliza por la información proporcionada por el cliente que puedan afectar la validez de los resultados.

En caso de que esta información sea solicitada por ley o disposiciones contractuales se notificará al cliente en forma previa.

Prohibida la reproducción parcial de este informe.

Firmado digitalmente por:  
**JAIRO ENRIQUE  
JIMPIKIT  
CHUINTIAM**

Revisado por: Jairo JimpiKit  
**RESPONSABLE TÉCNICO**

Firmado digitalmente por:  
**GRETA CAROLA  
PIERRO NARANJO**

Aprobado por: MSc. Carola Fierro  
**COORDINADORA DE LABORATORIO**

**Figura 7.30.** Resultado de lixiviación adoquín con 20 % de residuo peligroso.



## **7.6 ANEXO VI. Informe técnico.**

### **INFORME TÉCNICO PARA EMPRESA HAZWAT ELABORACIÓN DE MENÚS PARA ENCAPSULAMIENTO DE RESIDUOS PELIGROSOS PARA LA EMPRESA HAZWAT**

**Componente: Encapsulamiento de cenizas, lodos y carbón activado en adoquines**

#### **1 DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO**

El centro de remediación ambiental Hazwat, tiene como objetivo gestionar los residuos peligrosos y especiales de las industrias en Ecuador, se encuentra ubicado en el cantón Cayambe- km 37, donde se llevó a cabo el presente estudio. El centro cuenta con varias opciones de tratamiento para estos residuos como: incineración, trituración y compactación, celda de seguridad y estabilización, inactivación por autoclave, tratamiento de aguas grises y negras entre otros [1].

Con el desarrollo de este proyecto, se plantea una alternativa de tratamiento para estos residuos peligrosos, que a su vez contribuirá al desarrollo del proyecto elaboración de menús para encapsulamiento de residuos peligrosos para la empresa Hazwat.

Lo que se plantea es encapsular en adoquines las cenizas, lodos y carbón activado (residuos peligrosos), como porcentaje sustituyente del árido en el adoquín. Para lo cual, se desarrollaron visitas de campo en la empresa, para obtener información de los residuos peligrosos que gestionan, cantidades que disponen, estados de agregación en los que se encuentra y su lugar de procedencia.

Posteriormente, se elaboró un menú de trabajo, con residuos peligrosos gestionados por la empresa para su encapsulamiento en adoquines. Después, se realizó tres dosificaciones diferentes (10%, 15%, 20%) con cenizas, lodos de separación de aceites y carbón activado. Para la calidad se consideró los requisitos necesarios para la fabricación de adoquines en hormigón, planteados en la INEN 1488.

Adicionalmente, se realizaron en los adoquines elaborados pruebas mecánicas de resistencia y absorción, para verificar la viabilidad técnica de acuerdo con la normativa INEN 1488. Finalmente, se realizaron pruebas de lixiviación para determinar si existe la liberación de contaminantes potenciales al medio ambiente (metales pesados).

#### **2 OBJETIVOS**

##### **2.1 Objetivo General del informe**

Presentar la viabilidad técnica del encapsulamiento de residuos peligrosos como cenizas, lodos y carbón activado provenientes de la empresa gestora de residuos HAZWAT, en adoquines.

##### **2.2 Objetivos específicos del informe**

- Mostrar la caracterización física de los residuos peligrosos.
- Presentar las dosificaciones utilizadas para el encapsulamiento de los residuos peligrosos en los adoquines.
- Exponer los resultados de los ensayos de resistencia mecánica, absorción y lixiviación para determinar la viabilidad de los adoquines.

### 3 METODOLOGÍA

Después de varias visitas a la empresa, se realizó un inventario de los tipos de residuos peligrosos que disponen, características, estado de agregación, envases en los que se encuentra y su lugar de procedencia. Con esta información se desarrolló un menú de trabajo con tres tipos de residuos peligrosos: cenizas, lodos de separación de aceites y carbón activado. A los cuales se realizaron ensayos físicos, para posteriormente ser encapsulados en adoquines. Los mismos que fueron integrados en tres mezclas con dosificaciones diferentes del contenido de residuos peligrosos en el adoquín de 10%, 15% y 20%.

