

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTÓBAL DE HUAMANGA

FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS, GEOLOGÍA Y CIVIL

ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



**DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICOMECÁNICAS DE
ADOQUINES VIBROCOMPACTADAS CON ESCORIA DE COBRE,
PARA EL TRÁNSITO LIGERO EN LA CIUDAD DE
AYACUCHO, 2021**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO CIVIL**

PRESENTADO POR:

BACH. LUIS MIGUEL PABLO RAYMÚNDEZ

ASESOR:

MSC. ING. JAIME LEONARDO BENDEZÚ PRADO

AYACUCHO – PERÚ

2022

Resumen

La investigación tiene como propósito evaluar la incidencia de la escoria de cobre, en las propiedades físico mecánicas de adoquines vibro compactados, para el tránsito ligero en la ciudad de Ayacucho. El enfoque metodológico de la investigación es cuantitativo, es un estudio prospectivo, longitudinal y analítica. La estrategia para el proceso de la investigación se basó en un diseño experimental.

Se elaboraron grupos de adoquines con diferentes proporciones de reemplazo de escoria de cobre por el agregado fino, los grupos A, B, C, D, E, F y G con reemplazos al 10%, 20%, 30%, 40%, 50%, 60% y 100% respectivamente, y un grupo patrón (P), sin escoria de cobre con la finalidad de determinar sus propiedades físicas y mecánicas. Se observó que la escoria de cobre no incide significativamente en la variación dimensional del adoquín, en cuanto a la densidad, la escoria de cobre influye significativamente, el grupo G presentó una densidad de 2422.9 Kg/m³ respecto al grupo patrón P que tuvo un valor de 2140.4 Kg/m³. Con respecto a la absorción de los adoquines, los grupos A, B y C (5.44%, 5.30% y 5.20%) disminuyeron con respecto a la absorción del adoquín patrón (5.46%) y a partir del grupo D (5.32%) se observó que se incrementa la absorción. Las resistencias a la compresión de los adoquines se incrementaron a medida que se reemplazó la escoria de cobre hasta un 40% y a partir del reemplazo del 50% hasta el 100%, la resistencia a la compresión disminuyó significativamente, llegando a valores menores a la resistencia del adoquín patrón, la resistencia máxima que se obtuvo fue del grupo D con un valor de 620.86 Kg/cm² y la mínima del grupo G con un valor de 481.42 Kg/cm². En cuanto al costo de producción por unidad de adoquín se determinó que a medida que se reemplaza la escoria de cobre por el agregado fino el costo de producción del adoquín para el tránsito ligero también se incrementa.

Palabras clave: Adoquín, escoria de cobre, resistencia a la compresión, agregado fino, propiedades físicas y mecánicas.

Abstract

The purpose of this research is to evaluate the incidence of copper slag on the physical-mechanical properties of vibro -compacted pavers for light traffic in the city of Ayacucho. The methodological approach of the research is quantitative, it is a prospective, longitudinal and analytical study. The strategy for the research process was based on an experimental design. Groups of pavers were made with different proportions of copper slag replacement by fine aggregate, groups A, B, C, D, E, F and G with replacements at 10%, 20%, 30%, 40%, 50%, 60% and 100% respectively, and a standard group (P), without copper slag in order to determine their physical and mechanical properties. It was observed that the copper slag does not have a significant influence on the dimensional variation of the pavers. As for the density, the copper slag has a significant influence; group G had a density of 2422.9 Kg/m³ compared to the standard group P, which had a value of 2140.4 Kg/m³. With respect to the absorption of the pavers, groups A, B and C (5.44%, 5.30% and 5.20%) decreased with respect to the absorption of the standard paver (5.46%) and from group D (5.32%) it was observed that the absorption increased. The compressive strengths of the pavers increased as the copper slag was replaced up to 40% and from the replacement of 50% to 100%, the compressive strength decreased significantly, reaching values lower than the strength of the standard paver, the maximum strength obtained was from group D with a value of 620.86 Kg/cm² and the minimum from group G with a value of 481.42 Kg/cm². As for the production cost per paver unit, it was determined that as the copper slag is replaced by fine aggregate, the production cost of the paver for light traffic also increases.

Keywords: Paver, copper slag, compressive strength, fine aggregate, physical and mechanical properties.

Introducción

El uso de adoquines en la pavimentación de calles, parques, estacionamientos en la ciudad de Ayacucho, no tiene un mayor arraigo como en otras regiones del país, las pavimentaciones son en mayoría construcciones de pavimento rígido, estas al pasar los años experimentan fisuras, se rompen las pistas para realizar obras de instalaciones sanitarias y eléctricas, ocasionando que en las calles y parques se vean parches de pésima calidad, dando una mala impresión e imagen visual, ocasionando incomodidad al transitar y peligro para los peatones puesto que se pueden generar accidentes. Para ello una de las alternativas es mejorar sus propiedades físico mecánicas de los adoquines, disminuir los costos de fabricación, minimizar los daños al medio ambiente y lo más importante que tenga mucha durabilidad en los años de su servicio.

En la actualidad, la contaminación ambiental es un tema álgido, especialmente los pasivos ambientales de las minas y refinerías, el Perú se sitúa como el segundo productor a nivel mundial del cobre y para refinar el cobre se generan aproximadamente 2,2 Tn de escoria por tonelada de cobre refinado, acumulándose a lado de las refinerías y si no son bien manejados generan efectos nocivos en el medio ambiente. Consecuentemente es necesario buscar nuevos materiales de construcción alternativos a los adoquines tradicionales que brinden un alto grado de factibilidad constructiva. Es así en esta tesis se plantea en la elaboración de unidades de adoquines de vibro compactados con escoria de cobre para el tránsito ligero en la ciudad de Ayacucho.

El problema general es ¿Cómo la cantidad de escoria de cobre, incide en las propiedades físico mecánicas de adoquines vibro compactadas, para el tránsito ligero en la ciudad de Ayacucho? y el trabajo de investigación se justifica porque sirve, para demostrar el uso de la escoria de cobre como material de reemplazo por el agregado fino en la elaboración de adoquines de tránsito ligero, además, es conveniente, porque contribuye en la reducción de la contaminación ambiental usando los desechos en la refinación del Cobre.

Dedicatoria

A mis padres

Aydee Raymúndez Condori y Eleuterio
Pablo Arotoma, a quienes les agradezco
infinitamente por el apoyo incommensurable.

Agradecimientos

A los profesores de la escuela de ingeniería civil de la Universidad Nacional San Cristóbal de Huamanga, por los conocimientos impartidos durante mi etapa universitaria.

Agradezco a mi asesor de tesis, M.Sc. Ing. Jaime Leonardo Bendezú Prado, docente de la escuela de Ingeniería Civil de esta Universidad, quien me orientó con su correcta crítica constructiva y su colaboración en la elaboración de esta tesis.

Agradecer sus comentarios y sus críticas constructivas en la revisión de esta tesis, al M.Sc. Ing. Edward León Palacios y al M.Sc. Ing. Rolando Cisneros Ayala, ingenieros docentes de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga

Índice general

Resumen	ii
Abstract	iii
Introducción	iv
Dedicatoria	v
Agradecimientos.....	vi
Índice general	vii
Índice de tablas.....	x
Índice de figuras	xii
Glosario	xiv
Lista de acrónimos	xv
Símbolos.....	xvi
I. Planteamiento del problema.....	1
1.1. Descripción del problema	1
1.2. Delimitación del problema.....	5
1.2.1. Espacial.....	5
1.2.2. Temporal.....	5
1.2.3. Temática y unidad de análisis.....	5
1.3. Formulación del problema.	6
1.3.1. Problema general	6
1.3.2. Problema específico.....	6
1.4. Justificación e importancia.....	6
1.4.1. Justificación de la investigación	6
1.4.2. Importancia de la investigación	7
1.5. Límites de la investigación	7
1.6. Objetivos	7
1.6.1. Objetivo general	7
1.6.2. Objetivo específico.....	7
II. Marco teórico.....	9
2.1. Antecedentes.....	9
2.1.1. Investigaciones internacionales.....	9
2.1.2. Investigaciones nacionales.....	10
2.2. Bases teóricas.....	12
2.2.1. Bases teóricas referenciales.....	12

2.2.2.	Bases legales normatividad vigente.....	15
2.3.	Marco conceptual	16
2.3.1.	Cobre	16
2.3.2.	Producción de cobre a nivel mundial	17
2.3.3.	Escoria de cobre.....	21
2.3.4.	Tipos de escoria debido a las diversas técnicas de enfriamiento.....	21
2.3.5.	Refinerías metalúrgicas en el Perú	22
2.3.6.	Adoquines de Concreto	27
2.3.7.	Tipos de adoquines	28
2.3.8.	Requisitos físicos de adoquines.....	29
2.3.9.	Ventajas del adoquín	30
2.3.10.	Concreto.....	31
2.3.11.	Propiedades principales del concreto en estado fresco.....	32
III.	Método	33
3.1.	Enfoque	33
3.2.	Alcance.....	34
3.3.	Diseño de la investigación	34
3.4.	Población y muestra	35
3.4.1.	Población	35
3.4.2.	Muestra	35
3.5.	Hipótesis.....	36
3.5.1.	Hipótesis general	36
3.5.2.	Hipótesis específicas.....	36
3.6.	Operacionalización de variables	37
3.6.1.	Definición conceptual de las variables	37
3.6.2.	Definición operacional de las variables.....	37
3.7.	Técnicas e Instrumentos de Investigación	39
3.7.1.	Técnicas	39
3.7.2.	Instrumentos	39
3.8.	Técnicas Estadísticas Para el Procesamiento de la Información.....	39
3.8.1.	Estadística Descriptiva	39
3.8.2.	Estadística Inferencial.....	40
3.9.	Desarrollo del Trabajo de Tesis	42
3.9.1.	Recolección de Agregado en cantera.....	43

3.9.2.	Adquisición de la Escoria de cobre	43
3.9.3.	Caracterización del agregado.....	44
3.9.4.	Diseño y elaboración de Adoquines patrón	49
3.9.5.	Trabajabilidad, segregación y exudación de las mezclas para adoquines	58
3.9.6.	Determinación de las propiedades físicas en adoquines.....	59
3.9.7.	Determinación de la propiedad mecánica, resistencia a la compresión de adoquines	61
IV.	Resultados	62
4.1.	Contrastación de la Hipótesis.....	62
4.1.1.	Contraste de hipótesis de propiedades físicas densidad del adoquín.....	62
4.1.2.	Contraste de hipótesis de propiedades físicas de absorción del adoquín.	64
4.1.3.	Contraste de hipótesis de propiedades físicas de variación dimensional del adoquín.	67
4.1.4.	Contraste de hipótesis de propiedad mecánica de resistencia a la compresión del adoquín.....	71
4.2.	Análisis e interpretación de datos	75
4.2.1.	Análisis de resultados, del estudio de los agregados	75
4.2.2.	Resultados de los ensayos del adoquín.....	86
4.2.3.	Evaluación de costos de producción de adoquines.....	99
V.	Conclusiones	106
5.1.	Conclusiones de la investigación	106
VI.	Recomendaciones.....	107
VII.	Referencias bibliográficas.....	108
VIII.	Anexos	112

Índice de tablas

	Pág.
Tabla 1 Efectos del Vertido y Abandono de la Escoria de Cobre	1
Tabla 2 Principales desechos contaminantes de la fundición de cobre SPCC (Ilo)	27
Tabla 3 Espesor Nominal y Resistencia a la Compresión	29
Tabla 4 Tolerancia Dimensional	29
Tabla 5 Absorción máxima en adoquines	30
Tabla 6 Diseño de investigación	34
Tabla 7 Operacionalización de variables	38
Tabla 8 Absorción Resistencia a la Compresión requerida	49
Tabla 9 Selección del Asentamiento	49
Tabla 10 Volumen de Agua por m ³ . Agua en litros/m ³ para TNM de agregados y consistencia	49
Tabla 11 Contenido de aire atrapado	50
Tabla 12 Relación agua/cemento por resistencia para f'cr	51
Tabla 13 Peso del agregado grueso por unidad de volumen del concreto (b/b ₀)	51
Tabla 14 Dosificación de materiales en kilogramos	53
Tabla 15 Dosificación de los materiales en kilogramos para la elaboración de los adoquines	54
Tabla 16 Tabla de normalidad para densidad de los adoquines a los 28 días	63
Tabla 17 Resumen de prueba de normalidad de densidad de los adoquines	63
Tabla 18 T de student para densidad de los adoquines a los 28 días	63
Tabla 19 Conclusión de T de student sobre la densidad de adoquines	64
Tabla 20 Tabla de normalidad para absorción de los adoquines a los 28 días	65
Tabla 21 Resumen de prueba de normalidad de absorción de los adoquines	66
Tabla 22 T de student para absorción de los adoquines a los 28 días	66
Tabla 23 Conclusión de T de student sobre absorción de adoquines a los 28 días	67
Tabla 24 Tabla de normalidad para la variación dimensional de los adoquines a los 28 días	68
Tabla 25 Resumen de prueba de normalidad de variación dimensional de los adoquines	69
Tabla 26 T de student para variación dimensional de los adoquines a los 28 días	69
Tabla 27 Conclusión de T de student para variación dimensional de adoquines a los 28 días	70
Tabla 28 Tabla de normalidad para la resistencia a compresión de los adoquines a los 28 días	72
Tabla 29 Resumen de la prueba de normalidad de la resistencia a compresión de los adoquines	72
Tabla 30 T de Student para la resistencia a compresión de los adoquines a los 28 días	73
Tabla 31 Conclusión de T de Student de resistencia a la compresión de adoquines a los 28 días	73
Tabla 32 Granulometría del agregado grueso (grava) empleado en la elaboración del adoquín	75

Tabla 33	PUSS y PUCS del agregado grueso	76
Tabla 34	Peso específico y absorción del agregado grueso	77
Tabla 35	Contenido de humedad del agregado grueso	78
Tabla 36	Granulometría de la arena gruesa empleado en la elaboración del adoquín	79
Tabla 37	PUSS y PUCS del agregado fino	81
Tabla 38	Peso específico y absorción del agregado fino	81
Tabla 39	Contenido de humedad del agregado fino	82
Tabla 40	Granulometría de la escoria de cobre en la elaboración del adoquín	83
Tabla 41	PUSS y PUCS de la escoria de cobre	85
Tabla 42	Peso específico y absorción de la escoria de cobre	85
Tabla 43	Contenido de humedad de la escoria de cobre	86
Tabla 44	Ensayo de variación dimensional de los adoquines del grupo patrón P-0% EC, a los 28 días	88
Tabla 45	Ensayo de variación dimensional de los adoquines del grupo A-10%EC, a los 28 días	88
Tabla 46	Ensayo de variación dimensional de los adoquines del grupo B-20%EC, a los 28 días	89
Tabla 47	Ensayo de variación dimensional de los adoquines del grupo C-30%EC, a los 28 días	89
Tabla 48	Ensayo de variación dimensional de los adoquines del grupo D-40%EC, a los 28 días	90
Tabla 49	Ensayo de variación dimensional de los adoquines del grupo E-50%EC, a los 28 días	90
Tabla 50	Ensayo de variación dimensional de los adoquines del grupo F-60%EC, a los 28 días	91
Tabla 51	Ensayo de variación dimensional de los adoquines del grupo G-100%E.C., a los 28 días	91
Tabla 52	Análisis de costo unitario del adoquín sin escoria de cobre (patrón)	100
Tabla 53	Análisis de costo unitario del adoquín con reemplazo de escoria de cobre al 10%	100
Tabla 54	Análisis de costo unitario del adoquín con reemplazo de escoria de cobre al 20%	101
Tabla 55	Análisis de costo unitario del adoquín con reemplazo de escoria de cobre al 30%	101
Tabla 56	Análisis de costo unitario del adoquín con reemplazo de escoria de cobre al 40%	102
Tabla 57	Análisis de costo unitario del adoquín con reemplazo de escoria de cobre al 50%	102
Tabla 58	Análisis de costo unitario del adoquín con reemplazo de escoria de cobre al 60%	103
Tabla 59	Análisis de costo unitario del adoquín con reemplazo de escoria de cobre al 100%	103
Tabla 60	Resultado de costo de producción de adoquines para el tránsito ligero	104
Tabla 61	Variación de costo respecto al adoquín patrón en porcentaje (%)	105

Índice de figuras

		Pág.
Fig. 1	Plaza de armas de la ciudad de Ayacucho, con presencia de parches y fisuras (2022)	4
Fig. 2	Adoquines de concreto dañados- Jr. Arequipa (2022)	4
Fig. 3	Evolución de la Resistencia del concreto con cemento Yura IP	11
Fig. 4	Evolución de la Resistencia del concreto con cemento Wari IP	11
Fig. 5	Evolución de la Resistencia del concreto	13
Fig. 6	Evolución de la Resistencia del concreto	14
Fig. 7	Mina de Chuquicamata en Chile	18
Fig. 8	Mina Cerro verde, Perú	19
Fig. 9	Producción de Cobre a Nivel Mundial (2020)	20
Fig. 10	Vista panorámica del Complejo Metalúrgico de la Oroya	22
Fig. 11	Depósito de Escorias de Huanchán (La Oroya)	24
Fig. 12	Circuito de cobre de CMLO	25
Fig. 13	Fundición y Refinería de cobre de Ilo (Moquegua)	26
Fig. 14	Longitud, ancho y espesor de las unidades de concreto para pavimentos	30
Fig. 15	Esquema de población	35
Fig. 16	Esquema de muestra	36
Fig. 17	Visita a la cantera de Chillico, para extracción de agregados	43
Fig. 18	Adquisición de la Escoria de cobre	44
Fig. 19	Agregado fino y agregado grueso(confitillo)	45
Fig. 20	Tamizado de los agregados en el laboratorio	45
Fig. 21	Proceso de pesaje inicial de la muestra	46
Fig. 22	vista de trabajos realizados en el laboratorio	48
Fig. 23	Máquina bloquetera vibradora y compactadora hidráulico	55
Fig. 24	Pesaje de los agregados, escoria de cobre, el agua y el cemento	55
Fig. 25	Mezclado de los materiales con un trompo mezclador de concreto	56
Fig. 26	Proceso de mezclado hasta formar una pasta uniforme	56
Fig. 27	colocado de la mezcla sobre los moldes y vibro compactado	57
Fig. 28	Proceso de desmolde del adoquín	57
Fig. 29	Curado de los adoquines	58
Fig. 30	Ensayo de consistencia a las mezclas en estado plástico	58

Fig. 31	Ensayo de variación dimensional del adoquín	59
Fig. 32	Ensayo de variación dimensional del adoquín	60
Fig. 33	Ensayo de resistencia a la compresión de los adoquines	61
Fig. 34	Curva granulométrica del agregado grueso (grava) de la cantera Chillico	76
Fig. 35	Curva granulométrica del agregado fino de la cantera Chillico	80
Fig. 36	Curva granulométrica de la escoria de cobre	84
Fig. 37	Variación de la densidad del adoquín con diferentes porcentajes de escoria de cobre	86
Fig. 38	Variación de la absorción con diferentes porcentajes de escoria de cobre	87
Fig. 39	Variación dimensional de adoquines con diferentes porcentajes de escoria de cobre	92
Fig. 40	Evolución de la resistencia a compresión del adoquín patrón	93
Fig. 41	Evolución de la resistencia a compresión del adoquín con reemplazo al 10% de E.C.	93
Fig. 42	Evolución de la resistencia a compresión del adoquín con reemplazo al 20% de E.C.	94
Fig. 43	Evolución de la resistencia a compresión del adoquín con reemplazo al 30% de E.C.	94
Fig. 44	Evolución de la resistencia a compresión del adoquín con reemplazo al 40% de E.C.	95
Fig. 45	Evolución de la resistencia a compresión del adoquín con reemplazo al 50% de E.C.	95
Fig. 46	Evolución de la resistencia a compresión del adoquín con reemplazo al 60% de E.C.	96
Fig. 47	Evolución de la resistencia a compresión del adoquín con reemplazo al 100% de E.C.	96
Fig. 48	Resumen de la evolución de la resistencia a compresión del adoquín con diferentes % de reemplazo de escoria de cobre.	97
Fig. 49	Gráfico de barras de las resistencias a compresión de los adoquines con diferentes % de reemplazo de escoria de cobre a los 7,14,21 y 28 días	98
Fig. 50	Evolución del costo al incrementar el porcentaje de reemplazo de la escoria de cobre	104

Glosario

Cobre: Metal rojizo con brillo metálico y es uno de los mejores conductores eléctricos debido a su alta conductividad eléctrica.

Escoria de cobre: Material de desecho obtenido por proceso pirometalúrgico, que es uno de los procesos de refinación de cobre.

Adoquín: son elementos prefabricados compactos de concreto, con la forma de prisma recto, permitiendo conformar superficies de manera continua y formar pavimentos para calles y parques.

Propiedades físicas: son aquellas que se pueden medir sin afectar la composición o la identidad del cuerpo o sustancia.

Propiedades mecánicas: Es la descripción de comportamiento de un material ante fuerzas aplicadas sobre él, se refieren a la capacidad de los mismos de resistir a acciones de cargas.

Resistencia a la compresión: Esfuerzo máximo que puede soportar un material bajo una carga de aplastamiento, se determina dividiendo la carga máxima por el área transversal.

Agregado: Son partículas de origen natural o artificial de forma rugosa y angulosa, que posee una estabilidad química y una buena resistencia mecánica, comúnmente usado para la elaboración de concreto.

Concreto: Mezcla, compuesta de agregado fino y grueso, cemento, agua, aire y aditivos.

Grupo experimental: Grupo de adoquines elaborados con remplazo de la escoria de cobre por el agregado fino en diferentes porcentajes en peso.

Grupo de control: Grupo de adoquines elaborados sin escoria de cobre.

Pasivo ambiental: Son restos o depósitos de residuos producidos por operaciones mineras que son abandonadas o inactivas que constituyen un riesgo permanente para el medio ambiente.

Lista de acrónimos

EFC	: Escoria de fundición de cobre
NTP	: Norma Técnica Peruana
RNE	: Reglamento Nacional de Edificaciones
SPSS	: Statistical Package for the Social Sciences
V.D.A.	: Variación Dimensional del Ancho
V.D.H.	: Variación Dimensional de la Altura
V.D.L.	: Variación Dimensional del Largo
MINEM	: Ministerio de Energía y Minas
TMF	: Toneladas Métricas finas
INACAL	: Instituto Nacional de Calidad
INDECOPI	: Instituto Nacional de Defensa de la Competencia y de la Protección de la Propiedad Intelectual
SUCS	: Sistema Unificado de Clasificación de Suelos
ACI	: American Concrete Institut

Símbolos

E	:	Este
N	:	Norte
As	:	Arsénico
Cd	:	Cadmio
Pb	:	Plomo
Cu	:	cobre
Fe	:	Hierro
Zn	:	Zinc
MF	:	Módulo de fineza
W(%)	:	Contenido de humedad
f^c	:	Resistencia a la compresión
f^{cr}	:	Resistencia a la compresión requerida
H₀	:	Hipótesis nula
H₁	:	Hipótesis alterna
TMN	:	Tamaño máximo nominal
PUSS	:	Peso unitario suelto seco
PUCS	:	Peso unitario suelto seco
P	:	Grupo de adoquines patrón; sin escoria de cobre
A	:	Grupo con reemplazo de escoria de cobre al 10%
B	:	Grupo con reemplazo de escoria de cobre al 20%
C	:	Grupo con reemplazo de escoria de cobre al 30%
D	:	Grupo con reemplazo de escoria de cobre al 40%
E	:	Grupo con reemplazo de escoria de cobre al 50%
F	:	Grupo con reemplazo de escoria de cobre al 60%
G	:	Grupo con reemplazo de escoria de cobre al 100%

I. Planteamiento del problema

1.1. Descripción del problema

Descripción Mundial.

Durante los últimos años, el cobre ha experimentado el aumento de su precio y una fuerte demanda internacional, debido fundamentalmente por su conductividad eléctrica y demanda de uso en el campo eléctrico y la electromecánica haciendo que la minería del cobre aumente drásticamente y que este metal tenga interés estratégico en muchos países (Nazer, 2016).

Para la extracción y refinación del cobre se producen muchos residuos, entre ellos se encuentra la denominada escoria de cobre, este material es altamente contaminante para el ambiente en general, tal es así que para la producción de una tonelada de cobre se generan aproximadamente 2,2 toneladas de escoria, que se acumulan al lado de las plantas industriales, las cuales son potencialmente contaminantes si no son bien manejados (Carrasco, 2017).

Sin embargo, las escorias de cobre han sido una preocupación de largo plazo para las empresas mineras y metalúrgicas, no solo por la posibilidad económica (para uso personal o venta a terceros), sino también por su contribución a la descontaminación de depósitos naturales y el medio ambiente de los yacimientos minerales, también la necesidad de restauración o recuperar amplios patios y terrenos alrededor de las refinерías donde se ha depositado la escoria, por lo cual el uso de la escoria cubrirá muchos vacíos cuando estos desechos se utilicen en la construcción (Nazer et al., 2010).

Cuando la escoria de cobre se deposita en espacios naturales sin un tratamiento y / o uso adecuado, tendrá efectos muy nocivos en todos los ámbitos, como el suelo, impacto biológico, impacto paisajístico, impacto social, impacto económico, entre otros, pero estos son los más afectados (Nazer, 2016).

Tabla 1.

Efectos del Abandono y Vertido de la Escoria de Cobre

Efectos	
Impacto sobre el suelo	Compactación del suelo.
	Fluencia, fallas.
	Desprendimientos por fenómenos sísmicos.
	Playas destruidas
Impactos biológicos	Pérdida de carga vegetal.

	Lixiviación de metales pesados. Pérdida de calidad de suelo y agua.
Impactos en el paisaje	Contaminación visual Generación de barreras en cauces naturales Acarreos por aluviones y maremotos
Impactos sociales	Lugares históricos alterados o destruidos Vivir en entornos contaminados (percepción)
Impactos económicos	Daños derivados del transporte por aluviones y maremotos Pérdida de suelo fértil Uso de suelo

Nota. Escoria de cobre como propiedad cementante en la construcción, región Atacama, Chile (Nazer, 2016).

Por otro lado, es necesario ver los problemas que crea el uso de un determinado tipo de pavimento, que ha dejado de lado el uso de los sistemas de pavimentación más antiguos, que es pavimento flexible con adoquines.

Las máquinas pavimentadoras de adoquines se utilizan con frecuencia en Brasil y países europeos, ya que se dio mucha importancia a la pavimentación con adoquines, puesto que estas se pueden usar en muchas áreas públicas: como parques, estacionamientos, aeropuertos, puertos e incluso áreas recreativas. Otra de las causas que es utilizado los adoquines es que presentan una buena resistencia a la compresión, son estéticos y se pueden colorear o pintar de la forma que deseen e incluso pueden ser permeables durante la temporada de lluvias (Montiel, 2017).

Descripción Nacional.

Según el Ministerio de Energía y Minas (MINEM), Perú en 2019 produjo 2,46 millones de toneladas métricas finas (TMF) de cobre, superando su récord de producción anterior. El país ocupa el segundo lugar después de Chile en producción de cobre, con una producción de más de 5,6 millones de toneladas de metal métrico fino (Alcalá, 2020).

Los investigadores Quispe Frank y Ortiz Mijaíl nos dan a conocer de cerros artificiales de desechos mineros (escoria de cobre) producto del proceso minero de la extracción del cobre, por parte de la refinería Southern Cooper Perú-Ilo, que viene operando desde hace mucho tiempo, se ha observado el aumento de este residuo y manifiestan la contaminación del mar, produciendo una contaminación hidrobiológica en las zonas cercanas a la planta de tratamiento. Observaron que en toda la rivera del mar no se encuentra recurso hidrobiológico alguno, con el paso del tiempo la presencia de este residuo minero ha ido aumentando hasta tener almacenado un volumen de 100 toneladas de escoria aproximadamente según el diario la República (2017),

y esta cantidad ira avanzando cada año; puesto se estima que por cada tonelada de cobre de alta pureza, se produce entre 2.5 a 3.0 toneladas de residuo minero específicamente de Escoria de Cobre (Quispe & Ortiz, 2020).

En nuestro país la elaboración y comercialización de los adoquines, solo lo maneja el sector privado, siendo la Empresa Unicón, la empresa más grande productora de Adoquines de concreto. Dado que esta empresa es del ámbito privado, mantiene en secreto las dosificaciones y los tipos de aditivos que emplean. Por esto, el tema de los adoquines, no se ha desarrollado para el sector público en general (Paucar, 2019).

Descripción Regional.

La región de Ayacucho, no cuenta con residuos de escoria de cobre, pero por su ubicación geográfica (zona sur – central de los andes peruanos) en el futuro los desechos de escoria de cobre formen parte del paisaje de la región, contaminado al medio ambiente.

El uso de adoquines en la pavimentación de calles, parques, estacionamientos en la ciudad de Ayacucho, no tiene un mayor arraigo como en otras regiones del país, las pavimentaciones en la ciudad de Ayacucho son en mayoría construcciones de pavimento rígido, estas al pasar los años experimentaron fisuras, se rompen las pistas para realizar obras de instalaciones sanitarias ocasionando que en las calles y parques se vean parches de pésima calidad, dando una mala impresión e imagen a los turistas que vienen a conocer la ciudad de Ayacucho. En la Fig. (1) se observa la plaza de armas del centro histórico de la ciudad de Ayacucho con presencia de parches y fallas estructurales en la superficie de rodadura.

Figura 1.

Plaza de armas de la ciudad de Ayacucho, con presencia de parches y fisuras (2022)



Fuente: Elaboración propia

En los últimos años se han venido utilizando adoquines para pavimentar algunas zonas de Ayacucho esperando tener pavimentos en buen estado a largo plazo, sin embargo, se observó que los adoquines usados en la pavimentación tienen defectos como agrietamientos, roturas, que ocasionan, incomodidad al transitar, peligro para los peatones y hasta pueden generar accidentes.

Figura 2.