Finalmente, al adoquín se le realizó pruebas de resistencia mecánica a la compresión, absorción y pruebas de lixiviación, se comparó con la normativa correspondiente para identificar su posible uso en actividades de construcción.

#### 3.1 Análisis físicos

La caracterización física se realizó con el fin de verificar la calidad de los residuos peligrosos como materia prima, en comparación con los materiales típicos en los adoquines. Para lo cual se realizó ensayos en las cenizas y carbón activado de densidad aparente en base a la norma INEN 858, contenido de humedad en base a la norma ASTM C566 y granulometría con el método definido en la norma ASTM C33M-13, el mismo que debe cumplir con la norma INEN 872: áridos para hormigón. Además, estos residuos peligrosos se analizaron junto al árido típico de los adoquines.

#### 3.2 Elaboración de adoquines

Para la elaboración de los adoquines, los cálculos fueron tomados de un volumen mayor para 66 adoquines, los mismos que se fabrican a partir de un quintal de cemento y 8 carretillas de árido mixto (98 kg por carretilla), con estos datos se calculó la cantidad necesaria para 11 adoquines por dosificación, el cemento usado fue Armaduro Tipo IP de alta resistencia inicial.

Se seleccionó 3 dosificaciones de 10% ,15% y 20%, para la dosificación de 10% se tomó en partes iguales el porcentaje de cenizas, lodos y carbón activado. Para la dosificación de 15 %, se disminuyó el porcentaje de lodos y para la dosificación de 20 % se disminuyó, el porcentaje de cenizas. La dosificación usada se muestra en la siguiente tabla 1. La cantidad de agua se adicionó en base a la humedad de los residuos peligrosos.

Tabla 6. Dosificación para la fabricación de adoquines.

Componentes	Dosificación 1		Dosificación 2		Dosificación 3		TOTAL, kg
	Porcentaje	Peso kg	Porcentaje	Peso kg	Porcentaje	Peso kg	
Cenizas	3.3	3.53	9	9.6	6	6.4	20
Lodos	3.3	3.53	2	2.1	4	4.3	10
Carbón activado	3.3	3.53	4	4.3	10	10.7	19
Árido fino	82	88.02	77.2	82.6	72.2	77.2	248
Cemento	7.8	8.34	7.8	8.3	7.8	8.3	25

Fuente: Elaboración propia.

Los adoquines fabricados fueron de tipo cruz (Ver figura 1) de dimensiones 22x24x8 cm. Una vez fabricados estos deben esperar un fraguado de 28 días, pero por limitación de tiempo se esperó 14 días. Para estudios posteriores se recomienda un fraguado a 28 días.

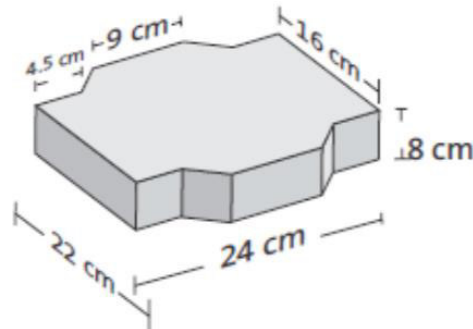


Figura 2. Dimensiones del adoquín tipo cruz.

### 3.3 Ensayos mecánicos y lixiviación

Se realizaron los ensayos mecánicos con la finalidad de verificar la calidad de los adoquines con residuos peligrosos como sustituyentes del agregado mixto (arena). Los mismos que fueron ejecutados a los 14 días, por la limitación de tiempo para el desarrollo de este estudio.

#### 3.3.1 Resistencia mecánica

Se realizó ensayos de resistencia a la compresión para una rotura a los 14 días, ya que el adoquín desarrolla una resistencia alrededor del 80% los primeros 7 días [1]. Conociendo esto se usó una fórmula de ajuste sobre la variación de la resistencia a la compresión en el tiempo para conocer la resistencia a los 28 días [2], la misma que se detalla a continuación en la ecuación 1.

$$R_t = R_{28} \frac{at^{2/3}}{b+t^{2/3}}$$

Ecuación 10. Fórmula de Ross, resistencia a los 28 días.

Donde:

$R_t$ = Tensión característica o específica a “t” días, en Mpa.

$R_{28}$ = Tensión características o específica a los “28” días, en Mpa.

T= Tiempo en “días”.

a = 1, 36 para hormigón de cemento portland normal.

b= 3,91 para hormigón de cemento portland normal.

#### 3.3.2 Pruebas de absorción

Las pruebas de absorción se realizaron con base en la normativa NTE INEN 3040, a los 14 días. Con el objetivo de obtener el valor de absorción a los 28 días y este pueda

ser comparado con la normativa, se correlaciono el porcentaje de absorción y resistencia a los 14 días, y se realizó una regresión a través de un ajuste de la curva obtenida [2].

### 3.3.3 Pruebas de lixiviación

Para el análisis de lixiviación se realizó de acuerdo con la metodología de la EPA 1315-Tasas de transferencia de masa de constituyentes en materiales granulares monolíticos o compactos. Se sumergió los adoquines en agua destilada, un adoquín en cada recipiente para simular una escorrentía. Se mantuvo los adoquines sumergidos por 14 días que es el tiempo planteado por la técnica para obtener el lixiviado.

## 4 RESULTADOS

### 4.1 Densidad aparente y real del cemento

Las densidades obtenidas se encuentran dentro del rango normal de cementos puzolánicos, densidad real de 2,8- 3,10 gr/cm<sup>3</sup> y densidad aparente de 0,8-1,4 gr/cm<sup>3</sup>, [3]. Por lo que el cemento de marca Armaduro tipo IP, usado para la fabricación de los adoquines fue el adecuado.

Tabla 7. Densidad real y aparente del cemento gr/cm<sup>3</sup>.

Descripción	Densidad aparente g/cm <sup>3</sup>	Densidad real g/cm <sup>3</sup>
Cemento	0.9845	3.105

Fuente: Elaboración propia.

### 4.2 Densidad aparente y humedad de los residuos peligrosos.

Los resultados obtenidos en la ceniza y el carbón activado se evaluaron con el fin de verificar la calidad de los residuos como materia prima en adoquines, en comparación con los materiales típicos. Por medio de ensayos físicos como densidad aparente, granulometría y humedad, los mismos que se detallan a continuación en la tabla 3.

Tabla 8. Resultados obtenidos en la densidad aparente y contenido de humedad de los residuos.

Parámetros	Cenizas	Carbón activado	Árido típico
Densidad aparente (kg/m <sup>3</sup> )	1879	1022	1879
Contenido de humedad en base a la masa seca (%)	103.5	20.65	
Contenido de humedad en base a la masa húmeda (%)	50.65	17.11	

Fuente: Elaboración propia.

La diferencia entre los valores de densidad aparente se da por el porcentaje de porosidad o vacíos, a mayor porosidad la densidad aparente es menor [4]. Además, la porosidad en el adoquinado o pavimento pueden ser beneficioso en algunas ocasiones ya que podría reducir gastos en obras de drenaje [6]. Pero en este caso particular no es muy

recomendable ya que podría facilitar que la escorrentía de lluvia se infiltre y cause lixiviados proveniente del contacto entre la lluvia y el adoquín. Esto podría originar serios problemas ambientales, considerando que en el adoquín están encapsulados residuos peligrosos, que podrían liberar contaminantes al ambiente (metales pesados).

Por otro lado, en cuanto al contenido de humedad de los residuos, es el que determina la cantidad de agua que se debe agregar a la mezcla. El resultado que se muestra en la tabla 3, es en base a la masa seca, el mismo que es usado en la metodología para el material con poca masa de agua y que se espera que el valor de humedad se aproxime a cero por ciento [5], pero para un mejor entendimiento también se detalla el contenido de humedad en base a la masa húmeda.