Adoquines de concreto dañados- Jr. Arequipa (2022)



Fuente: Elaboración propia

Los adoquines de concreto en la ciudad de Ayacucho en mayoría son adoquines para pavimentos de uso peatonal, pero en la ciudad también se requieren adoquines para pavimentos de tránsito vehicular ligero y pesado. Para ello una de las propuestas es mejorar sus propiedades tanto físicas y mecánicas de los adoquines, disminuir los costos de producción, minimizar los impactos al medio ambiente y lo más es que el adoquín sea durable en los años de su servicio.

Se tiene conocimiento que en la Ciudad de Ayacucho se han elaborado adoquines de concreto en el proyecto ejecutado por administración directa, específicamente en la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, éstas no cumplen los requerimientos que la normativa exige, ya que al someter estas a ensayo a compresión, la resistencia al esfuerzo a compresión solo alcanza hasta 211.49 Kg/cm² esto a falta de información en el tema de adoquines, puesto que no existen investigaciones relacionadas al tema de adoquines en la ciudad de Ayacucho (Paucar, 2019).

Consecuentemente es necesario buscar nuevos materiales de construcción alternativos a los adoquines tradicionales que brinden un alto grado de factibilidad constructiva. Es así en esta tesis se plantea en la elaboración de unidades de adoquines de vibro compactados con escoria de cobre para el tránsito ligero en la ciudad de Ayacucho.

1.2. Delimitación del problema.

1.2.1. Espacial

La investigación experimental se llevará a cabo en la ciudad de Ayacucho, los materiales naturales a usarse son el agregado de las canteras abastecedoras aledañas a la ciudad como la cantera Chillico.

1.2.2. Temporal.

El estudio e investigación se abordó en el año (2021). identificando sus principales problemas referentes a la intervención respecto a la escoria que se desechan en las plantas de producción de cobre, tratando de darle un valor a estos desechos mediante la elaboración de adoquines de concreto para el tránsito ligero.

1.2.3. Temática y unidad de análisis.

La temática, engloba el aspecto ambiental e ingenieril: En el aspecto ambiental, se pretende dar el uso de la escoria de cobre en el área de la construcción, por su parte en la ingeniería y tecnología de materiales se pretende elaborar adoquines de tránsito ligero y luego

analizar el efecto de la escoria de cobre, como material alternativo en la elaboración de adoquines.

La Unidad de análisis, al que se aplicarán los instrumentos de medición son los, adoquines de tránsito ligero, hechos con materiales convencionales y hechos con sustitución de escoria de cobre respecto del agregado fino, elaborados de acuerdo a los objetivos planteados en la presente investigación.

1.3. Formulación del problema.

1.3.1. Problema general

¿Cómo la cantidad de escoria de cobre, incide en las propiedades físico mecánicas de adoquines vibro compactadas, para el tránsito ligero en la ciudad de Ayacucho?

1.3.2. Problema específico.

- a. ¿Cómo la cantidad de escoria de cobre, incide en la variabilidad dimensional, densidad y absorción, en adoquines vibro compactadas, para el tránsito ligero, en la ciudad de Ayacucho?
- b. ¿Cómo la cantidad de escoria de cobre, incide en la resistencia a la compresión de adoquines vibro compactados, para el tránsito ligero, en la ciudad de Ayacucho?
- c. ¿Cómo la cantidad de escoria de cobre, incide en el costo de producción de adoquines vibro compactadas, para el tránsito ligero en la ciudad de Ayacucho?

1.4. Justificación e importancia

1.4.1. Justificación de la investigación

La presente investigación se justifica por las siguientes razones.

Conveniencia: El propósito de este estudio es demostrar el uso de escorias de cobre como una alternativa a los materiales clásicos en la producción de adoquines de tránsito ligero, además, es conveniente porque puede reemplazar materias primas no renovables con residuos contaminantes para el medio ambiente.

Relevancia social: Los resultados de la investigación justifica porque contribuye con el bienestar de la sociedad en su conjunto ya que se tendrán un nuevo material alternativo en tema de pavimentos. También tiene relevancia social ya que la escoria de cobre se encuentra

almacenados generando contaminación del agua por lixiviación y al medio que lo rodea, con el uso de este material de alguna manera se mitiga la contaminación.

aplicaciones prácticas: La escoria de Cobre, permitirá mejorar las propiedades mecánicas de los adoquines, en la actualidad no se producen adoquines para el tránsito ligero en la región de Ayacucho.

valor teórico: Gracias a esta investigación, nuevas ideas surgirán para futuras investigaciones sobre adoquines vibro compactados y reutilización de residuos mineros en áreas de la construcción.

Valor ambiental: Permite preservar el medio ambiente, contribuyendo a aminorar la contaminación por desechos de la producción del Cobre.

1.4.2. Importancia de la investigación

Esta investigación es de suma importancia porque tiene la finalidad de introducir un nuevo material en el campo de la construcción aprovechando las materias primas de nuestra zona, con propiedades físico mecánicas que cumplan con las normativas vigentes.

Con ello se busca que las unidades de adoquines vibro compactadas con adición de escoria de cobre, puedan ser utilizadas en todo tipo de construcciones de pavimentación, contribuyéndose de esta manera a la reducción de la contaminación del medio ambiente.

1.5. Límites de la investigación

La investigación se limita a elaborar adoquines vibro compactadas con escoria de cobre y realizar las pruebas de ensayo en laboratorio a partir de los adoquines elaborados, para demostrar la posibilidad de uso y así insertar un nuevo material de construcción.

La investigación se limita a las pruebas de ensayo de acuerdo a los objetivos planteados.

1.6. Objetivos

1.6.1. Objetivo general

Evaluar la incidencia de la cantidad de escoria de cobre, en las propiedades físico mecánicas de adoquines vibro compactados, para el tránsito ligero en la ciudad de Ayacucho.

1.6.2. Objetivo específico.

- a. Evaluar la incidencia de la cantidad de escoria de cobre, en la variabilidad dimensional, densidad y absorción, en adoquines vibro compactadas, para el tránsito

ligero, en la ciudad de Ayacucho.

- b. Evaluar la incidencia de la cantidad de escoria de cobre, en la resistencia a la compresión de adoquines vibro compactados, para el tránsito ligero, en la ciudad de Ayacucho.
- c. Evaluar la incidencia de la cantidad de escoria de cobre, en el costo de producción de adoquines vibro compactadas, para el tránsito ligero en la ciudad de Ayacucho.

II. Marco teórico.

2.1. Antecedentes.

En la actualidad la escoria de cobre, como material contaminante es un problema ampliamente estudiado por diferentes investigadores, de los diversos estudios existentes como material de adición en el concreto en diferentes porcentajes se consideran:

2.1.1. Investigaciones internacionales.

En el ámbito internacional se ha desarrollado numerosas investigaciones respecto a la aplicabilidad de la escoria de cobre, las investigaciones se desarrollan principalmente en Chile , así también como en el continente europeo; la realidad de nuestra región es distinta ya que se cuenta con una cantidad limitada de investigaciones.

En la investigación titulada “Estudio de la resistencia y reología de hormigones con adición de escorias de cobre como sustituto del árido fino” para obtener el grado de Doctor , por la Universidad de Málaga, cuyo objetivo principal fue analizar el efecto de la adición de escoria de cobre en sustitución del árido fino sobre las propiedades del concreto fresco y estado endurecido, y realizar diferentes ensayos para distintos tipos de concreto en sustitución del árido fino por la escoria de cobre. Entre los ensayos se destaca ensayos de análisis de índice de rebote, reología, absorción de agua, resistencia a la tracción, densidad, tracción flexible, absorción de agua, porosidad, permeabilidad al agua bajo presión, módulo elástico, abrasión, carbonización, abrasión, ultrasónico. Para el ensayo de resistencia a la compresión el tesista elaboró 6 probetas con diferentes proporciones de escoria, y evaluó la resistencia para diferentes edades, los resultados obtenidos indican que para hormigones de 7 y 28 días no se ve alterada la resistencia, pero para edades de 90 y 150 días, la capacidad de resistencia a la compresión aumenta para concentraciones de la escoria mayor al 40%. El investigador concluye que el uso de la escoria de cobre es viable para la elaboración de hormigones por la capacidad puzolánica que tiene, pero para tiempos mayores a los 90 días y destaca la aplicación de la escoria de cobre, en estructuras convencionales, elementos prefabricados, capas de rodaduras viales, también para estructuras en ambientes agresivos (Cruz, 2014).

Ivan Alejandro Oyarzun Kneer, en su tesis “Influencia de las escorias de cobre en la fabricación de hormigón” para optar el título de ingeniero civil en obras civiles, en Chile, cuyo objetivo principal fue elaborar una revisión bibliográfica para demostrar el desarrollo de la fabricación de hormigón con escoria de cobre y analizar el efecto de la utilización de la escoria

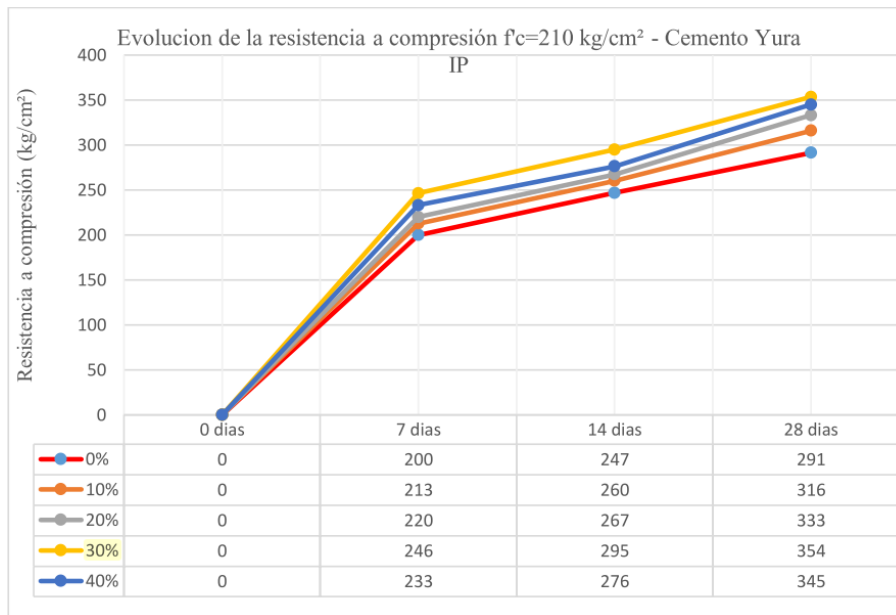
de cobre en el hormigón, en los distintos escenarios tecnológicos. en sus conclusiones señala que la escoria de cobre puede ser utilizada como materia prima en la elaboración de hormigones y que en algunos casos favorece las propiedades mecánicas y químicas, también concluye que la escoria al ser utilizada en la fabricación del hormigón confiere en algunos casos propiedades favorables e indica que el aumento de la densidad ayuda a mejorar el comportamiento de los elementos estructurales y favorece al ecosistema en el entorno de las fundiciones (Oyarzun, 2013).

2.1.2. Investigaciones nacionales.

Cuba & Humpire (2019) realizaron una investigación que lleva por nombre “Análisis comparativo de las propiedades mecánicas para un concreto $f'c = 210 \text{ Kg/cm}^2$ y $f'c = 280 \text{ Kg/cm}^2$ usando cemento Yura Tipo IP y cemento Wari Tipo IP, Con la adición de Escoria de Cobre de la minera Southern Perú, para la ciudad de Arequipa”, en la cual los investigadores realizaron Análisis de las propiedades mecánicas del concreto en estado endurecido, utilizando cemento (Yura Tipo IP, Wari Tipo IP) para los concretos $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ y $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$ adicionando escoria de cobre , en la investigación realizaron diseños con cada tipo de cemento, para 0%, 10%, 20%, 30% y 40% de reemplazo del árido fino por la escoria de fundición de Cobre, para lo cual elaboraron 480 probetas de concretos de $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ y $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$ con agregados de la cantera La Poderosa, de las cuales la mitad fueron sometidas a ensayos a compresión y la otra mitad a ensayos de tracción, ensayadas a los 7,14 y 28 días. Los investigadores obtuvieron mejores resistencias usando el cemento Wari IP, señalan que a medida que se aumenta el nivel de reemplazo de escoria de cobre por el agregado fino, se incrementa la resistencia a compresión hasta en un 30% y empieza a reducirse con 40% de reemplazo de escoria de cobre, concluyendo que el 30% de reemplazo de escoria de Cobre es el diseño más óptimo. En relación al ensayo a tracción también concluyen que reemplazar en un 30% de escoria de cobre se obtienen el diseño más óptimo.

Figura 3.

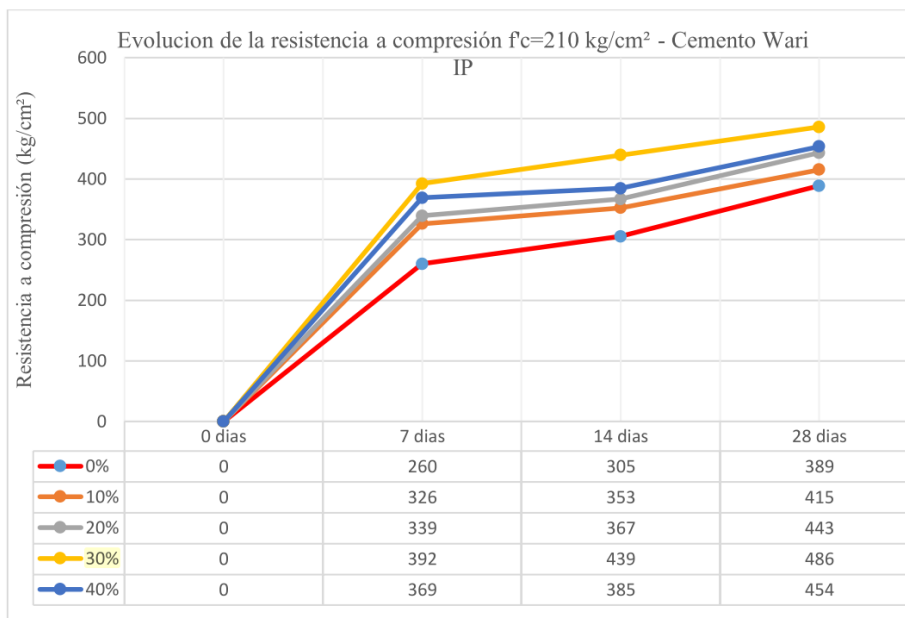
Evolución de la Resistencia del concreto con cemento Yura IP



Fuente: Evolución de la resistencia a compresión $f'_c=210 \text{ kg/cm}^2$ (Cuba & Humpire, 2019).

Figura 4.

Evolución de la Resistencia del concreto con cemento Wari IP



Fuente: Evolución de la resistencia a compresión $f'_c=210 \text{ kg/cm}^2$ (Cuba & Humpire, 2019).

Barrantes & Holguín (2015) en la investigación titulada “Influencia del porcentaje de reemplazo de ceniza volante por cemento, sobre la resistencia a la compresión y absorción en la fabricación de adoquines de transito liviano”, elaborado para obtener el título de Ingeniero

de materiales en la Universidad de Trujillo , tienen como objetivo principal determinar y explicar el reemplazo de ceniza volante por cemento también la influencia sobre la resistencia a la compresión y abrasión en la fabricación de adoquines de tránsito liviano. Los investigadores realizaron 30 probetas y 60 pruebas con diferentes proporciones de reemplazo del 10%, 20%, 30%, 40% y 50% en peso de ceniza por cemento. Los investigadores determinaron que la inclusión de ceniza volante incrementa la resistencia a la compresión hasta un 20% por un valor de 361.33 kg/cm² y al 50% de reemplazo de ceniza se obtuvo un valor de 189.34 Kg/cm² , llegándose a la conclusión de que mayores al 30 % de reemplazo de ceniza la resistencia a la compresión disminuye y entre el rango del 10% -30% de reemplazo de ceniza se cumple con la resistencia que establece la norma NTP 399.611.

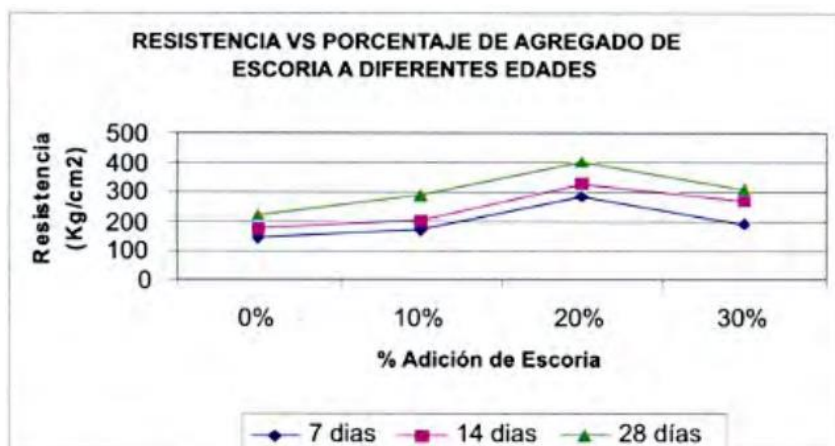
2.2. Bases teóricas.

2.2.1. Bases teóricas referenciales.

En el artículo presentado por el Ing. Gualberto Tejada Bedoya titulado “Sustitución de los Agregados por Escoria de Cobre en la Elaboración del Concreto”, que tuvo por finalidad el estudio de la viabilidad técnica del uso de la escoria de cobre en el concreto. La investigación se orientó a la utilización de la escoria de cobre como agregado, en la cual se reemplazó escoria de cobre por agregado fino en diferentes porcentajes de 10%, 20% y 30 % con relación al volumen de la arena obteniendo datos de resistencia a la compresión del concreto , La investigación concluye que la mayor resistencia a la compresión se obtuvo con un reemplazo del 20% de escoria de cobre del volumen del agregado fino, destacando que el uso de la escoria como agregado ayudaría al reciclaje de la escoria, además se reducirían los impactos ambientales (Tejada et al., 2019).

Figura 5.

Evolución de la Resistencia del concreto

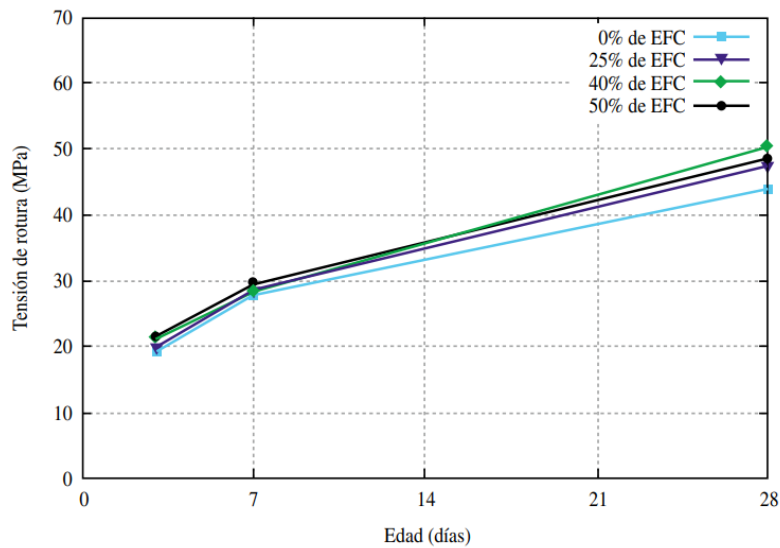


Fuente: Evolución de la resistencia del concreto para los diferentes porcentajes de agregado de escoria de cobre (Tejada et al., 2019).

En la revista chilena de ingeniería se dio a conocer la investigación denominado “Efecto en la resistencia de las escorias de fundición de cobre como agregado fino en el comportamiento resistente del hormigón” en la cual señala que la escoria de cobre son desechos industriales que se originan en plantas de fundición de cobre, que se procesa en forma de granallas y posteriormente son sometidas a moliendas, adquiriendo características similares al agregado fino, en tal sentido el investigador centró el estudio en la influencia de la incorporación de la escoria de cobre en el comportamiento mecánico a flexión, tracción y compresión en hormigones con agregados extraídas del río Bío – Bío con proporciones del 25%, 40%, y 50 % en volumen de escoria de cobre, también midió la trabajabilidad y la densidad. Los resultados señalaron que la docilidad del concreto en estado fresco se incrementó debido a la textura lisa de la escoria de cobre, también resalta que se produjo un aumento de la densidad del concreto endurecido y de la resistencia a flexo compresión como el incremento de la resistencia a la compresión en función que se iba incrementando la escoria de cobre. En conclusión, el artículo nos da a conocer que tanto la resistencia a la flexotracción como a la compresión son máximas para un contenido de escoria de cobre del 40 % y 50 %, y señala que no es posible concluir cuál de los dos contenidos de escoria produce la mayor tensión de rotura (Cendoya, 2009).

Figura 6.

Evolución de la Resistencia del concreto



Fuente: Evolución de la tensión de rotura a compresión para una relación agua cemento de 0,45 (Cendoya, 2009).

Herrera & Constanza (2018) en su investigación titulada utilización de escoria de cobre en remplazo de la arena para ladrillos de hormigón, para que obtengan el grado de Técnico Universitario en minería y metalurgia, tuvieron como objetivo la utilización de escoria de cobre en reemplazo de la arena, para la elaboración de ladrillos de hormigón, ello para reducir la escoria de cobre como residuos mineros masivos. Los investigadores realizaron 10 probetas de hormigón, 5 probetas con hormigón estándar basado en la Nch 170 y el resto de probetas con variación en la composición de la escoria de cobre, a las probetas se le realizaron ensayos de compresión, absorción, y capilaridad. Realizado los ensayos observaron que las probetas compuestas por el árido combinado poseían una resistencia a la compresión en un 12% superior a las probetas estándar, también concluyen que la adicción de escoria produjo una disminución en la absorción capilar del agua. Los investigadores concluyen que la escoria de cobre contribuye positivamente y que es posible utilizar en la fabricación de ladrillos hormigón.

Orizola (2006) en la tesis titulado “Uso de escoria de cobre en cementos” para optar el título de ingeniero civil, en la universidad Chile, en la cual el investigador se enmarcó tres objetivos principales, el estudio del comportamiento de la escoria de cobre como adición en la elaboración de cementos hidráulicos, el estudio de las propiedades puzolánicas de la escoria y la evaluación de la factibilidad técnica de emplear la escoria de cobre como adición de cementos hidráulicos, en donde el investigador elaboró tres cementos experimentales, el primer

experimento realizado fue reemplazar en un 25% en peso de escoria de cobre por el cemento Portland, el segundo experimento, cemento Portland con 40% de su peso reemplazado por escoria de cobre y el último similar al segundo experimento anterior, pero incluyendo aditivo reductor de agua. El tesista determinó que el mortero en estado fresco elaborado con cemento adicionado con escoria de cobre cumplió con los requisitos de tiempo mínimo de fraguado especificados en la normativa nacional chilena, demostrando además que la escoria actúa como retardador de fraguado en relación al tiempo de fraguado del cemento portland sin adición. Por otro lado, establece que las resistencias mecánicas elaborados con los cementos con escoria de cobre, superaron los requisitos mínimos instaurados en la normativa chilena para los cementos nacionales de grado corriente y de alta resistencia, observó que la resistencia mecánica de los morteros con adición de escoria de cobre disminuye al aumentar el porcentaje de adición. La resistencia aumenta drásticamente cuando el investigador agrega al cemento experimental un aditivo reductor de agua, y destaca que el aporte de la escoria de cobre en las propiedades del cemento es un proceso lento, obteniéndose buenos resultados al cabo de 60 días de edad. El investigador concluye que es factible la utilización de la escoria de cobre como adición de cemento Portland.

2.2.2. Bases legales normatividad vigente.

2.2.2.1. CE-010 pavimentos urbano

La norma describe de los diferentes tipos de pavimentos que existen, según las demandas, con el fin de elegir los diferentes tipos de pavimentos que se utilizarán según los requerimientos y características de cada vía urbana a la que se vayan a aplicar en zonas del Territorio Peruano. El objetivo de esta norma es establecer los requisitos mínimos para el diseño, construcción, reparación, mantenimiento, y reemplazo de pavimentos urbanos desde una perspectiva del estudio de suelos e ingeniería de pavimentos, a fin de asegurar la durabilidad, el uso controlado de los recursos y el buen comportamiento de aceras, pistas y estacionamientos de pavimentos urbanos, a lo largo de su vida de servicio (CE.010, 2010).

2.2.2.2. Norma Técnica Peruana NTP 399.611 unidades de albañilería adoquines de concreto para pavimentos.

La normativa especifica los requisitos que deben cumplir todos los adoquines de concreto, elaborados para los diferentes tipos de pavimentos, los requisitos que se muestran en la norma cumplen con otras normas técnicas vigentes en el Perú, las cuales se deben cumplir

en la elaboración y control de calidad de los adoquines. Esta norma especifica los requisitos que debe cumplir un adoquín en cuanto a absorción, resistencia a la compresión y dimensión, dependiendo del tipo de adoquín.(INACAL, 2017).

2.2.2.3. Norma Técnica Peruana NTP 399.604 método de muestreo y ensayo de unidades de albañilería de concreto.

La norma técnica de Perú, especifican los procedimientos de muestreo y pruebas de unidades para obtener sus dimensiones, resistencia a la compresión, absorción, peso unitario (densidad) y contenido de humedad de las unidades (INDECOPI, 2002).

2.2.2.4. Norma Técnica Peruana NTP 400.010 agregados: extracción y preparación de las muestras.

La Norma, Establece los procedimientos de muestreo de agregados gruesos, finos y global, se establecen con los siguientes propósitos: investigación inicial de fuentes potenciales de abastecimiento, control de fuentes de abastecimiento, controles operativos en el sitio de uso y rechazo o aceptación de materiales. (INACAL, 2016).

2.2.2.5. Norma Técnica Peruana NTP 400.012 agregados: análisis granulométrico del agregado fino grueso y global.

Esta Norma establece Métodos para la determinación de la distribución del tamaño de partículas de los agregados, fino, grueso y global (INACAL, 2018).

2.2.2.6. Norma Técnica Peruana NTP 400.022 agregados:

Método de prueba estándar para la densidad, densidad relativa (peso específico) y absorción de agregados finos. El propósito de esta norma es establecer un procedimiento para determinar la densidad promedio de partículas de agregados finos (no incluye los orificios entre las partículas), la densidad relativa (gravedad específica) y la absorción del agregado fino (INACAL, 2013).

2.3. Marco conceptual

2.3.1. Cobre

Es un metal de transición rojizo con brillo metálico, que se caracteriza por tener una buena maleabilidad y ductilidad, y también presenta una buena resistencia a la corrosión y

facilidad de fabricación, y lo más importante es que se caracteriza por su alta conductividad eléctrica, así como su capacidad para deformarse sin romperse. Tiene una densidad teórica de 8,96 g/cm³ y una dureza en la escala de MOHS de 3 con conductividad térmica de 400 W/(K.m), que es una conductividad térmica alta (Baldoceca & Vega, 2017).

2.3.2. Producción de cobre a nivel mundial

Debido a su alta conductividad térmica y eléctrica, el cobre se utiliza ampliamente en la construcción, la ingeniería y la fabricación de productos electrónicos, mientras que sus propiedades maleables lo hacen especialmente adecuado para su uso en el cableado. La demanda del metal dorado rojizo crece rápidamente para construir baterías, motores, cables eléctricos y muchas otras aplicaciones que caracterizarán la infraestructura energética moderna (NS Energy, 2021).

El último informe presentado por la consultora global Boston Consulting Group (BCG) y La Agencia Internacional de la Energía (AIE), señalan que la demanda por cobre por energías renovables aumentaría a 1 millón 800 mil toneladas para el año del 2040, más que triplicando la demanda mundial del cobre ya que en 2015, la demanda de cobre destinada a este tipo de tecnologías era del orden de 500 mil toneladas, representando el 45% de la demanda total (Nueva Minera, 2020). En la actualidad hay unas 250 minas de cobre en funcionamiento en casi 40 países, y la producción mundial -estimada por el US Geological Survey en 20 millones de toneladas en 2020- es un 30% superior a la de hace sólo 10 años (NS Energy, 2021).

Las reservas mundiales se estiman en unos 870 millones de toneladas, de las que casi una cuarta parte se encuentran en Chile (World Energy Trade, 2021).

Principales países mineros de cobre y las principales empresas del sector cuprífero.

2.3.2.1. Chile - 5,7 millones de toneladas

Chile alberga las mayores reservas de cobre del mundo, estimadas en unos 200 millones de toneladas por el US Geological Survey (USGS, 2021). El productor chileno Codelco ocupa el primer lugar entre las mayores empresas mineras de cobre del mundo, seguido de cerca por BHP, que explota conjuntamente la enorme mina Escondida en el norte de Chile (World Energy Trade, 2021).

Las principales minas de cobre de Chile son:

- La mina de Chuquicamata, es la mina más grande a cielo abierto del todo el mundo y la segunda más profundo.
- La mina Escondida.
- La mina el Teniente, considerado como la mina subterránea más grande del mundo.
- La mina Collahuasi, es el segundo mayor productor de cobre de Chile.
- La mina Los Bronces propiedad Corp., Codelco y Mitsui.
- La mina Los Pelambres propiedad de la empresa de Antofagasta Plc.
- La mina Radomiro Tomic, que es operado por Codelco.

Figura 7.

Mina de Chuquicamata en Chile



Fuente: La segunda mina más profunda del mundo (ReporteMinero, 2019)

2.3.2.2. Perú - 2,2 millones de toneladas

Las operaciones mineras en Perú produjeron 2,2 millones de toneladas de cobre en 2020 (USGS, 2021). Las minas Cerro Verde y Antamina del país se encuentran entre las operaciones de cobre más grandes del mundo, mientras que se espera que la mina Quellaveco comience a producir en 2022, añadiendo otro recurso sustancial a las actividades de cobre peruanas (World Energy Trade, 2021).