### 4.3 Granulometría de residuos peligrosos.

Se muestran las curvas granulométricas en la figura 2, donde las curvas de color azul entre cortadas representan el límite superior y límite inferior permitida por la INEN 872. Por lo que el material que cumpla con la normativa deberá estar dentro de los límites establecidos.

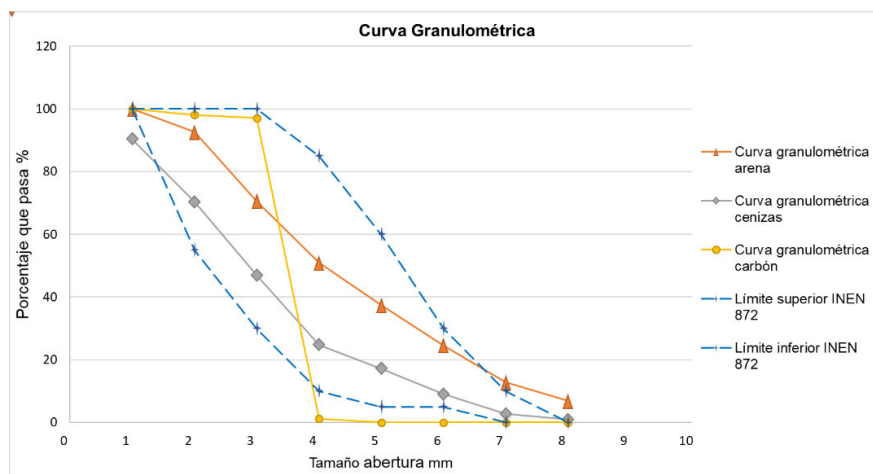


Figura 3. Curvas granulométricas.

En este caso la arena y las cenizas tienen una granulometría continua y se encuentran dentro de los límites establecidos, de modo que se puede trabajar con los mismos. En el caso del carbón su curva granulométrica en color amarillo es discontinua, no cuenta con la distribución de tamaños según los estándares, y al momento de formar la mezcla pueden quedar espacios existentes y presentar mayor riesgo de segregación en la matriz, provocando una baja en las resistencias y durabilidad.

### 4.4 Resistencia mecánica en adoquines.

A continuación, en la tabla 4, se presenta los resultados obtenidos en la prueba de resistencia a la compresión frente a lo establecido por la normativa INEN 1488, a una ruptura de 28 días. Donde B1, B3 es el blanco de referencia y los códigos con 10, 15 y 20 corresponden al porcentaje de residuo peligroso contenido en cada uno.

El ensayo se hizo a los 14 días, por la limitación de tiempo para el desarrollo de este estudio. Por lo que se proyectó la resistencia a los 28 días con la ecuación 1 de ajuste sobre la variación de la resistencia a la compresión en el tiempo. Además, se recomienda para posteriores estudios un fraguado de 28 días.

Como referencia a la calidad de resistencia en los adoquines, se tiene estudios realizados con otros materiales como cenizas de incineración [4], cenizas de biosólido [6] y lodos residuales de anodizado de aluminio [7], como sustituyente del árido, en la mezcla de adoquines. En los casos mencionados se obtuvieron resultados bajos que no alcanzan la resistencia establecida por la normativa INEN 1488, y en algunos casos recomendaban el uso de estos adoquines solo para uso recreativo.

En base a estos estudios el porcentaje de cenizas y lodos se fue bajando, por lo que en la última dosificación del 20%, se usó mayor porcentaje de carbón y menor porcentaje de cenizas y lodos. Obteniendo una mayor resistencia en esos adoquines que corresponden al código 20-A y 20-C, pero dicha resistencia solo cumple para adoquines de tránsito peatonal, considerando el promedio de resistencias de las dos repeticiones realizadas.

Tabla 9. Resistencia a la compresión.