La industria minera de Perú se vio muy afectada por la pandemia de coronavirus en 2020, pero los analistas han previsto un fuerte repunte, con una producción que se espera que crezca hasta 3,1 millones de toneladas en 2024(World Energy Trade, 2021) .

Las principales minas de cobre del Perú son:

- La mina Quellaveco, que es operado por Anglo American.
- La mina Cerro Verde, que es operado por Freeport-McMoRan.
- La mina Antamina, que es operado por BHP.
- La mina Las Bambas, que es operado por Minerals and Metals Group.
- La mina Tía María, Toquepala y Cuajone, estas minas son operados por Southern Copper Corp.

Figura 8.

Mina Cerro verde, Perú



Fuente: Vista panorámica la Mina Cerro Verde (S. Torres, 2021).

2.3.2.3. China - 1,7 Millones De Toneladas

Se estima que China extrajo 1,7 millones de toneladas de cobre en 2020, lo que la sitúa en el tercer puesto de la lista de los mayores países productores de cobre del mundo (USGS, 2021).

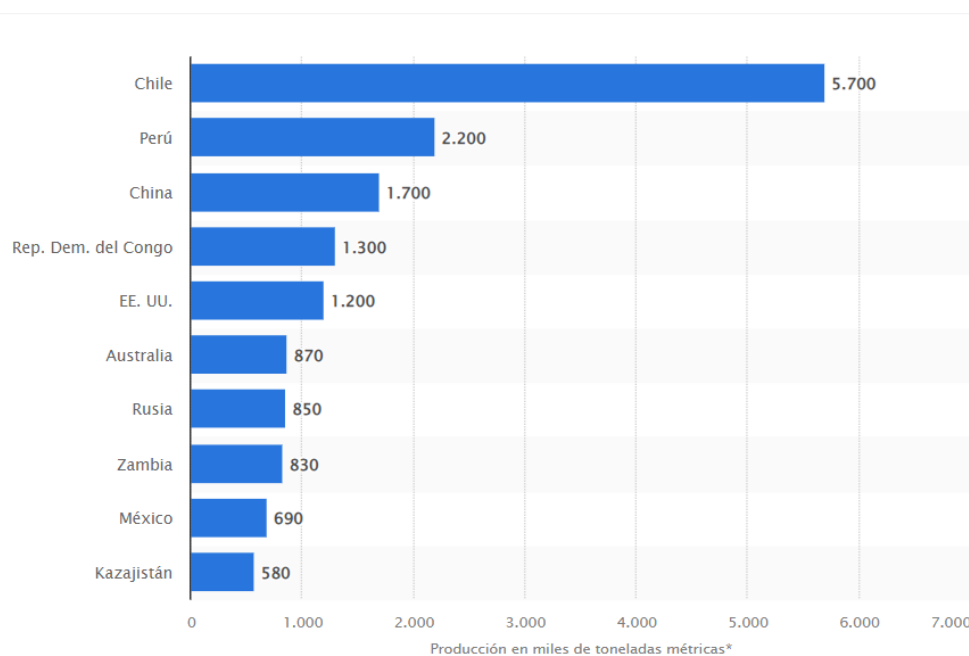
La economía china es el mayor consumidor mundial del metal, e importa grandes volúmenes para complementar su propia producción nacional, Jiangxi Copper es uno de los principales productores del país y explota la importante mina de cobre de Dexing, en la provincia china de Jiangxi (World Energy Trade, 2021).

La República Democrática del Congo , estima que se extrajeron 1,3 millones de toneladas de cobre en la República Democrática del Congo (RDC) durante 2020 (USGS, 2021). Para Estados Unidos, la minería del cobre también es un negocio importante en 2020 se estima que se extrajeron 1,2 millones de toneladas del metal (USGS, 2021), Arizona es el principal estado productor del país, con cerca de tres cuartas partes de la producción nacional, seguido de Utah, Nuevo México, Nevada, Montana y Michigan(World Energy Trade, 2021).

En resumen, Chile es el principal productor de este mineral, y en el país chileno se encuentran tres de las diez minas de cobre más grandes del mundo por capacidad de producción. Con una producción de cobre de 5,7 millones de toneladas en 2020, situándose como el principal e importante productor del mundo, en el segundo lugar lo ocupa Perú y seguido de China, con 2,2 y 1,7 millones de toneladas de cobre, respectivamente. La producción mundial de cobre ha crecido sustancialmente en los últimos años. En concreto, desde 2016 ha alcanzado los 20 millones de toneladas anuales, o alrededor de un 25% más que la cantidad registrada en 2006 (Días, 2021).

Figura 9.

Producción de Cobre a Nivel Mundial (2020)



Fuente: Producción de cobre en miles de toneladas métrica (Días, 2021).

2.3.3. Escoria de cobre

La escoria de cobre es un material de desecho obtenido a través de un proceso pirometalúrgico, que es uno de los procesos del refinado del cobre. En el proceso de obtención del cobre, existen dos fases líquidas separables, una rica en cobre y la otra son residuos de escoria, la primera se continua con el proceso de refinación del cobre, en tanto que la segunda se procesa para la recuperación del cobre o se descarga directamente sin ningún tratamiento a los vertederos o depósitos (Santander, 1979) .

La escoria se origina a partir de óxidos que contiene la carga del horno y óxidos de hierro producidos por oxidación en el proceso pirometalúrgico (Orizola, 2006) .

Durante el proceso de fundición, la escoria también se puede definir como una fase que contiene residuos minerales inútiles y está inevitablemente presente en cualquier operación pirometalúrgica que involucre sistemas de fundición. Estas escorias tienen un papel fundamental en el proceso de pirorrefinación, en el proceso de disolución de impurezas en la fase metálica. (Lovera et al., 2004).

La escoria de cobre es un subproducto de la metalurgia del cobre. Se obtienen por medios pirometalúrgicos, utilizando aire atmosférico o aire enriquecido con oxígeno para oxidar el mineral y eliminar el azufre en gases como el dióxido de azufre y el hierro en forma de escoria obtenida al agregar un fundente en combinación con el óxido de hierro producido (Cruz, 2014). Se entiende por fundente como un aditivo que se vierte en el horno durante la fusión y el refinado, cuyo principal objetivo es dotar a la escoria la composición y propiedades fisicoquímicas necesarias para absorber las impurezas contenidas en coque y la mena (Glosario Minería, 2013) .

2.3.4. Tipos de escoria debido a las diversas técnicas de enfriamiento.

Cruz (2014) señala que, dependiendo de la técnica de enfriamiento, normalmente se pueden encontrar tres grupos diferentes de escorias de cobre producidas en el proceso pirometalúrgico.

- Escorias granalladas: Escoria obtenida por enfriamiento rápido directo con agua.
- Escorias de vertedero: La escoria se deposita en los vertederos y se enfría lentamente.
- Escorias de material de descarte (relave) de flotación: Corresponde a escorias con un contenido de cobre superior al 2,5%, que son reprocesadas por medio de flotación generando en este proceso escorias de desecho.

2.3.5. Refinerías metalúrgicas en el Perú

Actualmente en nuestro país existen vertederos con millones de toneladas de escoria de fundición, y este número aumenta con los nuevos depósitos que se crean cada año. Estos volúmenes ocupan grandes extensiones de terreno, favorables para la siembra en zonas alto andinas como La Oroya (Junín) y también generan contaminación para los suelos, mares, ríos en zonas costeras como Ilo (Moquegua), así como también generan contaminación visual del paisaje y espacios costeros (Baldoceña & Vega, 2017).

2.3.5.1. Refinería La Oroya

Ubicado en el margen derecho del río Mantaro, a una altitud promedio de 3775 metros sobre el nivel del mar (m.s.n.m.), pertenece al distrito de la Oroya, provincia de Yauli, en la Región Junín, en las siguientes coordenadas 402 114,8 E y 8 726 018 N (datum WGS84) (Ramírez & Corcuera, 2014) .

Figura 10.

Vista panorámica del Complejo Metalúrgico de la Oroya



Fuente: (Google Earth, 2020).

La escoria de la refinería de La Oroya se almacena en un sitio llamado Huanchan, con millones de toneladas en espera de tecnologías innovadoras para recuperar su contenido de

metal y reutilizar adecuadamente la escoria como materia prima e insumo comercial (Lovera et al., 2004) .

El Complejo Metalúrgico de La Oroya, consta esencialmente de tres circuitos de proceso: cobre, plomo y zinc.

2.3.5.2. Circuito del Cobre

Ramírez & Corcuera (2014) indica que el circuito de cobre inició operaciones el 23 de noviembre de 1922, siendo el operador la empresa Cerro de Pasco Copper Corporation. La refinería está diseñada para procesar concentrados polimetálicos de diferentes minas del Perú, incluyendo preparación, tostadores, fundiciones, refineries de cobre. Los principales productos que se obtienen de los circuitos de cobre son cobre refinado, plata y oro, y los subproductos son antimonio, sulfato de cobre y trióxido de arsénico.

Ramírez & Corcuera (2014) señalan las siguientes etapas:

Planta de Preparación

El proceso comienza en la planta de preparación, se recibe aproximadamente 60 tipos diferentes de concentrados, fundentes y materiales reciclados de cobre, plomo, plata y zinc para preparar el lecho fundido en forma de capas. El área de preparación del lecho de fusión son semi cerradas y cuenta con un sistema de aspersion de agua para reducir la difusion de material particulado al ambiente.

Planta Tostadores de Cobre

El objeto de la planta es procesar los lechos de fusión montado en la planta de preparación para obtener la calcina de cobre mediante el descarte de elementos volátiles como el arsénico, el antimonio y algo de azufre. La calcina que contiene cobre, plata, oro y otros metales se envía a un horno Oxy Fuel, el polvo y los gases generados se dirigen a un sistema de precipitadores electrostáticas. En el precipitador electrostático, el polvo se recupera recirculando al tostador de arsénico para expulsar este elemento como trióxido de arsénico para su venta o disposición final.

Planta Fundición

La fundición incluye convertidores y hornos Oxi-Fuel. El horno se utiliza para fundir la calcina producida en el tostador usando los quemadores verticales para obtener mata de cobre (sulfuros de cobre y hierro) y escorias (óxidos de hierro y sílice). La mata obtenida durante el proceso se envía al proceso de conversión y las escorias son transportadas por teleférico industrial para su disposición final en el depósito de Huanchán.

En un convertidor Pierce Smith, la mayor parte del hierro, azufre y otros elementos contenidos en la mata se eliminan mediante un proceso de oxidación selectiva (conversión) para obtener cobre blister al 98,5% de cobre, que se moldea en el ánodo y se envía a la refinera de cobre.

Planta Refinería de Cobre

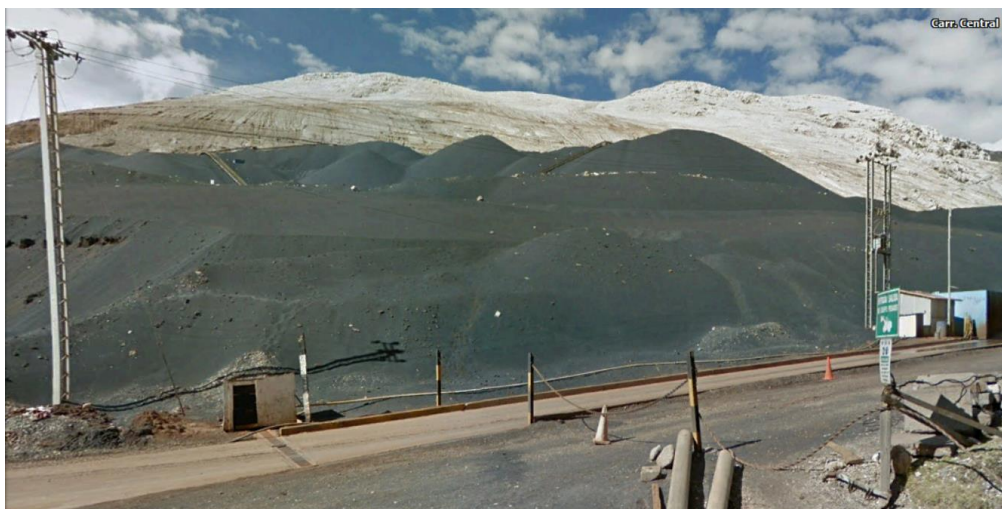
Una refinera de cobre es un conjunto de celdas electrolíticas a través de las cuales se disuelve selectivamente el cobre del ánodo y se deposita sobre las láminas de cobre iniciales a través de un proceso de electro refinación, dando como resultado cátodos de cobre refinado con una pureza del 99,98%. Otros elementos contenidos en el ánodo se depositan en el fondo de las celdas como lodos anódicos con un alto contenido de plata y se envían a la planta de residuos anódicos.

Efecto sobre el ecosistema fluvial

Elementos contaminantes como el plomo, el zinc y el cobre se encontraron en las aguas del río Mantaro, tras las precipitaciones de lluvias en la zona y alcanzaron valores muy elevados en la zona cercana al depósito de Huanchán. Este efecto hace que la vida en este medio acuático sea incapaz de sobrevivir y mucho menos utilizar las aguas del río para el riego (Baldoceña & Vega, 2017).

Figura 11.

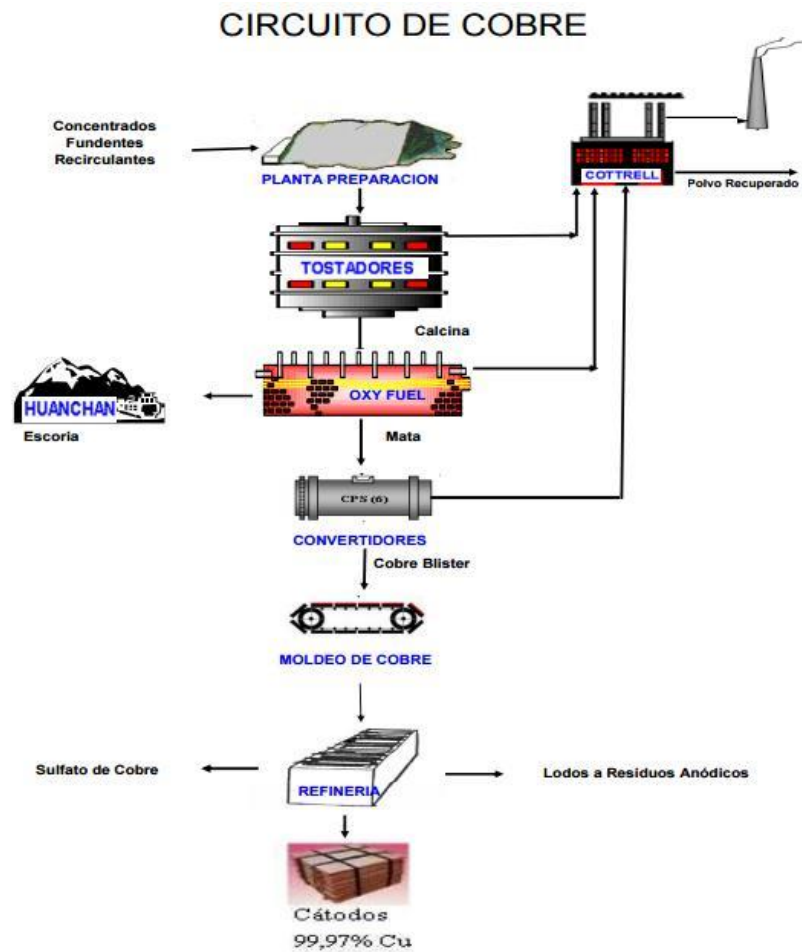
Depósito de Escorias de Huanchán (La Oroya)



Fuente: (Google Earth, 2020).

Figura 12.

Circuito de cobre de CMLO



Fuente: (Ramírez & Corcuera, 2014)

2.3.5.3. Refinería Southern

Hasta la década de 1960, la empresa Cerro de Pasco Corporation (más tarde nacionalizado como Centromín) tenía casi todo el monopolio de la minería del cobre en Perú. A partir de 1960, Southern Peru Copper Company y sus dos minas: Toquepala (Tacna) y Cuajone (Moquegua) comenzaron a realizar importantes inversiones en el sur del Perú. (Torres, 2000).

La refinería de Ilo, propiedad de Southern Copper Corporation, está ubicada a unos 17 kilómetros al norte de la ciudad de Ilo. En el lugar, el concentrado de cobre se funde que se traen el cobre por trenes, desde Toquepala y Cuajone. La capacidad de procesamiento anual es de 1,2 millones de toneladas. Parte de ella se exporta ya que su producción supera a la de las refinerías. El concentrado de cobre se funde utilizando hornos ISASMELT, convertidores y

hornos anódicos para obtener ánodos con una pureza de cobre del 99,7%. La refinería tiene una planta de bombeo de agua de mar para enfriar los hornos (Egúsqiza, 2010).

Figura 13.

Fundición y Refinería de cobre de Ilo (Moquegua)



Fuente:(Google Earth, 2021).

Efecto sobre el ecosistema de Ilo

Los desechos de la refinación del cobre como el gas, la escoria y el agua de las fundiciones de cobre provocan una intensa contaminación física, química y biológica de los ecosistemas marinos. Estas descargas de escoria al lecho marino en los últimos años han alterado el paisaje en una longitud de 6 km de costa, creando contaminación marina en la playa de Ilo, lo que ha resultado en impactos como la reducción de las áreas de pesca artesanal y daños al hábitat natural de millones de especies y los restos de escoria se encuentran disgregadas en la arena de las playas (Baldoceca & Vega, 2017).

Tabla 2.*Principales desechos contaminantes de la fundición de cobre SPCC (Ilo)*

Lugar	Soporte	Tipo de desecho	Comentarios
	Aire, suelo y agua	Gases SO ₂	Se emiten un promedio de 1912 TM/día de anhídrido sulfuroso a la atmósfera. Los problemas que generan en la salud humana y en el ambiente son bastantes serios.
Fundición	Aire y suelo	Escorias	Se eliminan 2 100 TM/día de escorias. Su disposición en el mar ha ocasionado serios problemas de contaminación.
	Aire, suelo y agua	Polvo en suspensión conteniendo metales pesados tóxicos: As, Cd, Pb, Cu, Fe, Zn y Sb	Estos polvos se eliminan con los humos a la atmósfera. Se desconoce la cantidad emitida pero se tiene conocimiento de que producen serios problemas de contaminación en el radio de influencia de la fundición de cobre.
	Agua	Agua de elevada temperatura conteniendo metales pesados	Se toma agua de mar para enfriar las barras de cobre y el agua se devuelve al mar contaminada.

Nota: fuente (Balvín, 1995).

2.3.6. Adoquines de Concreto

Los adoquines son unidades prefabricadas usadas comúnmente en parques, estacionamientos, pistas, aceras y más. Tienen muchas ventajas para los usuarios por su resistencia al tráfico de vehículos ligeros y pesados. Es más agradable usar estas unidades en áreas públicas, también tiene un precio competitivo en el mercado y es fácil de ejecutar proyectos con adoquines. La superficie de la pavimentación con adoquines es de fácil mantenimiento y tiene una superficie antideslizante, lo que reduce la posibilidad de accidentes. Su durabilidad está garantizada, considerando su resistencia a la intemperie y a los agentes agresivos del ambiente (Pavitex, 2021).

Según Ampérez (2019) define que los adoquines son elementos compactos de concreto, prefabricados, Estas unidades de adoquín tienen la forma de un prisma recto, cuya base puede ser poligonal, estas unidades permiten formar una superficie completa como parte integral de un pavimento articulado, que puede ser de dos o de una sola capa. El adoquín es un elemento prefabricado de alta resistencia por tal motivo son usados, en los pavimentos, La cual es la calzada o capa de rodamiento, conformada de elementos de concreto uniformemente compactos denominados adoquines, que se colocan como si fuese legos y que, por su encaje y la configuración de las caras laterales, permiten la transferencia de cargas desde el elemento que

las recibe a los adyacentes del adoquín, realizando en conjunto un trabajo sólido y sin presentar posibilidad de que un adoquín se separe del resto.

2.3.6.1. Fundamentos de la teoría de vibración

La vibración es el método de asentamiento práctico más eficiente que se ha logrado, otorgando al concreto propiedades bien definidas como la resistencia mecánica, compacidad y buen acabado. La vibración es el acto de someter el concreto a una serie de sacudidas de alta frecuencia, bajo los cuales la masa de concreto, que se encuentra más o menos suelta entra en un proceso de acomodo, se asienta uniformemente y gradualmente, disminuyendo significativamente el aire atrapado, donde la duración de la vibración afecta determinadamente la compacidad del adoquín (Lopez & Pinedo, 2015).

2.3.6.2. Características del concreto vibrado

Lopez & Pinedo (2015) las características son:

- El concreto presenta menor cantidad de agua y es más compacta, por lo tanto, presenta una buena resistencia a las heladas.
- Si el concreto elaborado contiene agregados con granulometría adecuada, con agua necesaria y se ha tenido una buena compactación, no se presentará problemas en el desmolde.
- Debido a su menor porosidad, la resistencia al desgaste es superior al concreto compactado a mano.
- El concreto vibrado presenta una mayor resistencia a la compresión que el concreto el concreto compactado manualmente

2.3.7. Tipos de adoquines

Según la Norma Técnica Peruana 399.611 (INACAL, 2017), clasifica tres tipos de adoquines, adoquín Tipo I, adoquín Tipo II y el adoquín Tipo III.

- Adoquines para pavimentos de uso peatonal, catalogados como adoquines Tipo I.
- Adoquines para pavimentos de tránsito vehicular ligero, catalogados como adoquines Tipo II.
- Adoquines para pavimentos de tránsito vehicular pesado, patios industriales y contenedores catalogados como adoquines Tipo III.

2.3.8. Requisitos físicos de adoquines

La Norma Técnica Peruana NTP 399.611 plantea los requisitos de espesor nominal y resistencia a la compresión axial de los adoquines se detallan en la siguiente tabla.

Tabla 3.

Espesor Nominal y Resistencia a la Compresión

Tipo	Espesor nominal (mm)	Resistencia a la compresión, mín. MPa (kg/cm ²)	
		Promedio de 3 unidades	Unidad individual
I (Peatonal)	40	31 (320)	28 (290)
	60	31 (320)	28 (290)
II (Vehicular ligero)	60	41 (420)	37 (380)
	80	37 (380)	33 (340)
	100	35 (360)	32 (325)
III (Vehicular pesado, patios industriales o de contenedores)	≥ 80	55 (561)	50 (510)

Nota: Fuente (INACAL, 2017).

Tabla 4.

Tolerancia Dimensional

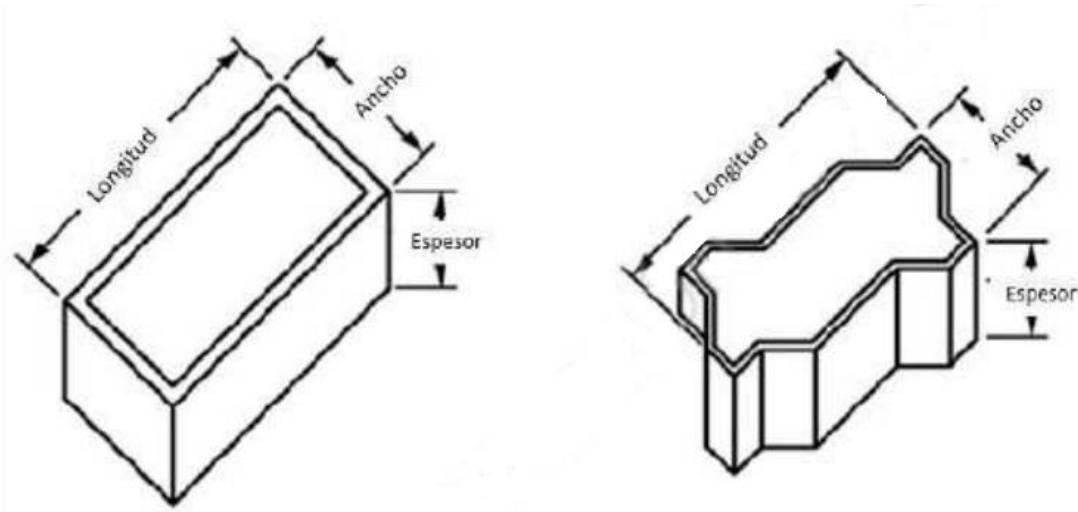
Descripción	Longitud	Ancho	Espesor
Tolerancia dimensional, máx. (mm)	± 1,6	± 1,6	± 3,2

Nota: Fuente (INACAL, 2017).

Se aplica a todos los tipos de adoquines

Figura 14.

Longitud, ancho y espesor de las unidades de concreto para pavimentos



Nota. Fuente (INACAL, 2017).

Además, los adoquines deben cumplir aparte de la resistencia y la variación dimensional las pruebas de absorción según (NTP399.611, 2017) “Los adoquines destinados a pavimentos que puedan estar sujetos a condiciones elevadas de durabilidad, como la agresión por sulfatos o ciclos de hielo y deshielo, deberán cumplir con los requisitos de la siguiente tabla.”

Tabla 5.

Absorción máxima en adoquines

Tipo de Adoquín	Absorción, máx. (%)	
	Promedio de Unidad 3 unidades	Unidad individual
I y II	6	7,5
III	5	7

Nota: Fuente (INACAL, 2017).

2.3.9. Ventajas del adoquín

Al pavimentar con adoquines se presentan muchas ventajas respecto de los pavimentos tradicionales como el rígido y flexible. Las principales ventajas según Echaveguren (2013) y Consamollo (2019) son:

- Diversidad: múltiples posibilidades de los adoquines para el diseño paisajístico y arquitectónico en los espacios públicos.
- Calidad: la inspección, control y certificación de calidad se puede realizar en la fábrica.
- Velocidad de ejecución y puesta de operación: independientemente del método de construcción, manual o mecánico, el pavimento se puede poner en servicio inmediatamente después de la construcción.
- Mantenimiento: Cualquier efecto causado por aspectos funcionales o estructurales del adoquín es fácilmente reemplazable, puede repararse en la medida de la intervención puntual o total de la pavimentación.
- Reutilizable: los adoquines, si están en buenas condiciones se pueden reutilizar para volver a pavimentar, lo que es beneficioso para el cuidado de medio ambiente, evitando la generación de residuos de construcción.
- Durabilidad: Por sus buenas cualidades de los adoquines como absorción, resistencia al congelamiento, a la abrasión y resistencia a la compresión, le proporciona una alta durabilidad en ambientes agresivos, que puede exceder la vida de diseño del pavimento.
- Para su colocación y mantenimiento no se necesita mano de obra calificada.
- El proceso de pavimentación es en seco, rápido y fácil.
- Se pueden realizar trabajos de pintado de las señalizaciones vial y peatonal sobre los adoquines.
- Las pavimentaciones con adoquines presentan buenas características antiderrapantes, evitando accidentes por deslizamiento.
- La textura del pavimento conformado tiene características antiderrapantes, evitando el riesgo de deslizamiento de los vehículos sobre superficies húmedas.

2.3.10. Concreto

Abanto (2009) señala que el concreto es una mezcla de cemento portland, agregados (fino o grueso), agua y aire; en las proporciones adecuadas, para obtener elementos que cumplan con la durabilidad y la resistencia a la compresión. El cemento y el agua reaccionan químicamente uniéndose las partículas de los agregados, constituyendo un material heterogéneo.

2.3.11. Propiedades principales del concreto en estado fresco.

- **Trabajabilidad:** Es la facilidad que presenta el concreto fresco para ser mezclado, colocado, compactado y acabado sin segregación y exudación durante estas operaciones (Abanto, 2009).

La trabajabilidad de la mezcla es el mayor o menor trabajo que hay que proporcionar a la mezcla de concreto en estado fresco en el desarrollo del mezclado, durante el transporte, colocación y compactación. La forma más común de medir la trabajabilidad de la mezcla es a través de la prueba del asentamiento en pulgadas o también llamado prueba del slump". Los instrumentos necesarios para realizar la prueba son la plancha base, cono y una varilla metálica. El ensayo consiste en medir la altura de una masa de la mezcla de concreto después de la extracción del molde de cono. La altura del concreto se puede medir con un flexómetro o una regla metálica, a mayor altura el concreto es más trabajable del mismo modo cuanto menor sea la altura, presentará una consistencia seca y será poco trabajable.

- **Segregación:** Es una propiedad del concreto fresco, que implica la descomposición de este en sus partes constituyentes o lo que es lo mismo, la separación del Agregado Grueso del Mortero (Abanto, 2009).

En obra la segregación ocurre normalmente cuando se realiza el traslado de la mezcla en las carretillas, hacia el lugar del vaciado, en este trayecto las partículas más pesadas como los agregados se separan de otros materiales asentándose los agregados en el fondo de la carretilla, conllevando a tener mezclas de mala calidad. (Paucar, 2019).

- **Exudación:** Se define como el ascenso de una parte del agua de la mezcla hacia la superficie como consecuencia de la sedimentación de los sólidos (Abanto, 2009).

Es fundamental controlar la exudación de la mezcla para evitar el debilitamiento de la superficie debido a concentraciones excesivas del agua, el ascenso del agua a la superficie normalmente ocurre por exceso de vibración, haciendo que se acumule más agua de lo normal en la superficie (Paucar, 2019).

- **Contracción:** En el concreto las variaciones de volumen ocurren debido a la pérdida de agua por evaporación, debido a los cambios en la temperatura y la humedad ambiental. Es de suma importancia controlar la contracción, ya que puede provocar problemas de

agrietamiento o figuración. Una medida para reducir este problema es cumplir con el curado del concreto (Paucar, 2019).

III. Método

3.1. Enfoque

El enfoque metodológico de la presente investigación es cuantitativo, puesto que a las unidades de adoquines elaboradas, de acuerdo a los objetivos planteados, fueron sometidas a pruebas de laboratorio que se cuantificaron numéricamente las características y propiedades de los adoquines, según, Hernández et al. (2014) definen que el “enfoque cuantitativo representa un conjunto de procesos, que es secuencial y probatorio. Cada fase precede a la siguiente y no podemos “brincar” o evitar pasos. El orden es riguroso, aunque desde luego, podemos redefinir alguna fase”.