Fecha de fábrica	Código	Peso (g)	Carga máxima (kN)	Resistencia Mpa						Normativa INEN 1688*		
				Resistencia 14 días	Formula de Ross 28 días	Promedio de resistencia	Para uso peatonal	Estacionamiento y calles residenciales	Caminos secundarios y calles principales			
							20 Mpa			30 Mpa	40 Mpa	
23/12/2021	B1	823	1551.4	33.1	40.7	38.9	Cumple	Cumple	No Cumple			
25/12/2021	B3	836	1411.3	30.1	37.1							
23/12/2021	10-A	762	565.4	11.8	14.5	14.4	No Cumple	No Cumple	No Cumple			
23/12/2021	10-B	792	444.8	11.6	14.3							
23/12/2021	15-A	759	561.4	11.9	14.6	15.4	No Cumple	No Cumple	No Cumple			
23/12/2021	15-B	764	616.7	13.1	16.1							
23/12/2021	20-A	799	687.9	14.5	17.9	20.3	Cumple	No Cumple	No Cumple			
23/12/2021	20-C	805	857.8	18.4	22.6							

\*Norma INEN 1488. Clasificación de tránsito y tipo de adoquín.

Fuente: Elaboración propia.

Otro componente importante por el cual la resistencia en el adoquín con el 20% de residuos no alcanzo la resistencia planteada para tráfico vehicular para 30 y 40 Mpa, establecida en la normativa, fue la granulometría, ya que el mismo no tuvo una granulometría continua, por lo que se presenta espacios vacíos en la matriz bajando la resistencia.

#### 4.5 Absorción en adoquines

A continuación, en la tabla 3 se detalla el porcentaje de absorción promedio en adoquines, para 14 y 28 días. Para obtener los valores a los 28 días se correlaciono la resistencia y la absorción a los 14 días, y se realizó una regresión a través de un ajuste de la curva obtenida.

Si bien la absorción en adoquines puede tener sus beneficios, como el ahorro en estructuras para drenaje o filtración de lluvia. Es otro factor por el cual la resistencia disminuye. En este caso no es recomendable tener una porosidad alta o un porcentaje de absorción alto, ya que pueden liberar varios contaminantes (metales pesados).

Por lo tanto, no se acepta un índice de absorción alto, el máximo permitido por la normativa INEN 3040 es 6% y por la Normativa técnica colombiana 2017 adoquines de concreto para pavimento es 7%.

Tabla 10. Porcentaje de absorción en adoquines a los 28 días.

Código	Absorción promedio 14 días (%)	Absorción promedio 28 días (%)
Blanco	7,7	6,5
10	10,6	11
15	12	10,8
20	10,9	9,9

Fuente: Elaboración propia.

#### 4.6 Análisis de lixiviación

Los análisis de lixiviados comprendieron 8 metales pesados, caracterizados como tóxicos por la Agencia de protección ambiental de los USA por sus siglas en ingles EPA. A continuación, en la tabla 6, se muestra los resultados obtenidos frente a la normativa nacional TULSMA Libro VI, Anexo I, Norma de calidad ambiental y descarga de afluentes al recurso agua y la normativa EPA 1311 para metales en lixiviados, ya que en Ecuador no existe una normativa, específica para lixiviación.

Tabla 11. Comparación de los análisis de lixiviados con la normativa

Código muestra	Parámetros	Unidad	Resultado	Límite máximo permisible EPA**	Límite máximo permisible Tulsma*
Blanco A	pH		7.7	---	6--9
Blanco B			8.25		
20 A			8.82		
Blanco A	Cinc	mg/L	-0.04	5	10
Blanco B			-0.02		
20 A			0.02		