Según la intervención del investigador se trata de un estudio experimental, ya que, en la investigación se interviene en la variable independiente que es la escoria de cobre. Salinas (1993) da a conocer que el tipo de investigación experimental es aquella en la cual el investigador manipula, modifica, varia las variables para obtener un resultado diferente a la condición original y observar si ocurren cambios en el mismo.

De acuerdo a la planificación de las mediciones es un estudio prospectivo, porque los datos primarios en la presente investigación son recolectados directamente de los instrumentos usados en el experimento. Supo (2012) afirma que la planificación de la toma de datos prospectivos se caracterizan por la toma de datos recogidos a propósito por el investigador de las mediciones realizadas para la investigación, a este tipo de información se le suele llamar datos primarios.

Según el número de mediciones de la variable de estudio, la investigación es longitudinal. Supo (2012), indica que un estudio longitudinal, es cuando la variable en estudio es medida repetidas veces. Las mediciones de las variables independientes se han realizado repetidas veces a los 7, 14, 21 y 28 días.

De acuerdo al número de variables analíticas es un estudio analítico, Supo (2012) menciona que el estudio analítico, es cuando se tiene más de dos variables de investigación, planteando y poniendo a prueba la hipótesis y destaca que su nivel más básico establece la asociación entre factores. En el presente estudio se tiene dos variables; la variable independiente que es la escoria de cobre y la dependiente que son los adoquines, por estas consideraciones según el número de variables, es analítico.

3.2. Alcance

El alcance de la investigación, por su naturaleza de manipulación intencional de la variable causa para analizar sus efectos y consecuencias se caracteriza básicamente del alcance explicativo.

Hernández et al. (2014) señala que el estudio explicativo no solo describe conceptos o fenómenos o establecer relaciones entre conceptos, es decir, pretenden dar respuesta a las causas de los hechos y fenómenos físicos o sociales. se ocupa en explicar por qué ocurre un fenómeno y en qué condiciones se manifiesta o por qué se vinculan dos o más variables.

3.3. Diseño de la investigación

La estrategia para el proceso de la investigación se basará en un diseño experimental, Hernández et al. (2014), indica que, en este diseño se utiliza un grupo experimental con una sola medición post prueba y con un grupo de control, El diseño experimental se utiliza cuando el investigador quiere establecer el posible efecto de una causa que se manipula.

En la investigación se manipuló la variable causa que es la escoria de Cobre para ver el efecto que causa sobre la variable efecto que son las propiedades físico mecánico del adoquín. Para lo cual se usaron instrumentos estandarizados para medir sus propiedades físicas y mecánicas de los adoquines de tránsito ligero.

TIPO: experimental

Diseño con pos prueba única y grupo de control

Tabla 6.

Diseño de investigación

Grupo	Condición experimental	Observación
RG1	X1	O1
RG2	-	O2

Fuente. Elaboración propia

Donde:

G1: Representa al grupo experimental.

G2: Representa al grupo de control.

X1: Representa la cantidad de escoria de cobre.

O1: Representa la observación de la variable experimental, con escoria de cobre.

O2: Representa la observación de la variable experimental, sin escoria de cobre.

Grupo experimental: corresponde a la elaboración de adoquines vibro compactadas con reemplazo de escoria de cobre.

Grupo de control: corresponde a la elaboración de adoquines sin reemplazo de escoria de cobre.

3.4. Población y muestra

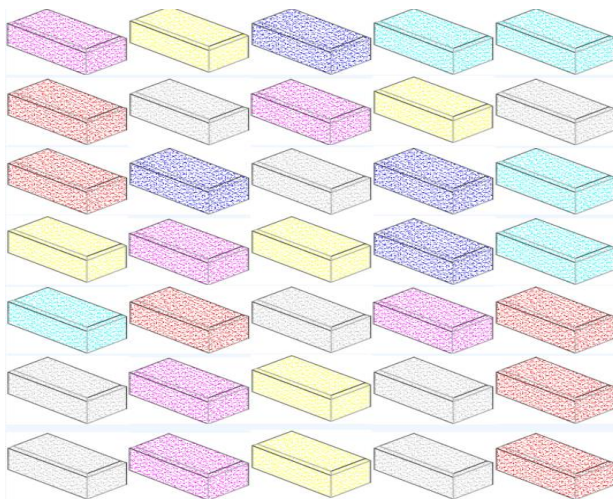
3.4.1. Población

Arias (2012) indica que la población es un conjunto finito o infinito de elementos con características comunes, esta queda limitada por el problema y por los objetivos del estudio, de igual manera, Miranda et al. (2016) señala que la población de estudio es un conjunto de casos, definido, limitado y accesible, que se usa para elegir la muestra, que puede ser seres humanos, animales, muestras biológicas, expedientes, hospitales, objetos, familias, organizaciones, etc.

La población de estudio está conformada por 120 adoquines elaborados con agregados de la cantera de Chillico, en la ciudad de Ayacucho, 2021.

Figura 15.

Esquema de población



Fuente: Elaboración propia

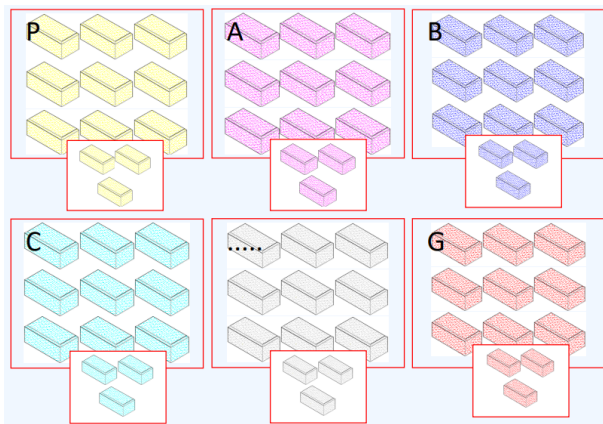
3.4.2. Muestra

Hernández et al. (2014) indica que la muestra es un subgrupo de la población, es un subconjunto de elementos que pertenecen al universo.

El método de muestreo es del tipo probabilístico, ya que se tomó los adoquines elaborados mediante muestreo aleatorio estratificado, y dentro de cada estrato se seleccionaron muestras (3 adoquines) a edades de 7, 14, 21 y 28 días para su posterior ensayo, mediante un muestreo aleatorio simple sin reposición a la población, donde cada elemento tiene la misma probabilidad de ser seleccionado como muestra, las cuales serán representativas.

Figura 16.

Esquema de muestra



Fuente: Elaboración propia

3.5. Hipótesis

3.5.1. Hipótesis general

La cantidad de escoria de cobre, incide en las propiedades físico mecánicas de adoquines vibro compactadas, para el tránsito ligero en la ciudad de Ayacucho.

3.5.2. Hipótesis específicas

- a. La cantidad de escoria de cobre, incide en la variabilidad dimensional, densidad y absorción, en adoquines vibro compactadas, para el tránsito ligero, en la ciudad de Ayacucho.
- b. La cantidad de escoria de cobre, incide en la resistencia a la compresión de adoquines vibro compactados, para el tránsito ligero, en la ciudad de Ayacucho.
- c. La cantidad de escoria de cobre, incide en el costo de producción de adoquines vibro compactadas, para el tránsito ligero en la ciudad de Ayacucho.

3.6. Operacionalización de variables

3.6.1. Definición conceptual de las variables

Variable causa.

- **Escoria de cobre:** Es un material residuo del proceso pirometalúrgico del cobre, que contamina al medio ambiente.

Dimensiones

- **Cantidad de escoria de cobre:** Es la magnitud que cuantifica la cantidad de materia de escoria de cobre.
- **Tamaño de escoria de Cobre:** Es una dimensión física del material por las cuales se pueden medir sus dimensiones, El tamaño de la partícula de la escoria de cobre se determina por el tamaño de la abertura del tamiz y se aplica a la escoria que pasa a través de éste y que se queda retenido en el tamiz inmediatamente menor.

Variable efecto

- **propiedades físico mecánico del Adoquín:** son las características físicas y mecánicas que describen el comportamiento del adoquín ante fuerzas aplicadas sobre él.

Dimensiones

- **Variabilidad dimensional:** Son variaciones en sus dimensiones del adoquín, tanto el largo, ancho y altura.
- **Densidad:** Es la relación de la masa del adoquín con sus dimensiones geométricas del mismo.
- **Absorción:** Medida de la permeabilidad de la unidad del adoquín.
- **Resistencia a la compresión:** Esfuerzo máximo que puede soportar un material bajo una carga de aplastamiento.
- **Costo del adoquín:** Es la cantidad de dinero que cuesta en elaborar adoquines en unidades.

3.6.2. Definición operacional de las variables

Variable causa

X: Escoria de cobre

Dimensiones

X1: Cantidad de escoria de Cobre: referido al peso de la escoria de cobre, se mide en

kilogramos (Kg).

X2: Tamaño de escoria de Cobre: se refiere a la granulometría del grano de la escoria y se mide según el número del tamiz.

Variable efecto

Y: propiedades físico mecánico del Adoquín

Dimensiones

Y1: Variabilidad dimensional: se refiere a la variación de las dimensiones del adoquín, se mide en milímetro (mm)

Y2: Densidad: se refiere a la relación de la masa y volumen del adoquín, se mide en gr/cm³

Y3: Absorción: referido a medir la permeabilidad del adoquín, se mide en porcentajes (%)

Y4: Resistencia a la compresión: referido a la resistencia del adoquín a la carga axial, se mide en Kg/cm².

Y5: Costo del adoquín: referido al costo de elaborar adoquines, se mide en soles (s/).

Tabla 7.

Operacionalización de variables

Variables	Dimensiones	Definición operacional	Indicadores	Escala de medición
Variable Causa Escoria de cobre	Cantidad de escoria de cobre	referido al peso de la escoria de cobre	Masa de residuo de cobre	Kg
	Tamaño de escoria de cobre	se refiere a la granulometría del grano de la escoria de cobre	Granulometría	G(tamiz)
Variable Efecto Propiedades físico mecánicas de adoquines vibro compactadas.	Variabilidad dimensional del adoquín vibro compactado	se refiere a la variación de las dimensiones del adoquín	Variación dimensional	mm
	densidad del adoquín vibro compactado	se refiere a la relación de la masa y volumen del adoquín	densidad	gr/cm ³
	Absorción del adoquín vibro compactado	referido a medir la permeabilidad del adoquín	Absorción de la unidad	%
	Resistencia a la compresión del adoquín vibro compactado	se refiere a la resistencia del adoquín a carga axial	Compresión axial del adoquín	Kgf/cm ²
	Costo del adoquín	referido al costo de elaborar adoquines	costo	s/

Fuente: Elaboración propia

3.7. Técnicas e Instrumentos de Investigación

3.7.1. Técnicas

Hernández et al. (2014) señala que la técnica de recolección de datos consiste en vías a través de los cuales el investigador registra datos observacionales que representa verdaderamente los conceptos o variables que se pretende medir, dicho de otra manera es como el investigador recolecta o levanta los datos para luego procesarlos.

En la investigación se utilizó la técnica de observación, definida como aquella técnica en la cual el investigador recurre a la aplicación de instrumentos de recolección de datos o instrumentos de medición, para recabar la información requerida en función de los objetivos planteados, todos los datos observados se plasmaron en formatos adecuados de recolección de información (Borja, 2016).

3.7.2. Instrumentos

Se aplicará el instrumento conocido como guía de observación, en la cual se recogerán los datos, para luego procesarlas.

Se aplicó instrumentos mecánicos o electrónicos, es decir un sistema de medición por aparatos (Hernández et al., 2014), siendo los siguientes instrumentos para recolectar datos:

- Instrumentos de ensayo: vernier para medición lineal (variabilidad dimensional),
- Equipos de ensayo: Prensa hidráulica (rotra de la unidad), balanza electrónica, horno secador, ordenador portátil, cámara digital.
- Formatos para cada ensayo realizado.
- Hojas de cálculo : Microsoft Office Excel, para el procesamiento de datos.
- Programa estadístico SPSS.

3.8. Técnicas Estadísticas Para el Procesamiento de la Información

Para el procesamiento de la información se usó la estadística descriptiva e inferencial

3.8.1. Estadística Descriptiva

Rendón et al. (2016) indica que la estadística descriptiva es una rama de la estadística, que expone recomendaciones sobre cómo utilizar un conjunto de datos, cuadros, tablas, gráficos para resumir de forma clara y sencilla, haciéndola rápida de leer e interpretar, Rendón señala que existen dos tipos principales de clasificación de datos, la distribución de frecuencia y la

representación gráfica. Estos sistemas de descripción y organización de datos permiten el análisis de datos univariados, bivariados o trivariados, según los objetivos y la naturaleza de la investigación que se lleva a cabo.

3.8.1.1. Medidas De Tendencia Central

Para hallar e interpretar indicadores representativos de un conjunto de datos, las medidas de tendencia central son las más adecuadas. Los tres métodos para encontrar el punto medio de una serie de datos son la media, la mediana y la moda (León & Pérez, 2019).

3.8.1.2. Medidas de Dispersión

Las medidas de dispersión son índices que nos entregan información sobre la variación de la variable, nos indican que tanto difieren los datos entre sí, cuanto se distancian unos a otros. Los índices más utilizados son el rango, la varianza y la desviación estándar (Hernández et al., 2014).

3.8.2. Estadística Inferencial

La estadística inferencial es una técnica en base a probabilidades y sirve para efectuar generalizaciones de la muestra a la población. Se utiliza para probar hipótesis y estimar parámetros (Hernández et al., 2014).

3.8.2.1. Análisis de varianza

Analysis of Variance (ANOVA), esta técnica nos ayudará a analizar las diferencias entre las poblaciones de muestras independientes, Hernández et al. (2014) señala que el análisis de varianza es una prueba estadística para analizar si más de dos grupos difieren significativamente entre sí en cuanto a sus medias y varianzas, y que esta prueba (ANOVA) se puede usar a partir de dos grupos en adelante.

Con los datos obtenidos descritos en la guía observaciones se procederá a medir en escala ordinal, para ello se realizará la prueba de Shapiro-Wilk, para comprobar que cumple con el criterio de Normalidad, luego se realizará la prueba de Levene, para comprobar que cumple con la homogeneidad de varianzas, finalmente se realizará la prueba de hipótesis mediante el ANOVA de un factor. Para el análisis de datos se utilizará paquetes informáticos como el software estadístico SPSS (Statistical Package For The Social Sciences).

Las hipótesis necesarias para un análisis ANOVA son:

- La independencia de los valores mediante la inspección del diseño experimental.

- Normalidad de los datos.
- Homogeneidad de varianzas.

Para las pruebas se consideran dos hipótesis:

- Hipótesis nula (H_0): Indica que hay igualdad entre los valores de los resultados que serán comparados.
- Hipótesis alterna (H_1): Indica que hay variación entre los valores de los resultados que serán comparados.

Para determinar la normalidad de los datos de los grupos se usará la prueba de Shapiro-Wilk, descrito anteriormente ya que las muestras son menores a cincuenta, para ello se tomó las siguientes consideraciones:

- P-Valor ≥ 0.05 , se acepta H_0 , los datos provienen de una distribución normal.
- P-Valor < 0.05 , se acepta H_1 , los datos no provienen de una distribución normal.

Para determinar la homogeneidad de varianzas, se utilizó la prueba de LEVENE, para ello se tomó las siguientes consideraciones:

- P-Valor ≥ 0.05 , se acepta H_0 , las varianzas presentan igualdad.
- P-Valor < 0.05 , se acepta H_1 , presenta diferencias significativas entre varianzas.

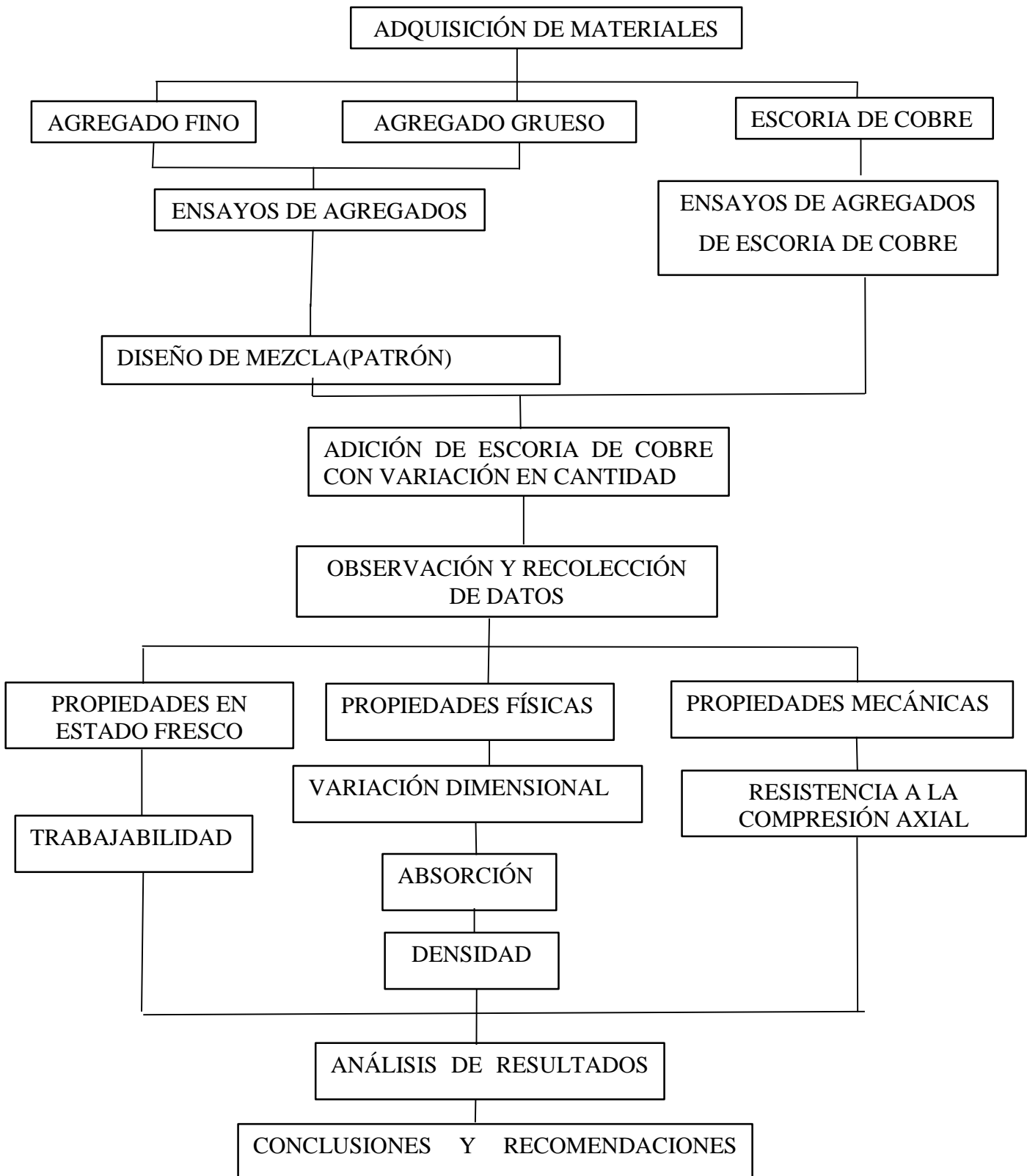
se calcula el P-Valor con la prueba ANOVA DE UN FACTOR para muestras independientes y se toma la decisión estadística, para ello se determinará con el siguiente criterio:

- Si la probabilidad obtenida P-Valor ≥ 0.05 , se acepta la hipótesis nula (H_0).
- Si la probabilidad obtenida P-Valor < 0.05 , se acepta la hipótesis alterna (H_1).

Para la contrastación de las hipótesis se usará la prueba t (t de Student), ya que la investigación presenta un estudio longitudinal y las variables son numéricas.

3.9. Desarrollo del Trabajo de Tesis

El trabajo de investigación se desarrolla de acuerdo al siguiente esquema que se muestra a continuación:



3.9.1. Recolección de Agregado en cantera

Se ha evaluado las canteras de agregado existentes aledañas a la ciudad de Ayacucho, de las cuales la cantera más cercana, con buenas propiedades, y recomendadas son de la cantera Chillico, ubicada, a unos 40 minutos de la ciudad.

Figura 17.

Visita a la cantera de Chillico, para extracción de agregados



Fuente: Elaboración propia

Se procedió a tomar una muestra de acuerdo de la Norma NTP 400.010 Para llevarlos al laboratorio y realizar los ensayos. Los ensayos se realizaron en los ambientes del laboratorio de la empresa geotécnica Ingeomax SAC.

3.9.2. Adquisición de la Escoria de cobre

Se adquirió la escoria de cobre de la empresa distribuidora Blast Industrial SAC, la que es abastecida por la empresa Southern Copper Corporation, la empresa minera cuenta con una refinería en Ilo, se ubica a unos 17 kilómetros al norte de la ciudad de Ilo. Allí se funde los concentrados de cobre, que llegan por tren desde Toquepala y Cuajone. Tiene capacidad para procesar 1.2 millones de toneladas al año.

Figura 18.

Adquisición de la Escoria de cobre



Fuente: Elaboración propia

3.9.3. Caracterización del agregado.

3.9.3.1. Análisis granulométrico NTP 400.12/ASTM C-136.

Con el ensayo granulométrico se determina la distribución del material fino en función de su tamaño, pesando los materiales que se retienen en cada tamiz y el módulo de finura se determina sumando todos los porcentajes retenidos divididos entre 100.

Para el ensayo se necesita agregado mínimo de 300 g (seco), horno con una temperatura promedio de $100^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$, balanza con una aproximación de 0.1 gramos ó 0.1%, tamices normados y Formato de registros.

El módulo de Finesa se determina por la siguiente relación.

$$MF = \frac{N^{\circ}4 + N^{\circ}8 + N^{\circ}16 + N^{\circ}30 + N^{\circ}50 + N^{\circ}100}{100}$$

Para el análisis granulométrico se realizó los siguientes procedimientos:

- Secado de la muestra de arena en el horno a una temperatura de 110°C
- Pesaje inicial de la muestra del agregado seco, $P=500$ gr.
- Tamizado mediante movimientos, por un tiempo aproximado de 10 a 15 minutos
- Registro y pesado del agregado retenido en cada tamiz.

Figura 19.

Agregado fino y agregado grueso (confitillo)



Fuente: Elaboración propia

Figura 20.

Tamizado de los agregados en el laboratorio



Fuente: Elaboración propia

3.9.3.2. Contenido de Humedad NTP 339.185/ ASTM C-566

El objetivo de este ensayo es la determinación del porcentaje total de humedad (superficial y contenida en los poros) que existente en el agregado.

Para la determinación del porcentaje de humedad se necesita, agregado mínimo de 500 gramos, horno con una temperatura promedio de $100^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$, balanza con una aproximación de 0.1 gramos o 0.1% y formato de registro.

El contenido de humedad total se determina por la siguiente relación.

$$W(\%) = 100 \cdot \left(\frac{\text{peso del agua en la muestra}}{\text{peso seco}} \right)$$

Para el análisis granulométrico se realizó los siguientes procedimientos:

- Extracción de la muestra representativa por cuarteo.
- Pesaje inicial de la muestra del agregado seco, $P=500$ gr.
- Secado de la muestra en el horno por 24 horas, a una temperatura de 110°C .
- Pesaje final y registro de la muestra de agregado seco.

Figura 21.

Proceso de pesaje inicial de la muestra



Fuente: Elaboración propia

3.9.3.3. Peso volumétrico suelto y compactado NTP 400.017/ ASTM C29

El objetivo del ensayo es determinar la densidad de masa del agregado; también conocido como peso unitario; en condiciones suelto y compactado.

Se selecciona una muestra representativa de agredo fino seco, en la que el peso volumétrico suelto, es el peso que ocupa el agregado en una unidad volumétrica, en cambio el

peso volumétrico compactado es el peso que ocupa el agregado en una unidad volumétrica, pero en este caso el agregado está compactado.

El peso volumétrico se determina por la siguiente relación.

$$P_{unit.suelto} = \frac{P_{suelto}}{V_{recipiente}} \quad \wedge \quad P_{unit.comp.} = \frac{P_{compactado}}{V_{recipiente}}$$

Para el peso volumétrico se procedió de la siguiente manera:

- Extracción de la muestra representativa por cuarteo.
- Pesaje de la muestra del agregado en estado suelto.
- Proceso de compactado con la varilla (25 golpes).
- Pesaje de la muestra del agregado compactado.

3.9.3.4. Peso específico y absorción NTP 400.022/ ASTM C-128

La norma establece los procedimientos para determinar el peso específico del agregado fino y su respectiva absorción, el peso específico de masa (P_{em}), se define como la relación entre la masa del agregado respecto a la masa de volumen de agua (agua desplazada por inmersión). El peso específico aparente (P_{ea}); es la relación entre la masa del agregado respecto al volumen de la porción impermeable de las partículas del agregado y el peso específico de masa saturada superficialmente seco (P_{msss}), es la relación entre la masa del agregado saturado superficialmente seco respecto al volumen de agua desplazada por inmersión.

Para los procedimientos se usarán; balanza, cono y pisón, Picnómetro, Agregado, horno y formato de registro.

Los cálculos se definen por las siguientes ecuaciones.

- Peso específico de masa (P_{em}):

$$P_{em} = \frac{W_s}{W_a + W_{SSS} - W_p}$$

- Peso específico superficialmente seco (P_{esss}):

$$P_{esss} = \frac{W_{SSS}}{W_a + W_{SSS} - W_p}$$

➤ Peso específico aparente (Pea):

$$P_{ea} = \frac{W_s}{(W_a + W_{SSS} - W_p) - (W_{SSS} - W_s)}$$

➤ Absorción (% abs):

$$\%abs = \frac{W_{SSS} - W_s}{W_s} \cdot 100$$

Donde:

W_{SSS}: Peso de la muestra saturado superficialmente seco.

W_s: Peso de la muestra seca.

W_a: Peso de la fiola + agua.

W_p: Peso de la fiola + agua +

Para determinar el peso específico y absorción se siguieron los siguientes procedimientos:

- Extracción de la muestra representativa por cuarteo.
- Material sumergido por 24 horas.
- Secado del material de agregado
- Ensayo para determinar la humedad superficial del material.
- Pesaje del picnómetro con material y agua.

Figura 22.

vista de trabajos realizados en el laboratorio



Fuente: Elaboración propia

3.9.4. Diseño y elaboración de Adoquines patrón

3.9.4.1. Diseño de Mezcla para adoquín patrón sin escoria de cobre

Para el diseño del adoquín patrón se consideró el método ACI 211, el método A.C.I. es un método de dosificación, se basa en medir los materiales (cemento, agregados, agua) en peso y volumen, el diseño se realizará para una mezcla en estado fresco.

Antes de diseñar se obtuvo los datos del agregado de la cantera de Chillico.

a. Determinación de la resistencia promedio:

Resistencia a la compresión de diseño ($f'c$)= 340 Kg/cm²

Tabla 8.

Absorción Resistencia a la Compresión requerida

Resistencia a la compresión ($f'c$)	Resistencia a la compresión requerida ($f'cr$)
Menor a 210 kgf/cm	$f'c + 70$
210 kgf/cm ² – 350 kgf/cm ²	$f'c + 84$
Mayor a 350 kgf/cm ²	$f'c + 98$

Nota: Fuente ACI 211, 2016

b. Selección del tamaño máximo nominal:

TMN= 1/4''

c. Selección del asentamiento:

Tabla 9.

Selección del Asentamiento

Consistencia del concreto	Asentamiento
Seca	0"-2"
Plástica	3"-4"
Fluida	≥ 5

Nota: Fuente ACI 211, 2016

Para el diseño se seleccionó la consistencia seca (0"-2")

d. Estimación del contenido del agua:

Para estimar la cantidad de agua, se empleó la siguiente tabla

Tabla 10.

Volumen de Agua por m³. Agua en litros/m³ para TNM de agregados y consistencia

Asentamiento	Tamaño Máximo del Agregado Grueso							
(1" = 25mm)	3/8"	1/2"	3/4"	1"	1 1/2"	2"	3"	6"
Concreto sin aire incorporado								
1" a 2"	207	199	190	179	166	154	130	113
3" a 4"	228	216	205	193	181	168	145	124
6" a 7"	243	228	216	202	190	178	160	--
Concreto con aire incorporado								
1" a 2"	181	175	168	160	150	142	122	107
3" a 4"	202	193	184	175	165	157	133	119
6" a 7"	216	205	197	184	174	166	154	--

Nota: Fuente ACI 211, 2016

Interpolando obtenemos el volumen de agua unitaria:

Volumen de agua seleccionado =215 litros por metro cúbico de mezcla.

e. Estimación del contenido de aire:

Tabla 11.

Contenido de aire atrapado

	TNM Agregado Grueso	Aire Atrapado %
3/8"	9.5 mm	3
1/2"	12.5 mm	2.5
3/4"	19 mm	2
1"	25 mm	1.5
1 1/2"	37.5 mm	1
2"	50 mm	0.5
3"	75 mm	0.3
6"	150 mm	0.2

Nota: Fuente ACI 211, 2016

Interpolando obtenemos el contenido de aire atrapado:

Volumen de aire atrapado =3.5%.

f. Relación agua cemento (a/c):

Tabla 12.

Relación agua/cemento por resistencia para f'cr

f'cr : 28 días (Kg/cm2)	Relación agua/cemento en peso	
	Concreto sin aire incorporado	Concreto con aire incorporado
140	0.82	0.74
150	0.8	0.71
200	0.7	0.61
210	0.68	0.59
250	0.62	0.53
280	0.57	0.48
300	0.55	0.46
350	0.48	0.4
400	0.43	-
420	0.41	-
450	0.38	-

Nota: Fuente (ACI 211, 2016)

Interpolando obtenemos la relación agua/cemento:

$$\text{relación agua cemento obtenido (a/c)} = 0.406$$

g. contenido de cemento

$\text{Facto cemento} = \frac{\text{Volumen unit. Del agua}}{\text{relación A/C}}$
--

Remplazando los valores obtenemos:

$$\text{Facto cemento} = 529.56 \text{ Kg/m}^3$$

h. Selección del peso del agregado grueso

Tabla 13.

Peso del agregado grueso por unidad de volumen del concreto (b/b0)

TNM Agregado Grueso	Volumen del agregado grueso , seco y compactado, para diversos módulos de fineza del fino			
	2.4	2.6	2.8	3
1/4" 6.35mm	0.41	0.39	0.37	0.35

3/8"	9.5 mm	0.5	0.48	0.46	0.44
1/2"	12.5 mm	0.59	0.57	0.55	0.53
3/4"	19.0 mm	0.66	0.64	0.62	0.6
1"	25.0 mm	0.71	0.69	0.67	0.65
1 1/2"	37.5 mm	0.76	0.74	0.72	0.7
2"	50.0 mm	0.78	0.76	0.74	0.72
3"	75.0 mm	0.81	0.79	0.77	0.75
6"	150.0 mm	0.87	0.85	0.83	0.81

Nota: Fuente (ACI 211, 2016)

Interpolando de la tabla anterior, con el módulo de finesa del agregado fino que fue de 3.29, obtenemos (b/b0):

$$\text{Volumen del agregado grueso, seco y compactado (b/b0)} = 0.321$$

$$\text{peso seco compactado} = 1554 \text{ Kg/m}^3 \text{ (dato de laboratorio)}$$

$$\text{Peso del agregado grueso seco} = 498.83 \text{ Kg/m}^3$$

i. Cálculo de volúmenes absolutos

Datos obtenidos de laboratorio:

peso específico del cemento =	3120	Kg/m ³
peso específico del agua =	1000	Kg/m ³
peso específico del agregado grueso =	2720	Kg/m ³
peso específico del agregado fino =	2730	Kg/m ³

$$\text{Cemento} = \frac{\text{Factor cemento}}{\text{peso específico del cemento}}$$

- Cemento = 0.170 m³

$$\text{Agua} = \frac{\text{Volumen unitario del agua}}{\text{peso específico del agua}}$$

- Agua = 0.215 m³

- Aire = 0.035 m³

$$\text{Agr. grueso} = \frac{\text{Peso del agregado grueso}}{\text{peso específico del agua}}$$

- Agregado grueso = 0.183 m³

$$\sum \text{Volúmenes absolutos conocidos} = 0.603 \text{ m}^3$$

j. Cálculo de contenido del agregado fino

volumen absoluto del agregado fino= $1 - \sum \text{Volúmenes absolutos conocidos}$
 volumen absoluto del agregado fino= 0.397 m³

El peso del agregado fino en estado seco =volumen absoluto del gregado fino x peso
 específico de masa

El peso del agregado fino en estado seco= 1083.470 kg

k. Correcciones por humedad del agregado

El contenido de humedad y absorción del agregado fino obtenido en laboratorio es de 4.32%,
 3.73%, respectivamente, con estos datos obtenemos:

peso húmedo del agregado fino= 1130.27 kg/m³

para el agregado grueso el contenido de humedad y absorción son 1.21% y 6.71%,
 obteniéndose:

peso húmedo del agregado grueso=504.87 kg/m³

determinamos la humedad superficial de los agregados, para ello, efectuamos la diferencia entre
 la humedad y absorción de cada material.

Humedad superficial del agregado fino= 0.59%
 Humedad superficial del agregado grueso= -5.50%

Con los datos anteriores se determina el aporte de humedad de los agregados:

Aporte de humedad del agregado fino= 6.392 l/m³
 Aporte de humedad del agregado grueso= -27.436 l/m³
 \sum aporte= -21.043 l/m³
 Agua efectiva = 236.043 l/m³

l. Pesos corregidos por humedad

Cemento= **529.56 Kg/m³**
 Agua efectiva= **236.043 L/m³**
 Agregado fino húmedo= **1130.276 Kg/m³**
 Agregado grueso húmedo= **504.87 Kg/m³**

m. Proporciones de materiales para la elaboración de los adoquines

Se realizó las correcciones en campo para el agua para la elaboración de los adoquines.

Tabla 14.

Dosificación de materiales en kilogramos con corrección en campo

CEMENTO (KG)	A.FINO (KG)	A. GRUESO (KG)	AGUA (L)
529.56	1130.28	504.87	236.04
1	2.13	0.95	0.35

Nota: Fuente, elaboración propia

3.9.4.2. Elaboración de adoquines

Con las proporciones calculadas para una resistencia a la compresión de $F_c=340\text{kg/cm}^2$, se realizó el siguiente cuadro para la elaboración de los adoquines para cada porcentaje de escoria de cobre.

Tabla 15.

Dosificación de los materiales en kilogramos para la elaboración de los adoquines

GRUPO	CEMENTO (KG)	A.FINO (KG)	ESC. COBRE (KG)	A. GRUESO (KG)	AGUA (L)
patron - 0% de escoria de cobre	17.70	37.77	0.00	16.87	6.20
10% de escoria de cobre	17.70	34.00	3.78	16.87	6.20
20% de escoria de cobre	17.70	30.22	7.55	16.87	6.20
30% de escoria de cobre	17.70	26.44	11.33	16.87	6.20
40% de escoria de cobre	17.70	22.66	15.11	16.87	6.20
50% de escoria de cobre	17.70	18.89	18.89	16.87	6.20
60% de escoria de cobre	17.70	15.11	22.66	16.87	6.20
100 % de escoria de cobre	17.70	0.00	37.77	16.87	6.20
TOTAL	141.58	185.09	117.10	134.98	49.60

Nota: Fuente, elaboración propia

Para la elaboración de los adoquines se realizó mediante la máquina adoquinera “BLOQUETERAS AMERICANAS”, consta de un sistema hidráulico para el vibro compactado de los adoquines.

Figura 23.

Máquina bloquetera vibradora y compactadora hidráulico



Fuente: Elaboración propia

Para la elaboración se pesa cada uno de los materiales de acuerdo a la tabla 13.

Figura 24.

Pesaje de los agregados, escoria de cobre, el agua y el cemento



Fuente: Elaboración propia

Se prosigue con el mezclado del cemento con los agregados incluido la escoria de cobre, esto se realizó con un trompo mezclador de concreto.

Figura 25.

Mezclado de los materiales con un trompo mezclador de concreto



Fuente: Elaboración propia

Se procedió a añadir el agua de acuerdo al diseño, la mezcla se realiza hasta formar un pasta uniforme y luego se vacía la mezcla sobre la carretilla.

Figura 26.

Proceso de mezclado hasta formar una pasta uniforme



Fuente: Elaboración propia

Luego se procede a transportar la mezcla hasta la adoquinera, se coloca la mezcla sobre los moldes, y se activa la vibradora.

Figura 27.

colocado de la mezcla sobre los moldes y vibro compactado



Fuente: Elaboración propia

Después del vibro compactado se desactiva la vibradora, se eleva la compactadora para el desmolde de las unidades y se traslada el adoquín para su endurecimiento.

Figura 28.

Proceso de desmolde del adoquín



Fuente: Elaboración propia

Curado de los adoquines, el curado se realizó sumergiendo en su totalidad, se trasladó los adoquines hacia la poza de curación, que se encuentra a lado de la adoquinera, para un mejor curado se procedió a cubrir los adoquines con arena, para mantener la humedad, esto debido a

que el agua se evaporaba rápidamente, afectando la parte superior de los adoquines.

Figura 29.

Curado de los adoquines



Fuente: Elaboración propia

3.9.5. Trabajabilidad, segregación y exudación de las mezclas para adoquines

Se ha observado las características principales de la mezcla con diferentes reemplazos de escoria de cobre en su estado fresco, se observó el grado de esfuerzo que estas generan al realizar el mezclado, transportado y colocado en los moldes (consistencia).

Por otra parte, también se observó si las partículas de la mezcla descienden durante el transporte, colocado y vibrado de la mezcla al momento de realizar el vibro compactado (segregación) y si el agua de la mezcla asciende a la superficie (exudación).

Figura 30.

Ensayo de consistencia a las mezclas en estado plástico



Fuente: Elaboración propia

3.9.6. Determinación de las propiedades físicas en adoquines

3.9.6.1. Tolerancia dimensional de los adoquines

Para cada adoquín se realizó las mediciones de las dimensiones como el ancho, longitud de apoyo y la altura, de acuerdo a las consideraciones de la norma NTP 399.604, para las mediciones se usó un vernier también llamado pie de rey.

Figura 31.

Ensayo de variación dimensional del adoquín



Fuente: Elaboración propia

3.9.6.2. absorción y densidad de adoquines

para determinar las propiedades de absorción, densidad y humedad natural se utilizó tres unidades de adoquines para cada tipo de variación de escoria de cobre, como equipos se empleó balanza mecánica y horno para el secado, para los cálculos se usaron las siguientes relaciones.

$$\text{Absorción} = \frac{W_d - W_s}{W_d} \times 100$$

$$\text{Cont. Humedad} = \frac{W_r - W_d}{W_s - W_d} \times 100$$

$$\text{Densidad} = \frac{W_d}{W_s - W_i} \times 1000$$

Donde:

Wr: Peso recibido del adoquín (g).

Ws: Peso saturado del adoquín (g).

Wd: Peso seco al horno del adoquín (g).

Wi: Peso sumergido del adoquín (g).

Figura 32.

Ensayo de absorción y densidad del adoquín



Fuente: Elaboración propia

En la imagen se observa el proceso de determinación de la humedad natural, absorción y densidad de los adoquines, en la cual se pesa el adoquín antes de los ensayos, luego se sumerge en agua el adoquín por 24 horas, posteriormente se realiza el secado superficial, se determina

el peso sumergido del adoquín y se coloca los adoquines en el horno, para posteriormente pesarlo.

3.9.7. Determinación de la propiedad mecánica, resistencia a la compresión de adoquines

El objetivo del ensayo es determinar la resistencia a la compresión de los adoquines, para este ensayo se tuvo en consideración las especificaciones de la NTP 399.604 y para los ensayos se utilizó la máquina universal de compresión.

Figura 33.

Ensayo de resistencia a la compresión de los adoquines



Fuente: Elaboración propia

IV. Resultados

4.1. Contrastación de la Hipótesis

Para la contrastación de hipótesis se realiza usando los datos obtenidos del laboratorio, ensayos de los adoquines con material convencional y adoquines con reemplazo de la escoria de cobre por el agregado fino en diferentes porcentajes.

Para la contrastación de hipótesis se empleará el software estadístico SPSS (Statistical Package For The Social Sciences), mediante la técnica estadística de T de student.

4.1.1. Contraste de hipótesis de propiedades físicas densidad del adoquín.

1) Redacción de la hipótesis

Hipótesis nula H_0 = no hay diferencia significativa en las medias de la densidad de adoquines con reemplazo de escoria de cobre y adoquines sin escoria de cobre.

Hipótesis alternativa H_1 = hay diferencia significativa en las medias de la densidad de adoquines con reemplazo de escoria de cobre y adoquines sin escoria de cobre.

2) Definir el nivel de significancia

Se usará el siguiente nivel de significancia: $\alpha = 5\% = 0.05$.

3) Elección de la Prueba,

como las pruebas son paramétricas y de tipo longitudinal y se tienen dos medias a comparar la prueba será T de student (para muestras relacionadas).

4) Calcular P - valor (Prueba de Normalidad)

Para determinar la normalidad de los datos de los grupos se usará la prueba de Shapiro-Wilk, por que las muestras son menores a 30 individuos, para ello se toma las siguientes consideraciones:

- P-Valor ≥ 0.05 , se acepta H_0 = los datos provienen de una distribución normal.
- P-Valor < 0.05 , se acepta H_1 = los datos no provienen de una distribución normal.

Tabla 16.*Tabla de normalidad para densidad de los adoquines a los 28 días*

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
P	0.267	3	.	0.951	3.000	0.575
A-10%	0.314	3	.	0.893	3.000	0.363
B-20%	0.315	3	.	0.892	3.000	0.360
C-30%	0.220	3	.	0.987	3.000	0.780
D-40%	0.369	3	.	0.789	3.000	0.088
E-50%	0.317	3	.	0.889	3.000	0.351
F-60%	0.301	3	.	0.912	3.000	0.425
G-100%	0.234	3	.	0.979	3.000	0.720

Nota: Fuente, elaboración propia

Tabla 17.*Resumen de prueba de normalidad de densidad de los adoquines*

	P-Valor	desig.	Signific.	conclusión
PATRON	0.575	>	0.05	Proviene de una distri. normal
A-10%	0.363	>	0.05	Proviene de una distri. normal
B-20%	0.360	>	0.05	Proviene de una distri. normal
C-30%	0.780	>	0.05	Proviene de una distri. normal
D-40%	0.088	>	0.05	Proviene de una distri. normal
E-50%	0.351	>	0.05	Proviene de una distri. normal
F-60%	0.425	>	0.05	Proviene de una distri. normal
G-100%	0.720	>	0.05	Proviene de una distri. normal

Nota: Fuente, elaboración propia

De la tabla 17 se concluye que, se acepta H_0 , es decir que los datos provienen de una distribución normal.

5) Decisión estadística con T de student para la densidad de adoquines

- si la probabilidad obtenida $P \text{ valor} \leq \alpha \rightarrow$ Rechaza H_0
- si la probabilidad obtenida $P \text{ valor} > \alpha \rightarrow$ Acepta H_0

Tabla 18.*T de student para densidad de los adoquines a los 28 días*

Par	% de reemplazo de EC.	Diferencias emparejadas	95% de intervalo de confianza de la diferencia	t	gl	Sig. (bilateral)
-----	-----------------------	-------------------------	--	---	----	------------------

		Media	Desv. Desviación	Desv. Error promedio	Inferior	Superior			
Par 1	A-10% - P	11.780	24.52	14.156	-49.13	72.690	0.832	2	0.493
Par 2	B-20% - P	19.550	102.60	59.241	-235.34	274.445	0.330	2	0.773
Par 3	C-30% - P	64.637	83.21	48.041	-142.06	271.342	1.345	2	0.311
Par 4	D-40% - P	133.287	44.58	25.742	22.52	244.046	5.178	2	0.035
Par 5	E-50% - P	152.670	33.17	19.154	70.25	235.085	7.970	2	0.015
Par 6	F-60% - P	210.710	53.23	30.734	78.47	342.946	6.856	2	0.021
Par 7	G-100% - P	282.55	25.23	14.566	219.87	345.224	19.398	2	0.003

Nota: Fuente, elaboración propia

Tabla 19.

Conclusión de T de student sobre la densidad de adoquines

	P-Valor	desig.	Signific.	conclusión
A(10%) - PATRON	0.493	>	0.05	Se acepta H0
B(20%) - PATRON	0.773	>	0.05	Se acepta H0
C(30%) - PATRON	0.311	>	0.05	Se acepta H0
D(40%) - PATRON	0.035	<	0.05	Se rechaza H0
E(50%) - PATRON	0.015	<	0.05	Se rechaza H0
F(60%) - PATRON	0.021	<	0.05	Se rechaza H0
G(100%) - PATRON	0.003	<	0.05	Se rechaza H0

Nota: Fuente, elaboración propia

De la tabla 19 se concluyen que:

- No hay diferencia significativa en las medias de la densidad de adoquines sin escoria de cobre y adoquines con reemplazo de escoria, en las muestras A(10%), B(20%) y C(30%).
- Hay diferencia significativa en las medias de la densidad de adoquines sin escoria de cobre y adoquines con reemplazo de escoria, en las muestras D(40%), E(50%), F(60%) y F(100%).

4.1.2. Contraste de hipótesis de propiedades físicas de absorción del adoquín.

1) Redacción de la hipótesis

Hipótesis nula H_0 = no hay diferencia significativa en las medias de la absorción de adoquines con reemplazo de escoria de cobre y adoquines sin escoria de cobre.

Hipótesis alternativa H_1 = hay diferencia significativa en las medias de la absorción de adoquines con reemplazo de escoria de cobre y adoquines sin escoria de cobre.

2) Definir el nivel de significancia

Se usará el siguiente nivel de significancia: $\alpha = 5\% = 0.05$.

3) Elección de la Prueba,

Como las pruebas son paramétricas y de tipo longitudinal y se tienen dos medias a comparar la prueba será T de student (para muestras relacionadas).

4) Calcular P - valor (Prueba de Normalidad)

Para determinar la normalidad de los datos de los grupos se usará la prueba de Shapiro-Wilk, por que las muestras son menores a 30 individuos, para ello se toma las siguientes consideraciones:

- P-Valor ≥ 0.05 , se acepta H_0 = los datos provienen de una distribución normal.
- P-Valor < 0.05 , se acepta H_1 = los datos no provienen de una distribución normal.

Tabla 20.

Tabla de normalidad para absorción de los adoquines a los 28 días

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
P	0.262	3		0.956	3.000	0.597
A-10%	0.253	3		0.964	3.000	0.637
B-20%	0.201	3		0.994	3.000	0.857
C-30%	0.260	3		0.958	3.000	0.605
D-40%	0.345	3		0.840	3.000	0.214
E-50%	0.328	3		0.871	3.000	0.298
F-60%	0.274	3		0.944	3.000	0.545
G-100%	0.356	3		0.818	3.000	0.157

Nota: Fuente, elaboración propia

Tabla 21.*Resumen de prueba de normalidad de absorción de los adoquines*

	P-Valor	desig.	Signific.	conclusión
PATRON	0.597	>	0.05	Proviene de una distri. normal
A-10%	0.637	>	0.05	Proviene de una distri. normal
B-20%	0.857	>	0.05	Proviene de una distri. normal
C-30%	0.605	>	0.05	Proviene de una distri. normal
D-40%	0.214	>	0.05	Proviene de una distri. normal
E-50%	0.298	>	0.05	Proviene de una distri. normal
F-60%	0.545	>	0.05	Proviene de una distri. normal
G-100%	0.157	>	0.05	Proviene de una distri. normal

Nota: Fuente, elaboración propia

De la tabla 21 se concluye que, se acepta H_0 , es decir que los datos provienen de una distribución normal.

5) Decisión estadística con T de student para la absorción de adoquines

- si la probabilidad obtenida P valor $\leq \alpha \rightarrow$ Rechaza H_0
- si la probabilidad obtenida P valor $> \alpha \rightarrow$ Acepta H_0

Tabla 22.*T de student para absorción de los adoquines a los 28 días*

Par	% de reemplazo de EC.	Diferencias emparejadas			95% de intervalo de confianza de la diferencia		t	gl	Sig. (bilateral)
		Media	Desv. Desviación	Desv. Error promedio	Inferior	Superior			
Par 1	A-10% - P	0.02	0.18	0.11	-0.43	0.47	0.19	2	0.87
Par 2	B-20% - P	0.15	0.72	0.42	-1.65	1.95	0.36	2	0.75
Par 3	C-30% - P	0.26	0.73	0.42	-1.56	2.07	0.61	2	0.60
Par 4	D-40% - P	0.14	0.38	0.22	-0.81	1.09	0.63	2	0.59
Par 5	E-50% - P	-0.15	0.25	0.14	-0.76	0.47	-1.03	2	0.41
Par 6	F-60% - P	-0.53	0.36	0.21	-1.42	0.36	-2.55	2	0.13
Par 7	G-100% - P	-2.06	0.44	0.25	-3.15	-0.98	-8.20	2	0.01

Nota: Fuente, elaboración propia

Tabla 23.

Conclusión de T de student sobre absorción de adoquines a los 28 días

	P-Valor	desig.	Signific.	conclusión
A(10%) - PATRON	0.867	>	0.05	Se acepta H0
B(20%) - PATRON	0.754	>	0.05	Se acepta H0
C(30%) - PATRON	0.605	>	0.05	Se acepta H0
D(40%) - PATRON	0.592	>	0.05	Se acepta H0
E(50%) - PATRON	0.412	>	0.05	Se acepta H0
F(60%) - PATRON	0.126	>	0.05	Se acepta H0
G(100%) - PATRON	0.015	<	0.05	Se rechaza H0

Nota: Fuente, elaboración propia

De la tabla 23 se concluyen que:

- No hay diferencia significativa en las medias de absorción de adoquines sin escoria de cobre y adoquines con reemplazo de escoria, en las muestras A(10%), B(20%), C(30%), D(40%), E(50%) y F(60%).
- Hay diferencia significativa en las medias de absorción de adoquines sin escoria de cobre y adoquines con reemplazo de escoria, en la muestra G(100%).

4.1.3. Contraste de hipótesis de propiedades físicas de variación dimensional del adoquín.

6) Redacción de la hipótesis

Hipótesis nula H_0 = no hay diferencia significativa en las medias de variación dimensional de adoquines con reemplazo de escoria de cobre y adoquines sin escoria de cobre.

Hipótesis alternativa H_1 = hay diferencia significativa en las medias de variación dimensional de adoquines con reemplazo de escoria de cobre y adoquines sin escoria de cobre.

7) Definir el nivel de significancia

Se usará el siguiente nivel de significancia: $\alpha = 5\% = 0.05$.

8) Elección de la Prueba,

Como las pruebas son paramétricas y de tipo longitudinal y se tienen dos medias a comparar la prueba será T de student (para muestras relacionadas).

9) Calcular P - valor (Prueba de Normalidad)

Para determinar la normalidad de los datos de los grupos se usará la prueba de Shapiro-Wilk, por que las muestras son menores a 30 individuos, para ello se toma las siguientes consideraciones:

- P-Valor ≥ 0.05 , se acepta H_0 = los datos provienen de una distribución normal.
- P-Valor < 0.05 , se acepta H_1 = los datos no provienen de una distribución normal

Tabla 24.

Tabla de normalidad para la variación dimensional de los adoquines a los 28 días

GRUPO	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
VD: LARGO	PATRON	0.256	3	0.962	3	0.625
	A-10%	0.319	3	0.884	3	0.337
	B-20%	0.251	3	0.966	3	0.646
	C-30%	0.177	3	0.997	3	0.966
	D-40%	0.202	3	0.994	3	0.855
	E-50%	0.234	3	0.978	3	0.719
	F-60%	0.335	3	0.858	3	0.261
	G-100%	0.278	3	0.940	3	0.527
VD: ANCHO	PATRON	0.276	3	0.942	3	0.537
	A-10%	0.248	3	0.969	3	0.661
	B-20%	0.374	3	0.776	3	0.058
	C-30%	0.349	3	0.832	3	0.194
	D-40%	0.317	3	0.888	3	0.350
	E-50%	0.321	3	0.882	3	0.332
	F-60%	0.282	3	0.936	3	0.510
	G-100%	0.183	3	0.999	3	0.933
VD: ALTURA	PATRON	0.323	3	0.878	3	0.318
	A-10%	0.271	3	0.947	3	0.558
	B-20%	0.306	3	0.905	3	0.402
	C-30%	0.293	3	0.922	3	0.458
	D-40%	0.372	3	0.783	3	0.073
	E-50%	0.283	3	0.934	3	0.506
	F-60%	0.314	3	0.892	3	0.362
	G-100%	0.269	3	0.949	3	0.566

Nota: Fuente, elaboración propia

Tabla 25.*Resumen de prueba de normalidad de variación dimensional de los adoquines*

	GRUPO	P-Valor	desig.	Signific.	conclusión
VD: LARGO	PATRON	0.625	>	0.05	Proviene de una distri. normal
	A-10%	0.337	>	0.05	Proviene de una distri. normal
	B-20%	0.646	>	0.05	Proviene de una distri. normal
	C-30%	0.966	>	0.05	Proviene de una distri. normal
	D-40%	0.855	>	0.05	Proviene de una distri. normal
	E-50%	0.719	>	0.05	Proviene de una distri. normal
	F-60%	0.261	>	0.05	Proviene de una distri. normal
	G-100%	0.527	>	0.05	Proviene de una distri. normal
VD: ANCHO	PATRON	0.537	>	0.05	Proviene de una distri. normal
	A-10%	0.661	>	0.05	Proviene de una distri. normal
	B-20%	0.058	>	0.05	Proviene de una distri. normal
	C-30%	0.194	>	0.05	Proviene de una distri. normal
	D-40%	0.350	>	0.05	Proviene de una distri. normal
	E-50%	0.332	>	0.05	Proviene de una distri. normal
	F-60%	0.510	>	0.05	Proviene de una distri. normal
	G-100%	0.933	>	0.05	Proviene de una distri. normal
VD: ALTURA	PATRON	0.318	>	0.05	Proviene de una distri. normal
	A-10%	0.558	>	0.05	Proviene de una distri. normal
	B-20%	0.402	>	0.05	Proviene de una distri. normal
	C-30%	0.458	>	0.05	Proviene de una distri. normal
	D-40%	0.073	>	0.05	Proviene de una distri. normal
	E-50%	0.506	>	0.05	Proviene de una distri. normal
	F-60%	0.362	>	0.05	Proviene de una distri. normal
	G-100%	0.566	>	0.05	Proviene de una distri. normal

Nota: Fuente, elaboración propia

De la tabla 25 se concluye que, se acepta H_0 , es decir que los datos provienen de una distribución normal.

10) Decisión estadística con T de student para la variación dimensional de adoquines

- si la probabilidad obtenida $P \text{ valor} \leq \alpha \rightarrow$ Rechaza H_0
- si la probabilidad obtenida $P \text{ valor} > \alpha \rightarrow$ Acepta H_0

Tabla 26.*T de student para variación dimensional de los adoquines a los 28 días*

Par	% de reemplazo de EC.	Diferencias emparejadas	95% de intervalo de confianza de la diferencia	t	gl	Sig. (bilateral)
-----	-----------------------------	-------------------------	--	---	----	---------------------

			Media	Desv. Desviación	Desv. Error promedio	Inferior	Superior			
VD: LARGO	Par 1	A(10%) - P	-0.37	0.90	0.52	-2.62	1.88	-0.71	2	0.552
	Par 2	B(20%) - P	0.27	1.29	0.75	-2.94	3.48	0.36	2	0.752
	Par 3	C(30%) - P	0.00	0.72	0.42	-1.80	1.80	0.01	2	0.994
	Par 4	D(40%) - P	0.55	1.71	0.99	-3.69	4.79	0.56	2	0.633
	Par 5	E(50%) - P	0.61	0.82	0.47	-1.43	2.64	1.28	2	0.329
	Par 6	F(60%) - P	0.51	1.79	1.03	-3.94	4.96	0.49	2	0.671
	Par 7	G(100%) - P	0.27	1.09	0.63	-2.43	2.96	0.43	2	0.712
VD: ANCHO	Par 8	A(10%) - P	-0.41	0.67	0.38	-2.07	1.24	-1.07	2	0.395
	Par 9	B(20%) - P	0.52	0.88	0.51	-1.67	2.71	1.02	2	0.415
	Par 10	C(30%) - P	-0.58	0.47	0.27	-1.74	0.58	-2.17	2	0.163
	Par 11	D(40%) - P	-0.05	0.21	0.12	-0.57	0.47	-0.41	2	0.720
	Par 12	E(50%) - P	-0.40	1.08	0.63	-3.09	2.29	-0.64	2	0.588
	Par 13	F(60%) - P	0.08	0.39	0.23	-0.89	1.06	0.37	2	0.748
	Par 14	G(100%) - P	-0.20	0.28	0.16	-0.89	0.49	-1.24	2	0.340
VD: ALTURA	Par 15	A(10%) - P	1.84	1.26	0.72	-1.28	4.96	2.54	2	0.126
	Par 16	B(20%) - P	-0.02	1.22	0.70	-3.04	3.00	-0.02	2	0.983
	Par 17	C(30%) - P	0.39	2.76	1.60	-6.47	7.26	0.25	2	0.828
	Par 18	D(40%) - P	-1.32	0.75	0.44	-3.20	0.55	-3.04	2	0.093
	Par 19	E(50%) - P	2.11	1.01	0.58	-0.40	4.63	3.61	2	0.069
	Par 20	F(60%) - P	-0.18	0.81	0.47	-2.19	1.84	-0.38	2	0.743
	Par 21	G(100%) - P	0.62	3.06	1.76	-6.97	8.21	0.35	2	0.758

Nota: Fuente, elaboración propia

Tabla 27.

Conclusión de T de student para variación dimensional de adoquines a los 28 días

	Grupo	P-Valor	desig.	Signific.	conclusión
VD: LARGO	A(10%) - PATRON	0.552	>	0.05	Se acepta H0
	B(20%) - PATRON	0.752	>	0.05	Se acepta H0
	C(30%) - PATRON	0.994	>	0.05	Se acepta H0
	D(40%) - PATRON	0.633	>	0.05	Se acepta H0
	E(50%) - PATRON	0.329	>	0.05	Se acepta H0
	F(60%) - PATRON	0.671	>	0.05	Se acepta H0
	G(100%) - PATRON	0.712	>	0.05	Se acepta H0
VD: ANCHO	A(10%) - PATRON	0.395	>	0.05	Se acepta H0
	B(20%) - PATRON	0.415	>	0.05	Se acepta H0
	C(30%) - PATRON	0.163	>	0.05	Se acepta H0
	D(40%) - PATRON	0.720	>	0.05	Se acepta H0
	E(50%) - PATRON	0.588	>	0.05	Se acepta H0

	F(60%) - PATRON	0.748	>	0.05	Se acepta H0
	G(100%) - PATRON	0.340	>	0.05	Se acepta H0
VD: ALTURA	A(10%) - PATRON	0.126	>	0.05	Se acepta H0
	B(20%) - PATRON	0.983	>	0.05	Se acepta H0
	C(30%) - PATRON	0.828	>	0.05	Se acepta H0
	D(40%) - PATRON	0.093	>	0.05	Se acepta H0
	E(50%) - PATRON	0.069	>	0.05	Se acepta H0
	F(60%) - PATRON	0.743	>	0.05	Se acepta H0
	G(100%) - PATRON	0.758	>	0.05	Se acepta H0

Nota: Fuente, elaboración propia

De la tabla 27 se concluyen que:

- No hay diferencia significativa en las medias de variación dimensional en ancho, largo y altura de adoquines sin escoria de cobre y adoquines con reemplazo de escoria, en las muestras A(10%), B(20%), C(30%), D(40%), E(50%), F(60%) y G(100%).