Código muestra	Parámetros	Unidad	Resultado	Límite máximo permisible EPA**	Límite máximo permisible Tulsma*
Blanco A	Cromo VI	mg/L	0.092	---	0.5
Blanco B			0.088		
20 A			0.131		
Blanco A	Niquel	mg/L	0.054	---	2
Blanco B			0.061		
20 A			0.067		
Blanco A	Cobalto	mg/L	0.004		0.5
Blanco B			0.006		
20 A			0.045		
Blanco A	Arsénico	mg/L	<0.005	5	0.1
Blanco B			<0.005		
20 A			<0.005		
Blanco A	Cadmio	mg/L	<0.001	1	0.02
Blanco B			<0.001		
20 A			<0.001		
Blanco A	Plomo	mg/L	<0.005	5	0.5
Blanco B			<0.005		
20 A			<0.005		
Blanco A	Vanadio	mg/L	<0.020	---	
Blanco B			<0.020		
20 A			0.028		

\* Norma Tulsma, libro VI Anexo 1, Límites máximos permisible para descargas a alcantarillado.

\*\* Norma EPA 1311: Límites máximos permisibles para los constituyentes tóxicos en el extracto PECT (NOM-052- SEMARNAT/93)

Fuente: Elaboración propia.

El análisis de lixiviado se hizo en comparación con un adoquín blanco que no contenía ningún porcentaje de residuos peligrosos, la lectura del lixiviado solo se realizó para el adoquín con el 20% de residuos peligrosos, ya que fue el que cumplió con la resistencia de tráfico peatonal.

Los resultados en lixiviados se encuentran bajo los límites máximos permisibles, por lo que no representa un gran impacto al ambiente

#### 4.7 Acabados en adoquines.

En cuanto a las dimensiones de los adoquines, no presentan exactitud en sus dimensiones, pero cumplen con las tolerancias admitidas en la INEN 1488. Además, en los acabos ninguna dosificación tiene un color uniforme, además que se encuentra fisuras en las esquinas y descascaramiento lo que estéticamente no es admisible.





**Figura 2.** Acabados de los adoquines con 10, 15 y 20%.

## 5 CONCLUSIONES

- El fin de la caracterización de los residuos peligrosos fue comparar de forma física al material sustituyente de la arena. La ceniza fue el árido que más se asemejó a la curva granulométrica continua de la arena, y se encontró dentro de los límites establecidos por la INEN 872. Sin embargo, no es el único parámetro para tomar en cuenta y garantizar la calidad del adoquín con este material. En cuanto al carbón su curva fue discontinua, lo que permite una mayor porosidad en los adoquines.
- La resistencia en los adoquines se vio afectada por la granulometría del carbón ya que esta era discontinua, lo que provoca una mayor absorción y baja resistencia, además se vió estudios que la elaboración de adoquines con lodos no se obtenían buenos resultados debido su alto contenido de materia orgánica y humedad. Siendo estos dos residuos peligrosos los menos calificados para la fabricación de adoquines.
- Si bien la dosificación del 20% de residuos peligrosos en el adoquín cumplió con la resistencia a la compresión, para tráfico peatonal, este no cuenta con todos los criterios de calidad de adoquines para poder ser aceptado como los acabados y absorción de agua. Por lo tanto, se concluye que no cumple con los requisitos normativos nacionales para adoquines.
- Los análisis de lixiviados se encontraron dentro del máximo permisible de la normativa nacional Tulsma y la EPA 1311, por lo que se logró un correcto encapsulado.

## 6 RECOMENDACIONES

- En cuanto a la calidad del adoquín esta puede ser mejorada, si se trabaja con un porcentaje menor de lodos. Ya que según estudios este ha afectado a la resistencia en adoquines.
- Para obtener un análisis más concreto, se recomienda hacer dosificaciones con un solo tipo de residuo. De esta forma se puede evaluar cual fue el residuo que más afecto en la calidad del adoquín.