4.1.4. Contraste de hipótesis de propiedad mecánica de resistencia a la compresión del adoquín.

1) Redacción de la hipótesis

Hipótesis nula H_0 = no hay diferencia significativa en las medias de la resistencia a la compresión de adoquines con reemplazo de escoria de cobre y adoquines sin escoria de cobre.

Hipótesis alternativa H_1 = hay diferencia significativa en las medias de la resistencia a la compresión de adoquines con reemplazo de escoria de cobre y adoquines sin escoria de cobre.

2) Definir el nivel de significancia

Se usará el siguiente nivel de significancia: $\alpha = 5\% = 0.05$.

3) Elección de la Prueba,

Como las pruebas son paramétricas y de tipo longitudinal y se tienen dos medias a comparar la prueba será T de student (para muestras relacionadas).

4) Calcular P - valor (Prueba de Normalidad)

Para determinar la normalidad de los datos de los grupos se usará la prueba de Shapiro-Wilk, por que las muestras son menores a 30 individuos, para ello se toma las siguientes consideraciones:

- P-Valor ≥ 0.05 , se acepta H_0 = los datos provienen de una distribución normal.
- P-Valor < 0.05 , se acepta H_1 = los datos no provienen de una distribución normal.

Tabla 28.

Tabla de normalidad para la resistencia a compresión de los adoquines a los 28 días

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
PATRON	0.315	3		0.892	3	0.360
A-10%	0.218	3		0.987	3	0.786
B-20%	0.232	3		0.980	3	0.727
C-30%	0.274	3		0.944	3	0.544
D-40%	0.330	3		0.866	3	0.284
E-50%	0.352	3		0.825	3	0.177
F-60%	0.193	3		0.997	3	0.892
G-100%	0.234	3		0.978	3	0.718

Nota: Fuente, elaboración propia

Tabla 29.

Resumen de la prueba de normalidad de la resistencia a compresión de los adoquines

Grupo	P-Valor	desig.	Signific.	conclusión
PATRON	0.360	>	0.05	Proviene de una distri. normal
A-10%	0.786	>	0.05	Proviene de una distri. normal
B-20%	0.727	>	0.05	Proviene de una distri. normal
C-30%	0.544	>	0.05	Proviene de una distri. normal
D-40%	0.284	>	0.05	Proviene de una distri. normal
E-50%	0.177	>	0.05	Proviene de una distri. normal
F-60%	0.892	>	0.05	Proviene de una distri. normal
G-100%	0.718	>	0.05	Proviene de una distri. normal

Nota: Fuente, elaboración propia

De la tabla 29 se concluye que, se acepta H_0 , es decir que los datos provienen de una distribución normal.

5) Decisión estadística con T de student para la resistencia a compresión del adoquín

- si la probabilidad obtenida P valor $\leq \alpha \rightarrow$ Rechaza H0
- si la probabilidad obtenida P valor $> \alpha \rightarrow$ Acepta H0

Tabla 30.

T de Student para la resistencia a compresión de los adoquines a los 28 días

Par	% de reemplazo de EC.	Diferencias emparejadas			95% de intervalo de confianza de la diferencia		t	gl	Sig. (bilateral)
		Media	Desv. Desviación	Desv. Error promedio	Inferior	Superior			
Par 1	A(10%) - P	2.54	4.83	2.79	-9.45	14.54	0.91	2	0.458
Par 2	B(20%) - P	9.09	5.12	2.96	-3.63	21.81	3.08	2	0.091
Par 3	C(30%) - P	28.95	5.99	3.46	14.06	43.84	8.36	2	0.014
Par 4	D(40%) - P	48.04	15.62	9.02	9.23	86.85	5.33	2	0.033
Par 5	E(50%) - P	24.53	6.49	3.75	8.41	40.66	6.55	2	0.023
Par 6	F(60%) - P	-62.37	3.89	2.24	-72.02	-52.71	-27.78	2	0.001
Par 7	G(100%) - P	-91.40	5.11	2.95	-104.09	-78.72	-31.00	2	0.001

Nota: Fuente, elaboración propia

Tabla 31.

Conclusión de T de Student de resistencia a la compresión de adoquines a los 28 días

Grupo	P-Valor	desig.	Signific.	conclusión
A(10%) - PATRON	0.458	>	0.05	Se acepta H0
B(20%) - PATRON	0.091	>	0.05	Se acepta H0
C(30%) - PATRON	0.014	<	0.05	Se rechaza H0
D(40%) - PATRON	0.033	<	0.05	Se rechaza H0
E(50%) - PATRON	0.023	<	0.05	Se rechaza H0
F(60%) - PATRON	0.001	<	0.05	Se rechaza H0
G(100%) - PATRON	0.001	<	0.05	Se rechaza H0

Nota: Fuente, elaboración propia

De la tabla 31 se concluyen que:

- No hay diferencia significativa en las medias de la resistencia a la compresión de adoquines sin escoria de cobre y adoquines con reemplazo de escoria, en las muestras A(10%) y B(20%).

- Hay diferencia significativa en las medias de la resistencia a la compresión de adoquines sin escoria de cobre y adoquines con reemplazo de escoria, en las muestras C(30%), D(40%), E(50%), F(60%) y G(100%).

4.2. Análisis e interpretación de datos

4.2.1. Análisis de resultados, del estudio de los agregados

4.2.1.1. Resultados del análisis granulométrico por tamizado del agregado grueso (grava)

Tabla 32.

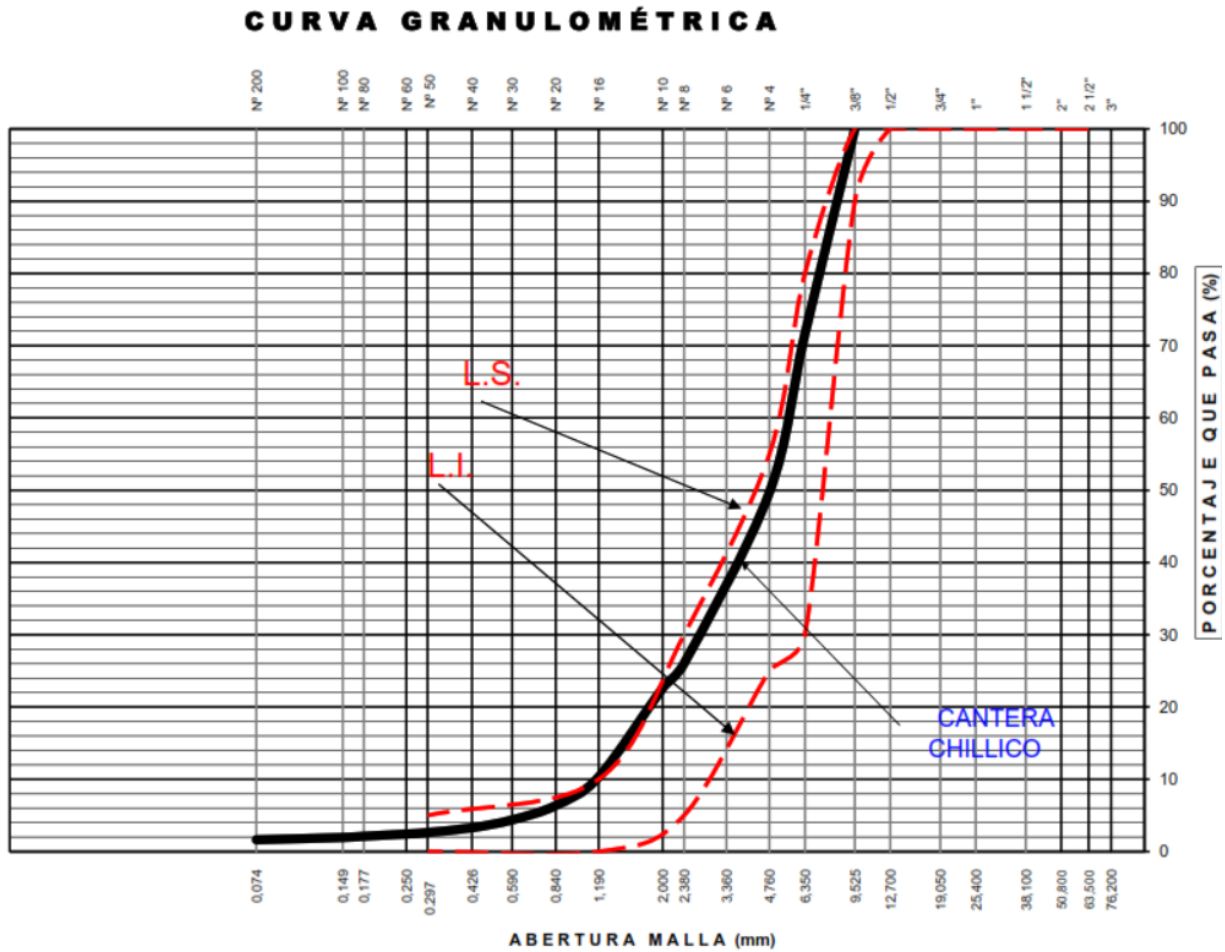
Granulometría del agregado grueso (grava) empleado en la elaboración del adoquín

TAMIZ ASTM	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO (gr)	% RETEN PARCIAL	% RETEN ACUMULADO	% QUE PASA	DATOS DEL ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO	
1/2"	12.7	-	-	-	100.00	PESOS (gr)	
3/8"	9.525	-	-	-	100.00	Peso inicial:	1348.1
1/4"	6.35	382.50	28.37	28.37	71.63	Peso seco lavado	1326.5
N°4	4.76	295.40	21.91	50.29	49.71	ENSAYOS ESTÁNDAR	
N°6	3.36		0.00	50.29	49.71	% Grava	50.3
N°8	2.38	319.40	23.69	73.98	26.02	% Arena	48.1
N°10	2	46.00	3.41	77.39	22.61	% de Finos	1.63
N°16	1.19	165.80	12.30	89.69	10.31	D10 (mm) =	1.16
N°20	0.84	53.10	3.94	93.63	6.37	D30(mm) =	2.545
N°30	0.59	26.80	1.99	95.62	4.38	D60(mm) =	5.506
N°40	0.426	14.70	1.09	96.71	3.29	Cu =	4.74
N°50	0.297	8.80	0.65	97.36	2.64	Cc =	1.01
N°60	0.25	2.90	0.22	97.57	2.43	Clasificación SUCS	GW
N°80	0.177	4.20	0.31	97.89	2.11	Grava bien graduada	
N°100	0.149	2.20	0.16	98.05	1.95	Tamaño Máximo	3/8"
N°200	0.074	4.30	0.32	98.37	1.63	Tamaño Máximo Nominal	1/4"
Fondo		0.40	0.03	98.40	1.60	Gravedad específica	2.72
Lavado		21.60	1.60	100.00	0.00	Módulo de Fineza	5.05
TOTAL:		1348.1	100.00				

Nota: Fuente, elaboración propia

Figura 34.

Curva granulométrica del agregado grueso (grava) de la cantera Chillico



Fuente: Elaboración propia

4.2.1.2. Peso unitario suelto y compactado del agregado grueso

Tabla 33.

PUSS y PUCS del agregado grueso

AGREGADO GRUESO			
PESO UNITARIO SUELTO SECO (PUSS)			
N° DE ENSAYO	Ensayo N° 01	Ensayo N° 02	Ensayo N° 03
A Peso Molde (gr)	1,854.0	1,854.0	1,854.0
B Peso Agregado + Molde (gr)	6,025.0	6,068.0	6,020.0
C Peso Agregado Suelto (gr) = (B)-(A)	4,171.0	4,214.0	4,166.0
D Volumen del Molde (cm ³)	2,832.0	2,832.0	2,832.0
E Peso Unitario Suelto Seco (Kg/m ³) = (C)/(D)	1,473	1,488	1,471

PROMEDIO PUSS (Kg/m3)		1,477		
PESO UNITARIO COMPACTADO SECO (PUCS) METODO DEL APISONADO				
N° DE ENSAYO	Ensayo N° 01	Ensayo N° 02	Ensayo N° 03	
A Peso Molde (gr)	1,854.0	1,854.0	1,854.0	
B Peso Agregado + Molde (gr)	6,273.0	6,228.0	6,268.0	
C Peso Agregado Suelto (gr) = (B)-(A)	4,419.0	4,374.0	4,414.0	
D Volumen del Molde (cm3)	2,832.0	2,832.0	2,832.0	
E Peso Unitario Suelto Seco (Kg/m3) = (C)/(D)	1,560	1,544	1,559	
PROMEDIO PUCS (Kg/m3)		1,554		

Fuente: Elaboración propia

4.2.1.3. Peso específico y absorción del agregado grueso

Tabla 34.

Peso específico y absorción del agregado grueso

AGREGADO GRUESO				
IDENTIFICACIÓN	ENSAYO N° 01	ENSAYO N° 02	PROMEDIO	
A Peso en el aire de la muestra seca (gr)	830.7	816.4		
B Peso en el aire de la muestra SSS (gr)	879.5	878		
C Peso sumergido en agua de la muestra SSS (gr)	523	518		
Peso Específico Aparente = A/(B-C)	2.33	2.27	2.3	
Peso Específico Aparente SSS = B/(B-C)	2.47	2.44	2.45	
Peso Específico Nominal = A/(A-C)	2.7	2.74	2.72	
% de Absorción = ((B - A)/A) x 100	5.87	7.55	6.71	

Fuente: Elaboración propia

4.2.1.4. Contenido de humedad del agregado grueso

Tabla 35.

Contenido de humedad del agregado grueso

AGREGADO GRUESO		
IDENTIFICACIÓN	ENSAYO N° 01	ENSAYO N° 02
A Peso Húmedo de la muestra (gr)	47.410	49.010
B Peso Seco de la muestra (gr)	46.860	48.410
C Peso del agua en la muestra (gr)	0.550	0.600
D % de absorción	6.710	
Contenido de Humedad (%)	1.174	1.239
Contenido de Humedad (%)		1.2

Fuente: Elaboración propia

4.2.1.5. Resultados del análisis granulométrico por tamizado del agregado fino

Tabla 36.

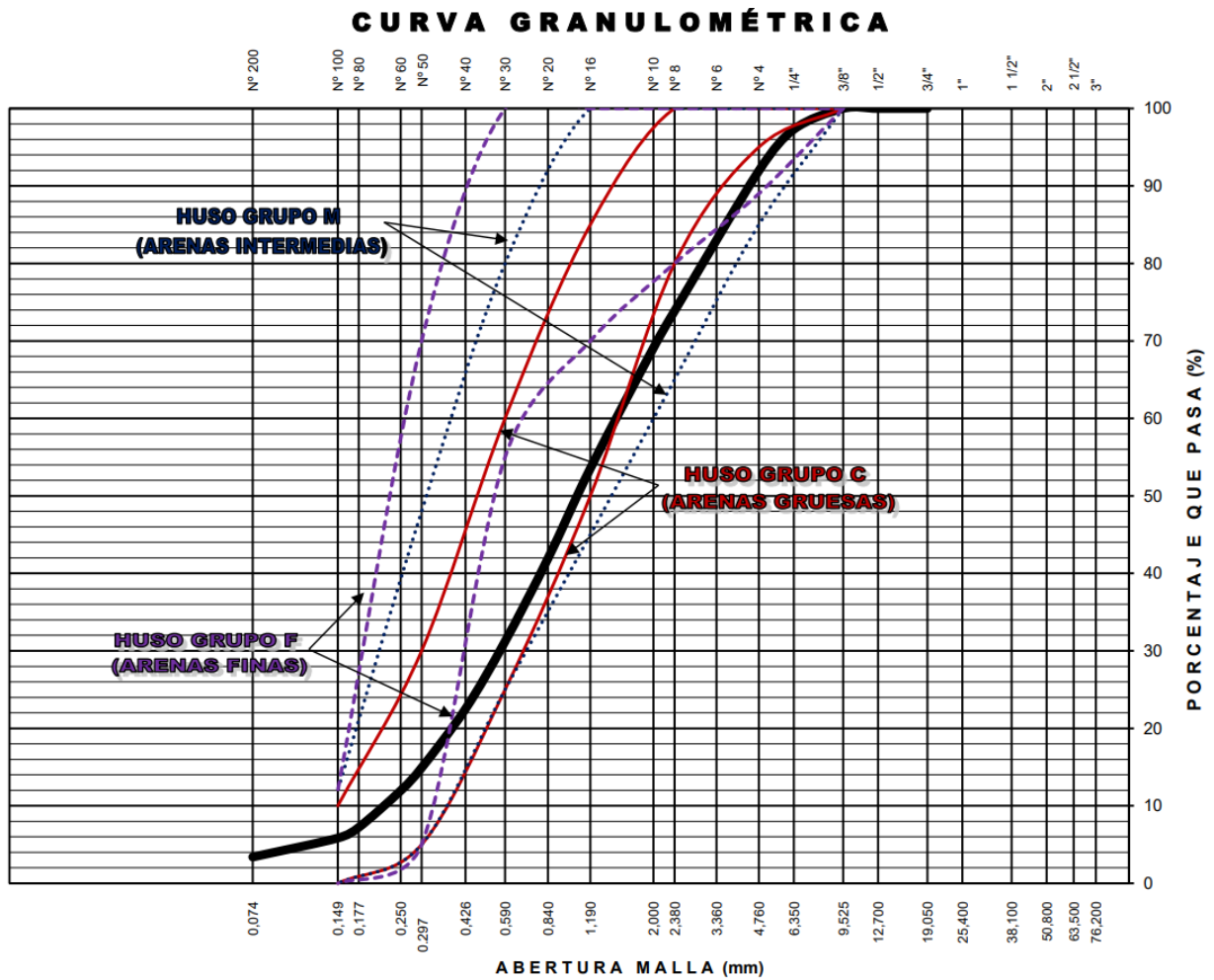
Granulometría de la arena gruesa empleado en la elaboración del adoquín

TAMIZ ASTM	Abertura (mm)	PESO RETENIDO (gr)	% RETEN PARCIAL	% RETEN ACUMULADO	% QUE PASA	DATOS DEL ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO	
1/2"	12.7	-	-	0	100.00	PESOS (gr)	
3/8"	9.525	-	-	0	100.00	Peso inicial:	1588.4
1/4"	6.35	42.80	2.69	2.69	97.31	Peso seco lavado:	1534.9
Nº4	4.76	85.00	5.35	8.05	91.95	ENSAYOS ESTÁNDAR	
Nº6	3.36	0.00	0.00	8.05	91.95	% Grava:	8.0
Nº8	2.38	287.30	18.09	26.13	73.87	% Arena:	88.6
Nº10	2	75.70	4.77	30.90	69.10	% de Finos:	3.4
Nº16	1.19	247.10	15.56	46.46	53.54	D10 (mm) :	0.22
Nº20	0.84	184.60	11.62	58.08	41.92	D30(mm) :	0.567
Nº30	0.59	170.10	10.71	68.79	31.21	D60(mm) :	1.526
Nº40	0.426	138.40	8.71	77.50	22.50	Cu :	6.94
Nº50	0.297	120.50	7.59	85.09	14.91	Cc :	0.96
Nº60	0.25	47.00	2.96	88.04	11.96	Clasificación SUCS:	SP
Nº80	0.177	75.30	4.74	92.79	7.21	Gravedad específica:	2.73
Nº100	0.149	21.80	1.37	94.16	5.84	Módulo de Fineza :	3.29
Nº200	0.074	38.90	2.45	96.61	3.39		
Fondo		0.40	0.03	96.63	3.37		
Lavado		53.50	3.37	100.00	0.00		
TOTAL:		1588.4	100.00				

Nota: Fuente, elaboración propia

Figura 35.

Curva granulométrica del agregado fino de la cantera Chillico



Fuente: Elaboración propia

De la figura 33, el módulo de finura es de 3.29, característico de una arena gruesa ya que las arenas gruesas se encuentran en el rango de 2.5 a 3.5 en módulo de finura.

El agregado de la cantera Chillico presenta $C_u = 6.94$ indicando muy buena graduación, ya que según Whitlow (1994), si $C_u < 3$ indica una graduación uniforme y $C_u > 5$ una muy buena graduación.

El agregado que se va a utilizar tiene buena graduación ya que el $C_c = 0.96$ y según (Whitlow, 1994) los materiales de buena graduación se encuentran con un C_c entre 0.5 y 2.

4.2.1.6. Peso unitario suelto y compactado del agregado fino

Tabla 37.

PUSS y PUCS del agregado fino

AGREGADO FINO			
PESO UNITARIO SUELTO SECO (PUSS)			
Nº DE ENSAYO	Ensayo Nº 01	Ensayo Nº 02	Ensayo Nº 03
A Peso Molde (gr)	1,854.0	1,854.0	1,854.0
B Peso Agregado + Molde (gr)	6,539.0	6,568.0	6,561.0
C Peso Agregado Suelto (gr) = (B)-(A)	4,685.0	4,714.0	4,707.0
D Volumen del Molde (cm ³)	2,832.0	2,832.0	2,832.0
E Peso Unitario Suelto Seco (Kg/m ³) = (C)/(D)	1,654	1,665	1,662
PROMEDIO PUSS (Kg/m³)	1,660		
PESO UNITARIO COMPACTADO SECO (PUCS) METODO DEL APISONADO			
Nº DE ENSAYO	Ensayo Nº 01	Ensayo Nº 02	Ensayo Nº 03
A Peso Molde (gr)	1,854.0	1,854.0	1,854.0
B Peso Agregado + Molde (gr)	6,814.0	6,821.0	6,839.0
C Peso Agregado Suelto (gr) = (B)-(A)	4,960.0	4,967.0	4,985.0
D Volumen del Molde (cm ³)	2,832.0	2,832.0	2,832.0
E Peso Unitario Suelto Seco (Kg/m ³) = (C)/(D)	1,751	1,754	1,760
PROMEDIO PUCS (Kg/m³)	1,755		

Fuente: Elaboración propia

4.2.1.7. Peso específico y absorción del agregado fino

Tabla 38.

Peso específico y absorción del agregado fino

AGREGADO FINO			
IDENTIFICACIÓN	ENSAYO Nº 01	ENSAYO Nº 02	PROMEDIO
A Peso al aire de la muestra secada (gr)	245.2	242.7	
B Peso del Picnometro aforado lleno de agua (gr)	656.5	654.3	
C Peso del Picnometro con la muestra y agua (gr)	811.2	808.9	
D Peso de la muestra en SSS (gr)	253.7	252.4	
Peso Específico Aparente = A/(B-C+S)	2.48	2.48	2.48
Peso Específico Aparente SSS = S/(B-C+S)	2.56	2.58	2.57
Peso Específico Nominal = A/(A-C+B)	2.71	2.75	2.73
% de Absorción = ((S - A)/A) x 100	3.47	4	3.73

Fuente: Elaboración propia

4.2.1.8. Contenido de humedad del agregado fino

Tabla 39.

Contenido de humedad del agregado fino

AGREGADO FINO		
IDENTIFICACIÓN	ENSAYO N° 01	ENSAYO N° 02
A Peso Húmedo de la muestra (gr)	50.760	82.540
B Peso Seco de la muestra (gr)	48.710	79.040
C Peso del agua en la muestra (gr)	2.050	3.500
D % de absorción	3.730	
Contenido de Humedad (%)	4.200	4.400
Contenido de Humedad (%)		4.3

Fuente: Elaboración propia

4.2.1.9. Resultados del análisis granulométrico por tamizado de la escoria de cobre

Tabla 40.

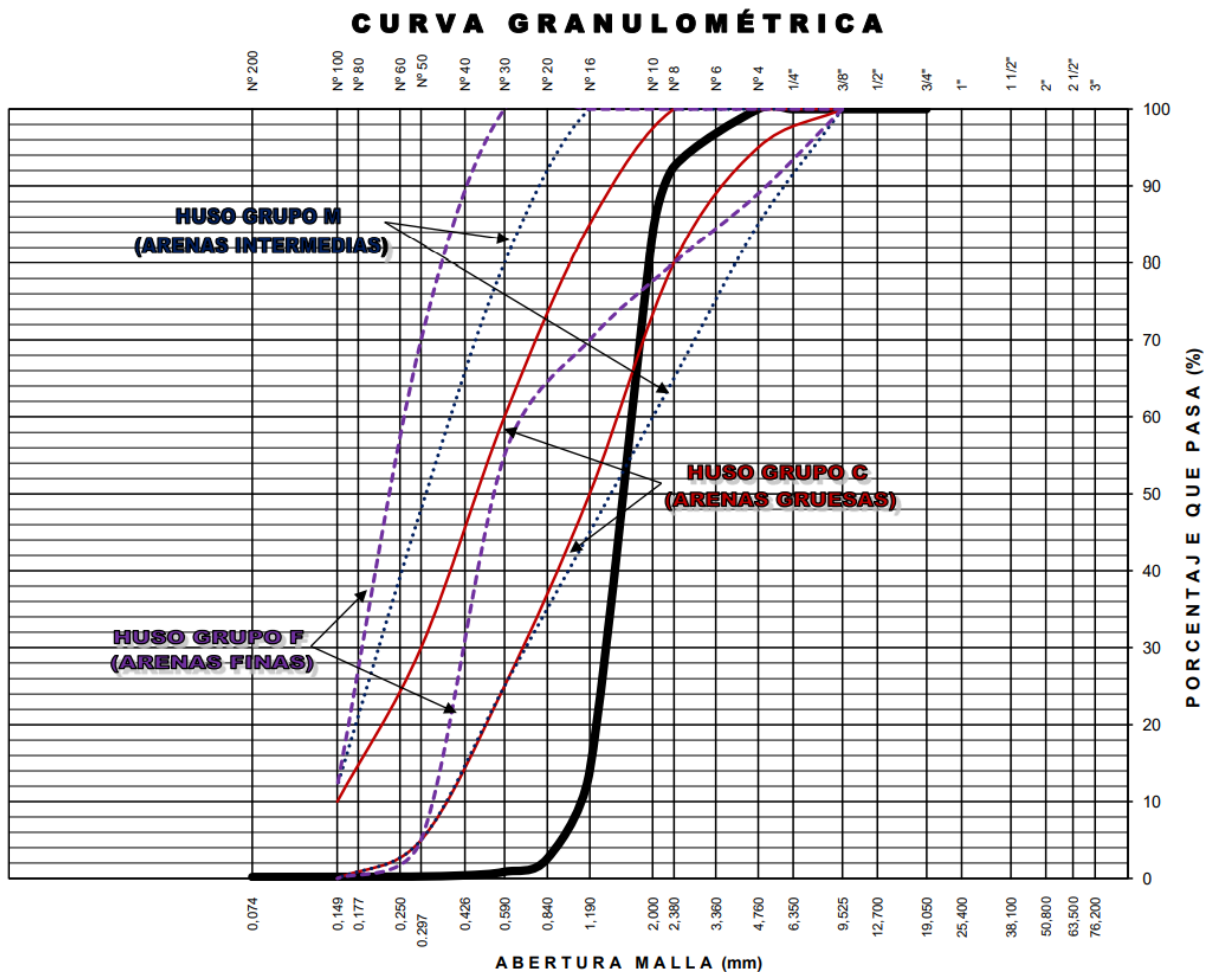
Granulometría de la escoria de cobre en la elaboración del adoquín

TAMIZ ASTM	Abertura (mm)	PESO RETENIDO (gr)	% RETEN PARCIAL	% RETEN ACUMULADO	% QUE PASA	DATOS DEL ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO	
1/2"	12.7	-	-	0	100.00	PESOS (gr)	
3/8"	9.525	-	-	0	100.00	Peso inicial:	1629.8
1/4"	6.35	0.00	0.00	0.00	100.00	Peso seco lavado	1626.9
Nº4	4.76	0.00	0.00	0.00	100.00	ENSAYOS ESTÁNDAR	
Nº6	3.36	0.00	0.00	0.00	100.00	% Grava	0
Nº8	2.38	122.10	7.49	7.49	92.51	% Arena	99.8
Nº10	2	140.40	8.61	16.11	83.89	% de Finos	0.2
Nº16	1.19	1139.30	69.90	86.01	13.99	D10 (mm) =	1.067
Nº20	0.84	185.60	11.39	97.40	2.60	D30(mm) =	1.376
Nº30	0.59	28.10	1.72	99.12	0.88	D60(mm) =	1.723
Nº40	0.426	7.60	0.47	99.59	0.41	Cu =	1.61
Nº50	0.297	2.30	0.14	99.73	0.27	Cc =	1.03
Nº60	0.25	0.40	0.02	99.75	0.25	Clasificación SUCS	SP
Nº80	0.177	0.30	0.02	99.77	0.23	Gravedad específica	2.73
Nº100	0.149	0.10	0.01	99.78	0.22	Módulo de Fineza	3.92
Nº200	0.074	0.30	0.02	99.80	0.20		
Fondo		0.40	0.02	99.82	0.18		
Lavado		2.90	0.18	100.00	0.00		
TOTAL:		1629.8	100.00				

Nota: Fuente, elaboración propia

Figura 36.

Curva granulométrica de la escoria de cobre



Fuente: Elaboración propia

De la figura 34, el índice de finura de la escoria de cobre es de 3.92, cuanto mayor es el MF indica que el agregado es más grueso, la granulometría es aceptable ya que el MF es mayor que 2.3.

La escoria de cobre presenta $C_u = 1.61$ indicando graduación uniforme, ya que según Whitlow (1994), si $C_u < 3$ indica una graduación uniforme y $C_u > 5$ una muy buena graduación.

La escoria de cobre tiene buena graduación ya que el $C_c = 1.03$ y según (Whitlow, 1994) los materiales de buena graduación se encuentran con un C_c entre 0.5 y 2.

4.2.1.10. Peso unitario volumétrico unitario suelto y compactado de la escoria de cobre

Tabla 41.

PUSS y PUCS de la escoria de cobre

AGREGADO FINO (ESCORIA DE COBRE)			
PESO UNITARIO SUELTO SECO (PUSS)			
N° DE ENSAYO	Ensayo N° 01	Ensayo N° 02	Ensayo N° 03
A Peso Molde (gr)	1,854.0	1,854.0	1,854.0
B Peso Agregado + Molde (gr)	6,348.0	6,344.0	6,343.0
C Peso Agregado Suelto (gr) = (B)-(A)	4,494.0	4,490.0	4,489.0
D Volumen del Molde (cm ³)	2,832.0	2,832.0	2,832.0
E Peso Unitario Suelto Seco (Kg/m ³) = (C)/(D)	1,587	1,585	1,585
PROMEDIO PUSS (Kg/m³)	1,586		
PESO UNITARIO COMPACTADO SECO (PUCS) METODO DEL APISONADO			
N° DE ENSAYO	Ensayo N° 01	Ensayo N° 02	Ensayo N° 03
A Peso Molde (gr)	1,854.0	1,854.0	1,854.0
B Peso Agregado + Molde (gr)	6,741.0	6,743.0	6,751.0
C Peso Agregado Suelto (gr) = (B)-(A)	4,887.0	4,889.0	4,897.0
D Volumen del Molde (cm ³)	2,832.0	2,832.0	2,832.0
E Peso Unitario Suelto Seco (Kg/m ³) = (C)/(D)	1,726	1,726	1,729
PROMEDIO PUCS (Kg/m³)	1,727		

Fuente: Elaboración propia

4.2.1.11. Peso específico y absorción de la escoria de cobre

Tabla 42.

Peso específico y absorción de la escoria de cobre

ESCORIA DE COBRE			
IDENTIFICACIÓN	ENSAYO N° 01	ENSAYO N° 02	PROMEDIO
A Peso al aire de la muestra secada (gr)	266.8	269.8	
B Peso del Picnómetro aforado lleno de agua (gr)	656.5	659.5	
C Peso del Picnómetro con la muestra y agua (gr)	844.5	849.5	
D Peso de la muestra en SSS (gr)	268.7	271.7	
Peso Específico Aparente = A/(B-C+S)	3.31	3.3	3.3
Peso Específico Aparente SSS = S/(B-C+S)	3.33	3.33	3.33
Peso Específico Nominal = A/(A-C+B)	3.39	3.38	3.38
% de Absorción = ((S - A)/A) x 100	0.71	0.7	0.71

Fuente: Elaboración propia

4.2.1.12. Contenido de humedad de la escoria de cobre

Tabla 43.

Contenido de humedad de la escoria de cobre

ESCORIA DE COBRE		
IDENTIFICACIÓN	ENSAYO N° 01	ENSAYO N° 02
A Peso Humedo de la muestra (gr)	96.060	98.710
B Peso Seco de la muestra (gr)	95.960	98.610
C Peso del agua en la muestra (gr)	0.100	0.100
D % de absorcion	0.710	
Contenido de Humedad (%)	0.100	0.100
Contenido de Humedad (%)	0.1	

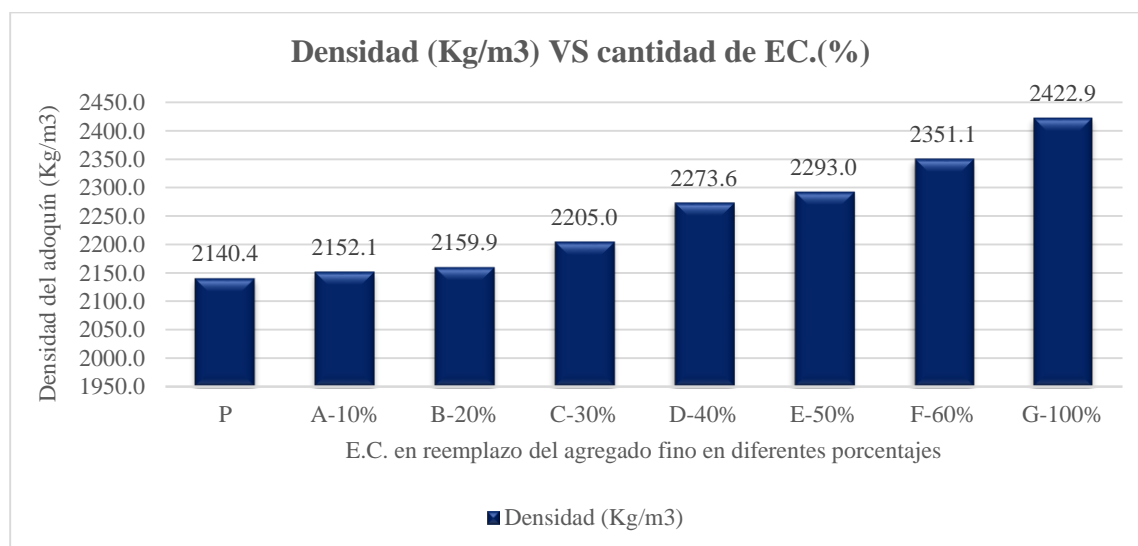
Fuente: Elaboración propia

4.2.2. Resultados de los ensayos del adoquín

4.2.2.1. Ensayo de densidad de adoquines

Figura 37.

Variación de la densidad del adoquín con diferentes porcentajes de escoria de cobre



Fuente: Elaboración propia

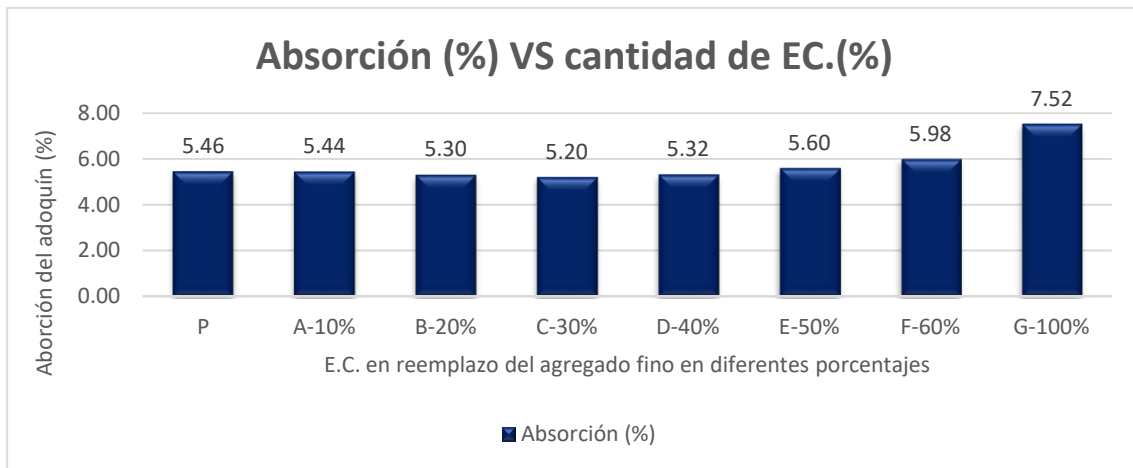
La figura N°35 muestra que los grupos A, B, C, D, E, F y G (adoquines con reemplazo de escoria de cobre por el agregado fino al 10%, 20%, 30%, 40%, 50%, 60% y 100% respectivamente) presentan mayor densidad con respecto al adoquín patrón. El grupo G

presenta mayor densidad con un valor de 2422.9 Kg/m³ respecto al grupo patrón P con un valor de 2140.4 Kg/m³. Asimismo, en la figura N° 35 se aprecia que los valores de las densidades de los grupos A, B, y C respecto a la densidad del adoquín patrón la variación de las densidades son mínimas, pero a partir del reemplazo de la escoria de cobre al 40% las variaciones de las densidades son más significativas respecto al adoquín patrón P. En conclusión, la densidad del adoquín se incrementa proporcionalmente al reemplazar la escoria de cobre por el agregado fino.

4.2.2.2. Ensayo de absorción de adoquines

Figura 38.

Variación de la absorción con diferentes porcentajes de escoria de cobre



Fuente: Elaboración propia

La figura N°36 muestra que la absorción del adoquín con reemplazo al 10%, 20% y 30 % de escoria de cobre tiende a disminuir, pero a partir del 40 % de reemplazo de escoria de cobre la absorción del adoquín aumenta.

4.2.2.3. Ensayo de variación dimensional

Se presenta los resultados del ensayo realizado de variación dimensional del grupo patrón P (adoquines sin reemplazo de escoria de cobre) y de los grupos A, B, C, D, E, F, y G (adoquines con reemplazo de escoria de cobre por el agregado fino al 10%, 20%, 30%, 40%, 50%, 60% y 100% respectivamente).

Tabla 44.*Ensayo de variación dimensional de los adoquines del grupo patrón P-0% EC, a los 28 días*

Dimensiones nominales:		A=100mm					H=80mm					L=200 mm						
Grupo	N°	Ancho(A)					Altura(H)					Largo(L)						
		A1	A2	A3	A4	AP	H1	H2	H3	H4	HP	L1	L2	L3	L4	LP		
P	P1	100.80	100.16	99.57	98.88	99.85	76.98	79.38	80.02	80.35	79.18	198.72	198.92	198.17	199.12	198.73		
	P2	99.10	101.15	101.03	101.20	100.62	76.03	76.86	76.73	80.10	77.43	201.51	199.67	200.80	200.39	200.59		
	P3	100.85	98.60	101.53	99.29	100.07	79.58	78.58	77.44	79.88	78.87	198.81	197.57	200.23	200.73	199.34		
Medida del fabricante				Ancho=					Altura=					Largo=				
Medida promedio				AP=					HP=					LP=				
Variación dimensional				%=					%=					%=				

Nota: Fuente, elaboración propia

La tabla N° 44 muestra unidades de adoquines del grupo patrón P (adoquines sin reemplazo de escoria de cobre), a las que se les ha realizado el ensayo de variabilidad dimensional a los 28 días, resultando una variación dimensional en el ancho de 0.18%, en la altura de 1.88% y el largo de 0.22%.

Tabla 45.*Ensayo de variación dimensional de los adoquines del grupo A-10%EC, a los 28 días*

Dimensiones nominales:		A=100mm					H=80mm					L=200 mm						
Grupo	N°	Ancho(A)					Altura(H)					Largo(L)						
		A1	A2	A3	A4	AP	H1	H2	H3	H4	HP	L1	L2	L3	L4	LP		
A-10%EC	A1	99.79	99.23	96.15	100.15	98.83	83.25	80.59	80.98	79.12	80.99	196.41	198.15	199.25	197.86	197.92		
	A2	101.02	101.60	99.75	101.30	100.92	78.10	79.17	82.84	82.04	80.54	198.75	200.76	198.55	200.40	199.62		
	A3	98.45	98.85	100.93	99.96	99.55	79.16	84.11	78.79	75.80	79.47	199.59	199.34	198.21	202.88	200.01		
Medida del fabricante				Ancho=					Altura=					Largo=				
Medida promedio				AP=					HP=					LP=				
Variación dimensional				%=					%=					%=				

Nota: Fuente, elaboración propia

La tabla N° 45 muestra unidades de adoquines del grupo A (adoquines con reemplazo de escoria de cobre por el agregado fino al 10%), a las que se les ha realizado el ensayo de variabilidad dimensional a los 28 días, resultando una variación dimensional en el ancho de 0.23%, en la altura de 0.41% y el largo de 0.41%.

Tabla 46.*Ensayo de variación dimensional de los adoquines del grupo B-20%EC, a los 28 días*

Dimensiones nominales:		A=100mm					H=80mm					L=200 mm				
Grupo	N°	Ancho(A)					Altura(H)					Largo(L)				
		A1	A2	A3	A4	AP	H1	H2	H3	H4	HP	L1	L2	L3	L4	LP
B-20%EC	B1	99.10	102.38	101.34	101.16	101.00	77.23	79.72	82.30	77.54	79.20	198.87	200.78	201.65	198.32	199.91
	B2	100.54	100.20	101.75	98.01	100.13	71.03	76.86	76.73	80.10	76.18	199.24	198.77	199.64	199.86	199.38
	B3	101.60	101.56	99.46	101.24	100.97	77.48	83.11	81.69	77.93	80.05	199.89	200.56	199.08	201.17	200.18
Medida del fabricante		Ancho=					Altura=					Largo=				
Medida promedio		AP=					HP=					LP=				
Variación dimensional		%= 0.70%					%= 1.90%					%= 0.09%				

Nota: Fuente, elaboración propia

La tabla N° 46 muestra unidades de adoquines del grupo B (adoquines con reemplazo de escoria de cobre por el agregado fino al 20%), a las que se les ha realizado el ensayo de variabilidad dimensional a los 28 días, resultando una variación dimensional en el ancho de 0.70%, en la altura de 1.90% y el largo de 0.09%.

Tabla 47.*Ensayo de variación dimensional de los adoquines del grupo C-30%EC, a los 28 días*

Dimensiones nominales:		A=100mm					H=80mm					L=200 mm				
Grupo	N°	Ancho(A)					Altura(H)					Largo(L)				
		A1	A2	A3	A4	AP	H1	H2	H3	H4	HP	L1	L2	L3	L4	LP
C-30%EC	C1	101.50	99.05	99.74	98.53	99.71	72.03	77.85	74.75	82.13	76.69	198.80	201.92	199.04	198.51	199.57
	C2	99.55	101.09	99.51	98.04	99.55	80.10	77.90	81.81	81.98	80.45	199.26	201.71	201.34	198.45	200.19
	C3	98.22	101.56	96.50	101.84	99.53	81.10	76.55	78.79	81.65	79.52	199.27	198.44	199.59	198.33	198.91
Medida del fabricante		Ancho=					Altura=					Largo=				
Medida promedio		AP=					HP=					LP=				
Variación dimensional		%= 0.41%					%= 1.39%					%= 0.22%				

Nota: Fuente, elaboración propia

La tabla N° 47 muestra unidades de adoquines del grupo C (adoquines con reemplazo de escoria de cobre por el agregado fino al 30%), a las que se les ha realizado el ensayo de variabilidad dimensional a los 28 días, resultando una variación dimensional en el ancho de 0.41%, en la altura de 1.39% y el largo de 0.22%.

Tabla 48.*Ensayo de variación dimensional de los adoquines del grupo D-40%EC, a los 28 días*

Dimensiones nominales:		A=100mm					H=80mm					L=200 mm				
Grupo	N°	Ancho(A)					Altura(H)					Largo(L)				
		A1	A2	A3	A4	AP	H1	H2	H3	H4	HP	L1	L2	L3	L4	LP
D-40%EC	D1	98.83	99.28	99.65	102.04	99.95	76.60	77.91	77.28	81.07	78.22	200.00	200.13	201.77	201.43	200.83
	D2	101.08	101.60	100.44	99.50	100.66	72.50	80.10	76.73	77.10	76.61	197.88	201.16	198.81	199.38	199.31
	D3	100.38	99.86	100.06	98.83	99.78	76.03	72.86	75.73	82.10	76.68	201.13	199.50	201.37	198.69	200.17
Medida del fabricante		Ancho=					Altura=					Largo=				
Medida promedio		AP=					HP=					LP=				
Variación dimensional		%= 0.13%					%= 3.54%					%= 0.05%				

Nota: Fuente, elaboración propia

La tabla N° 48 muestra unidades de adoquines del grupo D (adoquines con reemplazo de escoria de cobre por el agregado fino al 40%), a las que se les ha realizado el ensayo de variabilidad dimensional a los 28 días, resultando una variación dimensional en el ancho de 0.13%, en la altura de 3.54% y el largo de 0.05%.

Tabla 49.*Ensayo de variación dimensional de los adoquines del grupo E-50%EC, a los 28 días*

Dimensiones nominales:		A=100mm					H=80mm					L=200 mm				
Grupo	N°	Ancho(A)					Altura(H)					Largo(L)				
		A1	A2	A3	A4	AP	H1	H2	H3	H4	HP	L1	L2	L3	L4	LP
E-50%EC	E1	97.14	98.78	96.11	100.77	98.20	81.98	80.81	80.84	82.96	81.65	199.92	201.21	201.58	198.41	200.28
	E2	100.75	99.32	102.63	100.54	100.81	81.25	77.87	81.59	80.60	80.33	200.12	199.71	200.58	202.77	200.80
	E3	98.70	99.10	102.68	100.84	100.33	81.46	80.37	78.27	79.25	79.84	200.37	201.72	197.90	197.61	199.40
Medida del fabricante		Ancho=					Altura=					Largo=				
Medida promedio		AP=					HP=					LP=				
Variación dimensional		%= 0.22%					%= 0.76%					%= 0.08%				

Nota: Fuente, elaboración propia

La tabla N° 49 muestra unidades de adoquines del grupo E (adoquines con reemplazo de escoria de cobre por el agregado fino al 50%), a las que se les ha realizado el ensayo de variabilidad dimensional a los 28 días, resultando una variación dimensional en el ancho de 0.22%, en la altura de 0.76% y el largo de 0.08%.

Tabla 50.*Ensayo de variación dimensional de los adoquines del grupo F-60%EC, a los 28 días*

Dimensiones nominales:		A=100mm					H=80mm					L=200 mm				
Grupo	N°	Ancho(A)					Altura(H)					Largo(L)				
		A1	A2	A3	A4	AP	H1	H2	H3	H4	HP	L1	L2	L3	L4	LP
F-60%EC	F1	97.67	101.14	100.77	99.68	99.82	77.28	77.87	80.36	80.20	78.93	202.11	200.77	201.41	200.44	201.18
	F2	100.33	100.06	100.77	100.34	100.38	76.02	71.86	76.73	81.30	76.48	198.70	200.36	203.08	200.87	200.75
	F3	102.11	99.92	99.14	101.18	100.59	78.47	79.17	84.53	75.98	79.54	195.53	199.31	199.36	198.83	198.26
Medida del fabricante		Ancho=					Altura=					Largo=				
Medida promedio		AP=					HP=					LP=				
Variación dimensional		%= 0.26%					%= 2.11%					%= 0.03%				

Nota: Fuente, elaboración propia

La tabla N° 50 muestra unidades de adoquines del grupo F (adoquines con reemplazo de escoria de cobre por el agregado fino al 60%), a las que se les ha realizado el ensayo de variabilidad dimensional a los 28 días, resultando una variación dimensional en el ancho de 0.26%, en la altura de 2.11% y el largo de 0.03%.

Tabla 51.*Ensayo de variación dimensional de los adoquines del grupo G-100%E.C., a los 28 días*

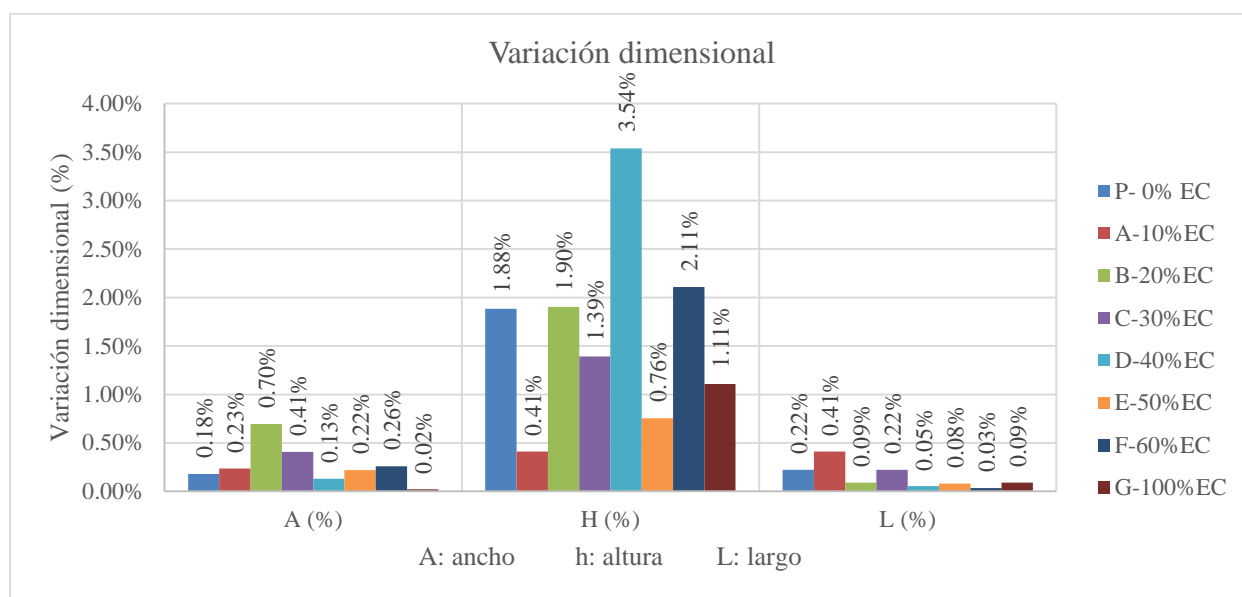
Dimensiones nominales:		A=100mm					H=80mm					L=200 mm				
Grupo	N°	Ancho(A)					Altura(H)					Largo(L)				
		A1	A2	A3	A4	AP	H1	H2	H3	H4	HP	L1	L2	L3	L4	LP
G-100%EC	G1	101.20	98.54	101.14	98.99	99.97	79.78	79.26	78.50	81.40	79.74	200.94	202.04	199.80	198.02	200.20
	G2	101.15	99.46	101.85	98.46	100.23	78.99	81.86	83.04	80.66	81.14	200.51	200.51	198.15	200.63	199.95
	G3	100.81	98.07	98.74	101.35	99.74	83.10	75.86	75.73	71.20	76.47	199.10	199.32	197.80	201.03	199.31
Medida del fabricante		Ancho=					Altura=					Largo=				
Medida promedio		AP=					HP=					LP=				
Variación dimensional		%= 0.02%					%= 1.11%					%= 0.09%				

Nota: Fuente, elaboración propia

La tabla N° 51 muestra unidades de adoquines del grupo G (adoquines con reemplazo de escoria de cobre por el agregado fino al 100%), a las que se les ha realizado el ensayo de variabilidad dimensional a los 28 días, resultando una variación dimensional en el ancho de 0.02%, en la altura de 1.11% y el largo de 0.09%.

Figura 39.

Variación dimensional de adoquines con diferentes porcentajes de escoria de cobre



Fuente: Elaboración propia

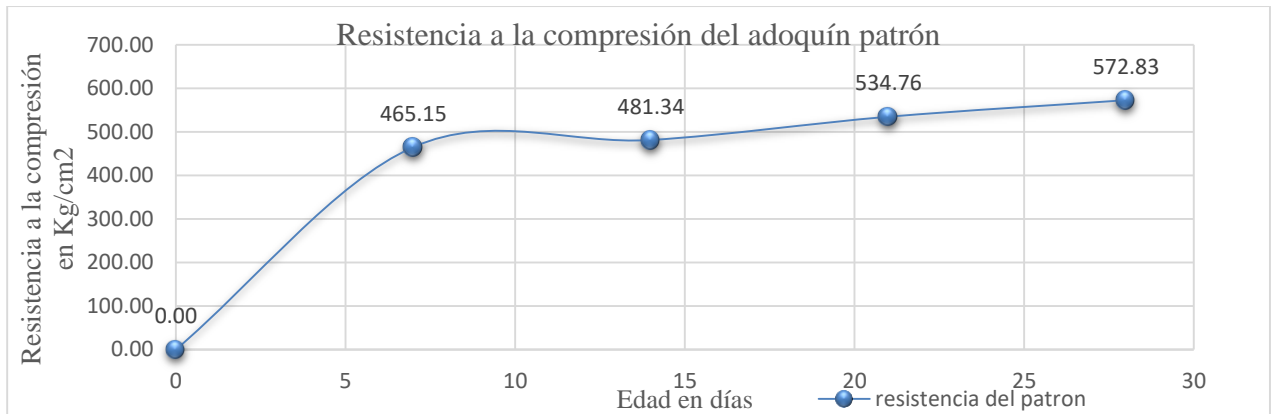
La Figura N° 37 muestra la variación dimensional en porcentajes del grupo patrón P (adoquines sin reemplazo de escoria de cobre) y de los grupos A, B, C, D, E, F, y G (adoquines con reemplazo de escoria de cobre por el agregado fino al 10%, 20%, 30%, 40%, 50%, 60% y 100% respectivamente), respecto a las dimensiones establecidas (L=200 mm, A= 100 mm y H= 80 mm). La norma NTP 399.611 señala que la variación máxima para el largo del adoquín es de $\pm 1.6\text{mm}$ (0.8%), ancho $\pm 1.6\text{ mm}$ (1.6 %) y en alto $\pm 3.2\text{ mm}$ (4%).

En la gráfica de barras se puede observar que no se muestra una tendencia definida de mejorar o empeorar las dimensiones a medida que se reemplaza la escoria de cobre por el agregado fino. De todos los grupos de estudio, el grupo B tiene una variación máxima en el ancho de 0.70% y el grupo G una variación mínima en el ancho de 0.02%, con respecto a la altura o espesor del adoquín, el grupo D tiene una variación máxima en la altura de 3.54% y el grupo A una variación mínima de 0.41% y con relación al largo del adoquín el grupo A tiene una variación máxima en el largo de 0.41% y el grupo F una variación mínima de 0.03%; con los resultados obtenidos se concluye que el promedio de los adoquines se encuentra dentro del límite establecido por la norma NTP 399.611.

4.2.2.4. Resistencia a la compresión de los adoquines

Figura 40.

Evolución de la resistencia a compresión del adoquín patrón

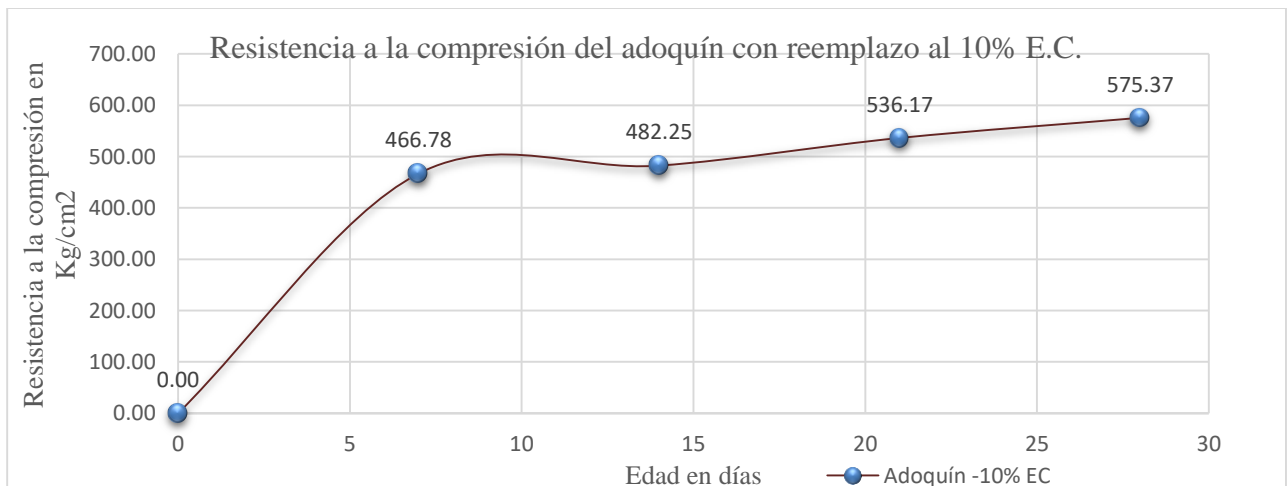


Fuente: Elaboración propia

En la figura N° 38 se observa la evolución de la resistencia a la compresión del adoquín patrón a los 7 días, 14 días, 21 días y 28 días, sin la incorporación de la escoria de cobre.

Figura 41.

Evolución de la resistencia a compresión del adoquín con reemplazo al 10% de E.C.

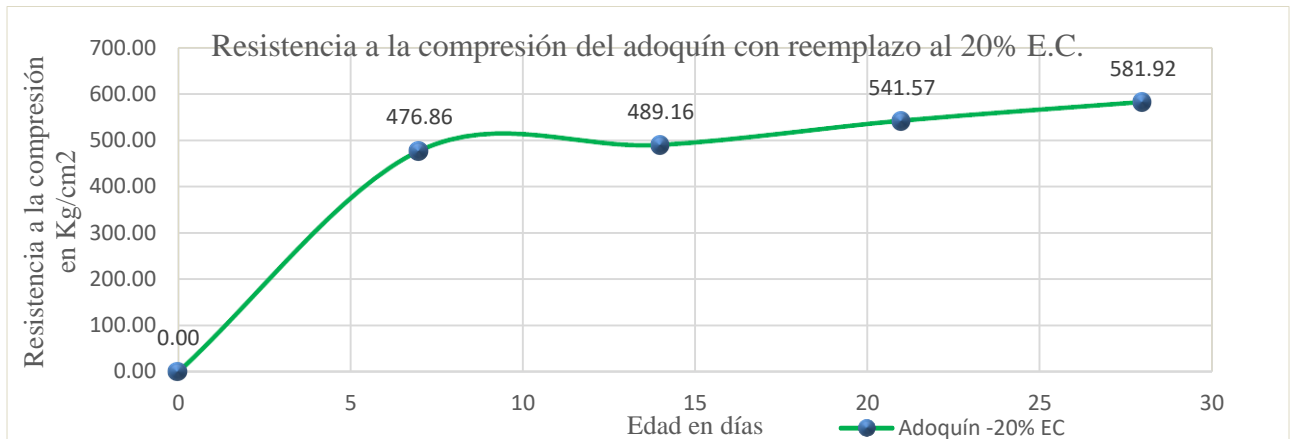


Fuente: Elaboración propia

En la figura N° 39 se observa la evolución de la resistencia a la compresión del adoquín con reemplazo de escoria de cobre al 10% del agregado fino a los 7 días, 14 días, 21 días y 28 días.

Figura 42.

Evolución de la resistencia a compresión del adoquín con reemplazo al 20% de E.C.