- Se recomienda al momento de elegir un nuevo sustituyente de la arena, verificar que su distribución de tamaño sea gradual, para disminuir el porcentaje de vacíos y aumentar la resistencia en los mismos.
- Se recomienda esperar los 28 días de fraguado, para el uso y análisis del adoquín, ya que de esta forma se evitará el descascamiento en las superficies, considerando que el curado (hidratación) es una variable importante en el endurecimiento del adoquín.
- En cualquier residuo que se vaya a usar como sustituyente de la arena en la mezcla de adoquines o cualquier hormigón, el contenido orgánico no debe ser mayor al color normalizado N° 3 (Color de escala Gardner N° 11). En caso de que se usara este residuo como sustituyente de la arena, debe ser en pequeñas proporciones, especialmente en lodos aceitosos o con un alto contenido de humedad. Ya que estos menoscaban la hidratación del cemento y el desarrollo de la resistencia del concreto.
- Al momento de la manipulación y la fabricación de adoquines con residuos peligrosos, se recomienda el uso de guantes, mascarilla, gafas de ser posible y alguna protección para la ropa. Ya que no se conoce con exactitud la caracterización química y los contaminantes presentes en el mismo, a fin de prevenir contaminación durante la manipulación.

## 7 REFERENCIAS

- [1] M. Cabezas, "Elaboración De Un Manual De Procesos Constructivos Del Adoquinado," *Esc. Politec. Nac. Esc. Form. Tecnólogos Elabor.*, p. 88, 2014, [Online]. Available: <https://books.google.com.ec/books?id=yIAzAQAAMAAJ&pg=PA130&dq=enzima+papina&hl=es-419&sa=X&ved=0ahUKEwjQ-MbzjvfPAhVC7iYKHYM7A30Q6AEIQTAH#v=onepage&q=enzima papina&f=false>.
- [2] Schierloh M. I., Souchetti R.F., and Deusicha LD., "Procedimiento para la obtención de fórmulas de ajuste sobre la variación de la resistencia a compresión en el tiempo," *Univ. Tecnológica Nac. Fac. Reg. Concepción del Uruguay*, 2017.
- [3] N. C. Delgado Andrés, "Investigación | Universidad de Cuenca," pp. 1–109, 2020, Accessed: Feb. 07, 2022. [Online]. Available: <https://www.ucuenca.edu.ec/departamentos-de-investigacion/diep/investigacion-diep>.
- [4] G. Benavides, G. Luna, and L. Montenegro, "Efecto de la Sustitución de Agregado Fino por Ceniza Proveniente del Proceso de Incineración en Bruto de Residuos Sólidos Industriales en la Elaboración de Hormigón de Baja Resistencia," *Rev. Politécnica*, 2015, Accessed: Feb. 07, 2022. [Online]. Available: [https://revistapolitecnica.epn.edu.ec/ojs2/index.php/revista\\_politecnica2/article/view/558/pdf](https://revistapolitecnica.epn.edu.ec/ojs2/index.php/revista_politecnica2/article/view/558/pdf).
- [5] E. Martínez L. and L. Lira C., "ANÁLISIS Y APLICACIÓN DE LAS EXPRESIONES DEL CONTENIDO DE HUMEDAD EN SÓLIDOS," 2010. Accessed: Mar. 24, 2022. [Online]. Available: <https://www.cenam.mx/sm2010/info/pviernes/sm2010-vp01b.pdf>.

- [6] CRISTIAN CAMILO PÉREZ, “ELABORACIÓN DE ADOQUINES DE CONCRETO, EMPLEANDO CENIZAS DE BIOSÓLIDO COMO MATERIAL SUSTITUYENTE DE MATERIA PRIMA.,” 2016, Accessed: Feb. 16, 2022. [Online]. Available: <https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/29875/2016cristianperez.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.
- [7] IVÁN SANTIAGO GRANDA MESIAS GUSTAVO ADOLFO PLAZA TAPIA, “UTILIZACIÓN DE LODOS RESIDUALES DE UNA PLANTA DE ANODIZADO DE ALUMINIO PARA LA FABRICACIÓN DE LADRILLOS Y ADOQUINES,” 2012, Accessed: Feb. 16, 2022. [Online]. Available: <http://repositorio.espe.edu.ec/xmlui/bitstream/handle/21000/6935/AC-SGA-ESPE-047218.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.

**Realizado por:** Josselyn Valeria Loor Jacome

**Directora:** Dra. Verónica Morales