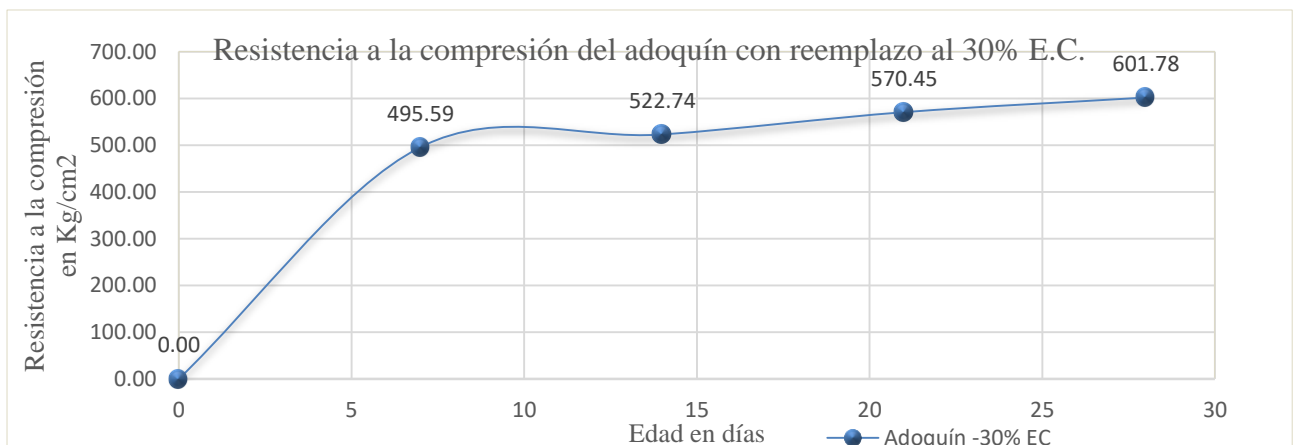


Fuente: Elaboración propia

En la figura N° 40 se observa la evolución de la resistencia a la compresión del adoquín con reemplazo de escoria de cobre al 20% del agregado fino a los 7 días, 14 días, 21 días y 28 días.

Figura 43.

Evolución de la resistencia a compresión del adoquín con reemplazo al 30% de E.C.

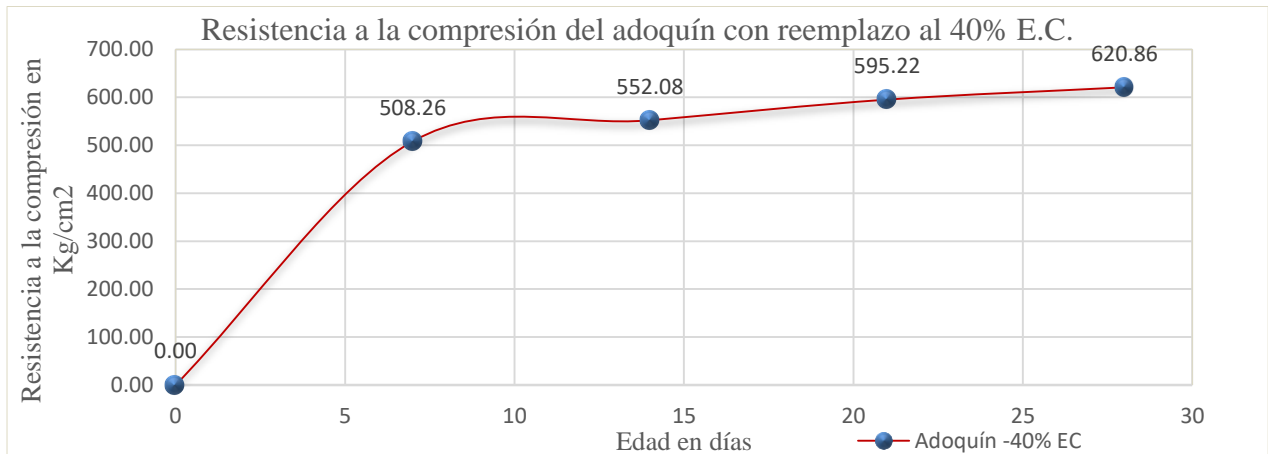


Fuente: Elaboración propia

En la figura N° 41 se observa la evolución de la resistencia a la compresión del adoquín con reemplazo de escoria de cobre al 30% del agregado fino a los 7 días, 14 días, 21 días y 28 días.

Figura 44.

Evolución de la resistencia a compresión del adoquín con reemplazo al 40% de E.C.

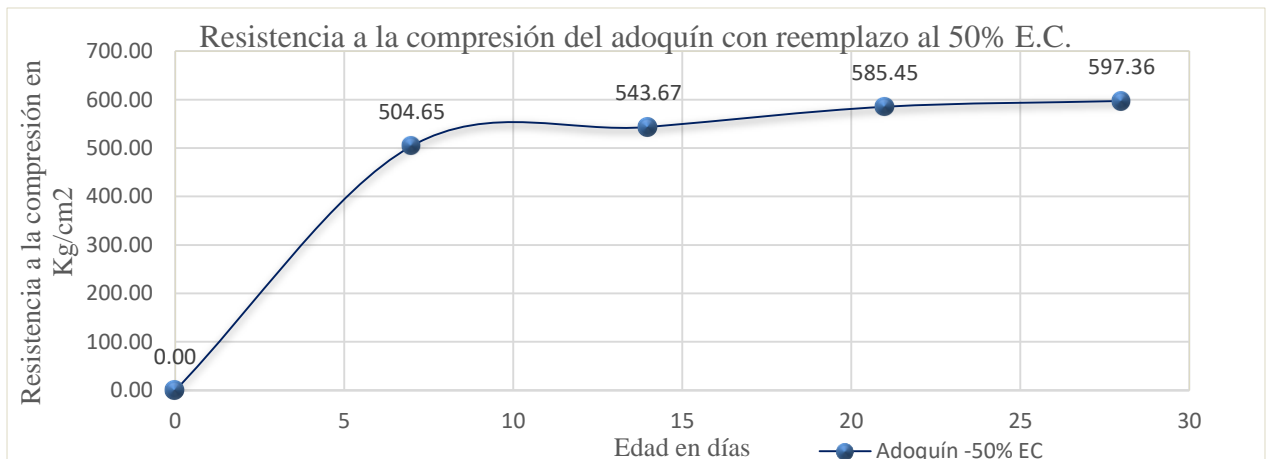


Fuente: Elaboración propia

En la figura N° 42 se observa la evolución de la resistencia a la compresión del adoquín con reemplazo de escoria de cobre al 40% del agregado fino a los 7 días, 14 días, 21 días y 28 días.

Figura 45.

Evolución de la resistencia a compresión del adoquín con reemplazo al 50% de E.C.

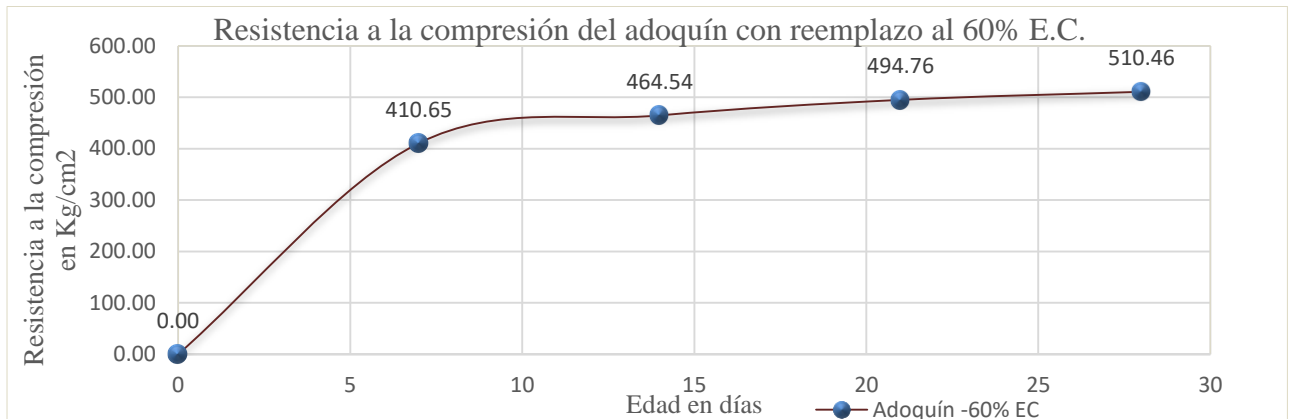


Fuente: Elaboración propia

En la figura N° 43 se observa la evolución de la resistencia a la compresión del adoquín con reemplazo de escoria de cobre al 50% del agregado fino a los 7 días, 14 días, 21 días y 28 días.

Figura 46.

Evolución de la resistencia a compresión del adoquín con reemplazo al 60% de E.C.

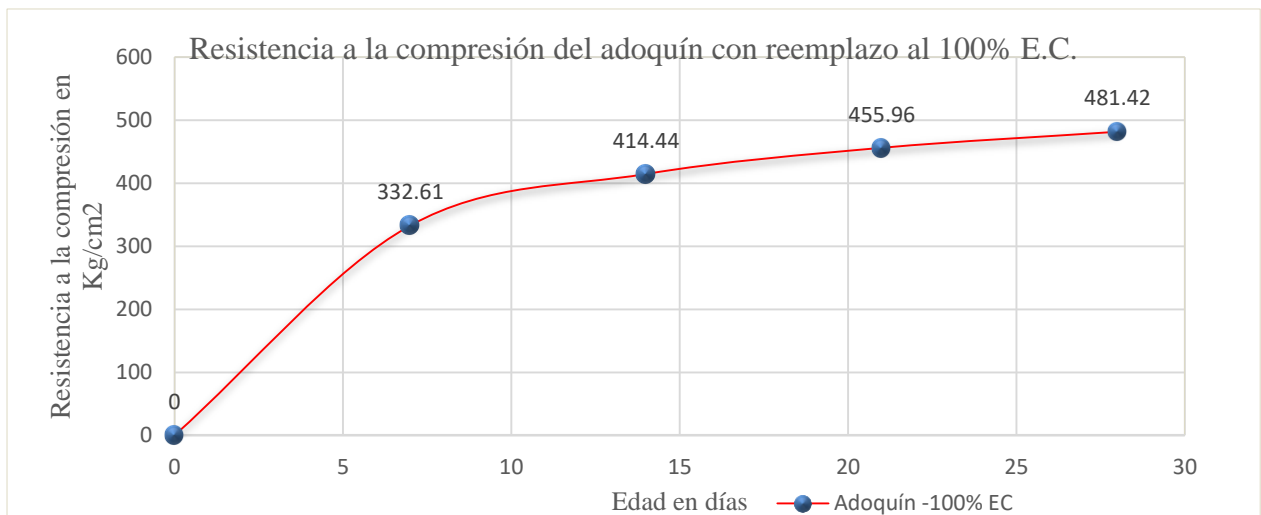


Fuente: Elaboración propia

En la figura N° 44 se observa la evolución de la resistencia a la compresión del adoquín con reemplazo de escoria de cobre al 60% del agregado fino a los 7 días, 14 días, 21 días y 28 días.

Figura 47.

Evolución de la resistencia a compresión del adoquín con reemplazo al 100% de E.C.

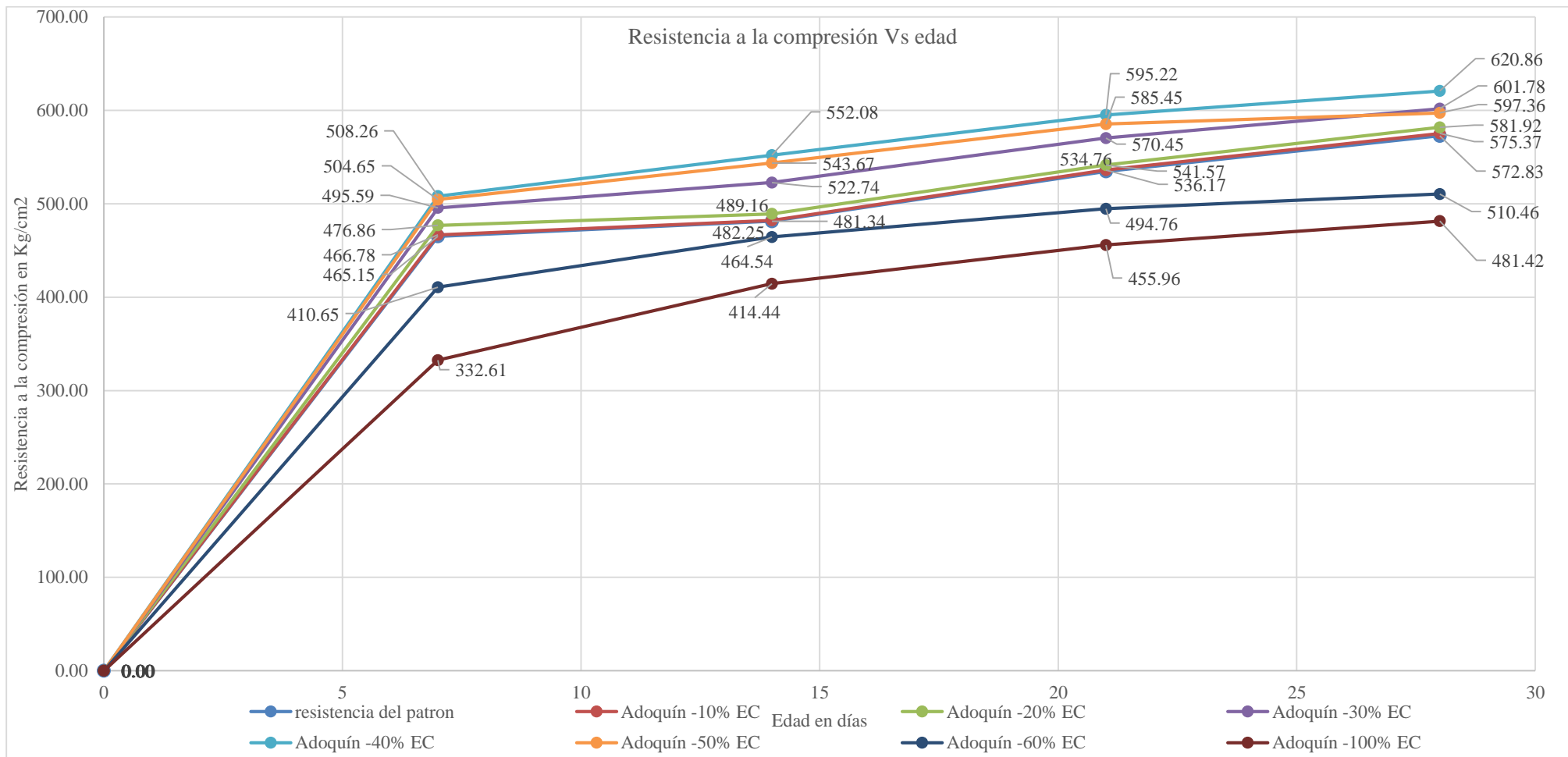


Fuente: Elaboración propia

En la figura N° 45 se observa la evolución de la resistencia a la compresión del adoquín con reemplazo de escoria de cobre al 100% del agregado fino a los 7 días, 14 días, 21 días y 28 días.

Figura 48.

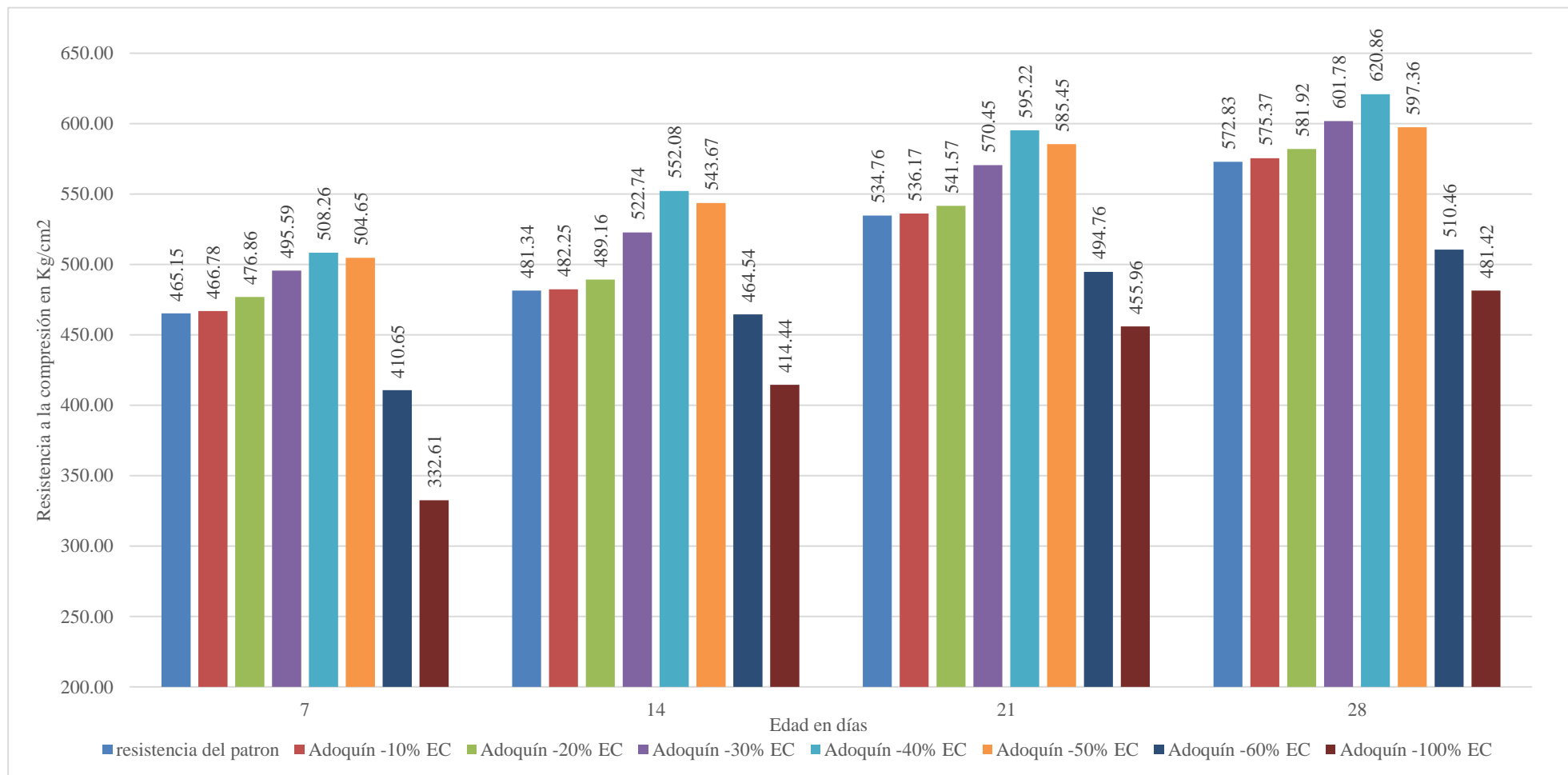
Resumen de la evolución de la resistencia a compresión del adoquín con diferentes % de reemplazo de escoria de cobre.



Fuente: Elaboración propia

Figura 49.

Gráfico de barras de las resistencias a compresión de los adoquines con diferentes % de reemplazo de escoria de cobre a los 7,14,21 y 28 días



Fuente: Elaboración propia

En la figura N° 46 se muestra, el resumen de las evoluciones de las resistencias a la compresión de los adoquines, en donde se observa que el reemplazo de la escoria de cobre al 40% por el agregado fino tiene una resistencia mayor respecto al resto, ya que a los 28 días de edad la resistencia a la compresión fue de 620.86 Kg/cm², el aumento de la resistencia a la compresión respecto al adoquín patrón fue de 8.39% a la edad de 28 días.

Asimismo, en la figura N° 46 se observa que al reemplazar el 100% de la escoria de cobre por el agregado fino, la resistencia fue de 481 Kg/cm² disminuyendo su resistencia significativamente (15.96%) respecto al adoquín patrón que tuvo una resistencia a la compresión de 572.83 Kg/cm² a los 28 días de edad.

En figura N° 47 se muestra un gráfico de barras de las resistencias a compresión de los adoquines con diferentes porcentajes (%) de reemplazo de escoria de cobre a los 7,14,21 y 28 días. Las resistencias a la compresión de los adoquines se incrementan de manera progresiva a medida que se reemplaza la escoria de cobre hasta un 40% y a partir del reemplazo del 50% hasta el 100% de escoria de cobre, la resistencia a la compresión disminuye significativamente, llegando a valores menores a la resistencia del adoquín patrón.

4.2.3. Evaluación de costos de producción de adoquines

Se realiza en análisis de costo unitario para la elaboración de adoquines para el tránsito ligero en la ciudad de Ayacucho, adoquines con agregados convencionales (patrón), al 10%, 20%, 30%, 40%, 50%, 60 % y 100% de reemplazo de la escoria de cobre por el agregado fino, considerándose que ya se cuenta con equipos, estructura respectiva para la elaboración de los adoquines.

Rendimiento: con el molde de la adoquinera se elabora 12 adoquines por tanda, cada tanda se realiza en un tiempo de 4 minutos, elaborándose 3 adoquines por minuto, en 8 horas (480 min) de jornada se producirá 1440 adoquines.

Cuadrilla: Para producir la mezcla se requiere, un peón para verter la grava a la mezcladora, 1 peón para verter el agregado fino a la mezcladora y 1 peón para verter el cemento y agua a la mezcladora. Para elaborar los adoquines se requiere 1 operador del equipo bloquetera con su respectivo ayudante (1 peón)

Costo de hora hombre (h.h.): El análisis se realizó según el régimen laboral de construcción civil del Perú del 01/06/2021 al 31/05/2022, de donde el costo del operario (h.h): S/ 23.79, y del peón (h.h): S/ 16.83 y los precios de los materiales son puesto en obra.

4.2.3.1. Evaluación de costo de producción del adoquín sin y con escoria de cobre

Tabla 52.

Análisis de costo unitario del adoquín sin escoria de cobre (patrón)

Jornada: Descripción Recurso	8 horas/día Unidad	Cuadrilla	Cantidad	rendimiento: Precio S/	1440 Und/Día Parcial S/
Mano de Obra					
Peón	hh	4.00	0.02222	16.83	0.374
Operador de equipo bloquetera	hh	1.00	0.00556	23.79	0.132
Materiales					
Grava	m3		0.00057	60.00	0.034
Arena gruesa	m3		0.00110	60.00	0.066
Cemento portland (42.5 kg)	bol		0.02100	26.00	0.546
Agua	m3		0.00031	4.50	0.001
Equipos					
Herramientas manuales	%mo		3.00000	0.51	0.015
Mezcladora de concreto	hm	1.00	0.00556	10.00	0.056
Maquina bloquetera americana	hm	1.00	0.00556	18.75	0.104
Costo unitario para un adoquín (S/):					1.329

Nota: Fuente, elaboración propia

Tabla 53.

Análisis de costo unitario del adoquín con reemplazo de escoria de cobre al 10%

Jornada: Descripción Recurso	8 horas/día Unidad	Cuadrilla	Cantidad	rendimiento: Precio S/	1440 Und/Día Parcial S/
Mano de Obra					
Peón	hh	4.00	0.02222	16.83	0.374
Operador de equipo bloquetera	hh	1.00	0.00556	23.79	0.132
Materiales					
Grava	m3		0.00057	60.00	0.034
Arena gruesa	m3		0.00102	60.00	0.061
Escoria de cobre	kg		0.18887	0.20	0.038
Cemento portland (42.5 kg)	bol		0.02100	26.00	0.546
Agua	m3		0.00031	4.50	0.001
Equipos					
Herramientas manuales	%mo		3.00000	0.51	0.015
Mezcladora de concreto	hm	1.00	0.00556	10.00	0.056
Maquina bloquetera americana	hm	1.00	0.00556	18.75	0.104
Costo unitario para un adoquín (S/):					1.362

Nota: Fuente, elaboración propia

Tabla 54.*Análisis de costo unitario del adoquín con reemplazo de escoria de cobre al 20%*

Jornada: Descripción Recurso	8 horas/día Unidad	Cuadrilla	Cantidad	rendimiento: Precio S/	1440 Und/Día Parcial S/
Mano de Obra					
Peón	hh	4.00	0.02222	16.83	0.374
Operador de equipo bloquetera	hh	1.00	0.00556	23.79	0.132
Materiales					
Grava	m3		0.00057	60.00	0.034
Arena gruesa	m3		0.00091	60.00	0.055
Escoria de cobre	kg		0.37773	0.20	0.076
Cemento portland (42.5 kg)	bol		0.02100	26.00	0.546
Agua	m3		0.00031	4.50	0.001
Equipos					
Herramientas manuales	%mo		3.00000	0.51	0.015
Mezcladora de concreto	hm	1.00	0.00556	10.00	0.056
Maquina bloquetera americana	hm	1.00	0.00556	18.75	0.104
Costo unitario para un adoquín (S/):					1.393

Nota: Fuente, elaboración propia**Tabla 55.***Análisis de costo unitario del adoquín con reemplazo de escoria de cobre al 30%*

Jornada: Descripción Recurso	8 horas/día Unidad	Cuadrilla	Cantidad	rendimiento: Precio S/	1440 Und/Día Parcial S/
Mano de Obra					
Peón	hh	4.00	0.02222	16.83	0.374
Operador de equipo bloquetera	hh	1.00	0.00556	23.79	0.132
Materiales					
Grava	m3		0.00057	60.00	0.034
Arena gruesa	m3		0.00080	60.00	0.048
Escoria de cobre	kg		0.56660	0.20	0.113
Cemento portland (42.5 kg)	bol		0.02100	26.00	0.546
Agua	m3		0.00031	4.50	0.001
Equipos					
Herramientas manuales	%mo		3.00000	0.51	0.015
Mezcladora de concreto	hm	1.00	0.00556	10.00	0.056
Maquina bloquetera americana	hm	1.00	0.00556	18.75	0.104
Costo unitario para un adoquín (S/):					1.424

Nota: Fuente, elaboración propia

Tabla 56.*Análisis de costo unitario del adoquín con reemplazo de escoria de cobre al 40%*

Jornada:	8 horas/día			rendimiento: 1440 Und/Día	
Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/	Parcial S/
Mano de Obra					
Peón	hh	4.00	0.02222	16.83	0.374
Operador de equipo bloquetera	hh	1.00	0.00556	23.79	0.132
Materiales					
Grava	m3		0.00057	60.00	0.034
Arena gruesa	m3		0.00068	60.00	0.041
Escoria de cobre	kg		0.75546	0.20	0.151
Cemento portland (42.5 kg)	bol		0.02100	26.00	0.546
Agua	m3		0.00031	4.50	0.001
Equipos					
Herramientas manuales	%mo		3.00000	0.51	0.015
Mezcladora de concreto	hm	1.00	0.00556	10.00	0.056
Maquina bloquetera americana	hm	1.00	0.00556	18.75	0.104
Costo unitario para un adoquín (S/):					1.455

Nota: Fuente, elaboración propia**Tabla 57.***Análisis de costo unitario del adoquín con reemplazo de escoria de cobre al 50%*

Jornada:	8 horas/día			rendimiento: 1440 Und/Día	
Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/	Parcial S/
Mano de Obra					
Peón	hh	4.00	0.02222	16.83	0.374
Operador de equipo bloquetera	hh	1.00	0.00556	23.79	0.132
Materiales					
Grava	m3		0.00057	60.00	0.034
Arena gruesa	m3		0.00057	60.00	0.034
Escoria de cobre	kg		0.94433	0.20	0.189
Cemento portland (42.5 kg)	bol		0.02100	26.00	0.546
Agua	m3		0.00031	4.50	0.001
Equipos					
Herramientas manuales	%mo		3.00000	0.51	0.015
Mezcladora de concreto	hm	1.00	0.00556	10.00	0.056
Maquina bloquetera americana	hm	1.00	0.00556	18.75	0.104
Costo unitario para un adoquín (S/):					1.486

Nota: Fuente, elaboración propia

Tabla 58.*Análisis de costo unitario del adoquín con reemplazo de escoria de cobre al 60%*

Jornada:	8 horas/día			rendimiento: 1440 Und/Día	
Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/	Parcial S/
Mano de Obra					
Peón	hh	4.00	0.02222	16.83	0.374
Operador de equipo bloquetera	hh	1.00	0.00556	23.79	0.132
Materiales					
Grava	m3		0.00057	60.00	0.034
Arena gruesa	m3		0.00046	60.00	0.027
Escoria de cobre	kg		1.13319	0.20	0.227
Cemento portland (42.5 kg)	bol		0.02100	26.00	0.546
Agua	m3		0.00031	4.50	0.001
Equipos					
Herramientas manuales	%mo		3.00000	0.51	0.015
Mezcladora de concreto	hm	1.00	0.00556	10.00	0.056
Maquina bloquetera americana	hm	1.00	0.00556	18.75	0.104
Costo unitario para un adoquín (S/):					1.517

Nota: Fuente, elaboración propia**Tabla 59.***Análisis de costo unitario del adoquín con reemplazo de escoria de cobre al 100%*

Jornada:	8 horas/día			rendimiento: 1440 Und/Día	
Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/	Parcial S/
Mano de Obra					
Peón	hh	4.00	0.02222	16.83	0.374
Operador de equipo bloquetera	hh	1.00	0.00556	23.79	0.132
Materiales					
Grava	m3		0.00057	60.00	0.034
Arena gruesa	m3		0.00000	60.00	0.000
Escoria de cobre	kg		1.88865	0.20	0.378
Cemento portland (42.5 kg)	bol		0.02100	26.00	0.546
Agua	m3		0.00031	4.50	0.001
Equipos					
Herramientas manuales	%mo		3.00000	0.51	0.015
Mezcladora de concreto	hm	1.00	0.00556	10.00	0.056
Maquina bloquetera americana	hm	1.00	0.00556	18.75	0.104
Costo unitario para un adoquín (S/):					1.640

Nota: Fuente, elaboración propia

Tabla 60.

Resultado de costo de producción de adoquines para el tránsito ligero

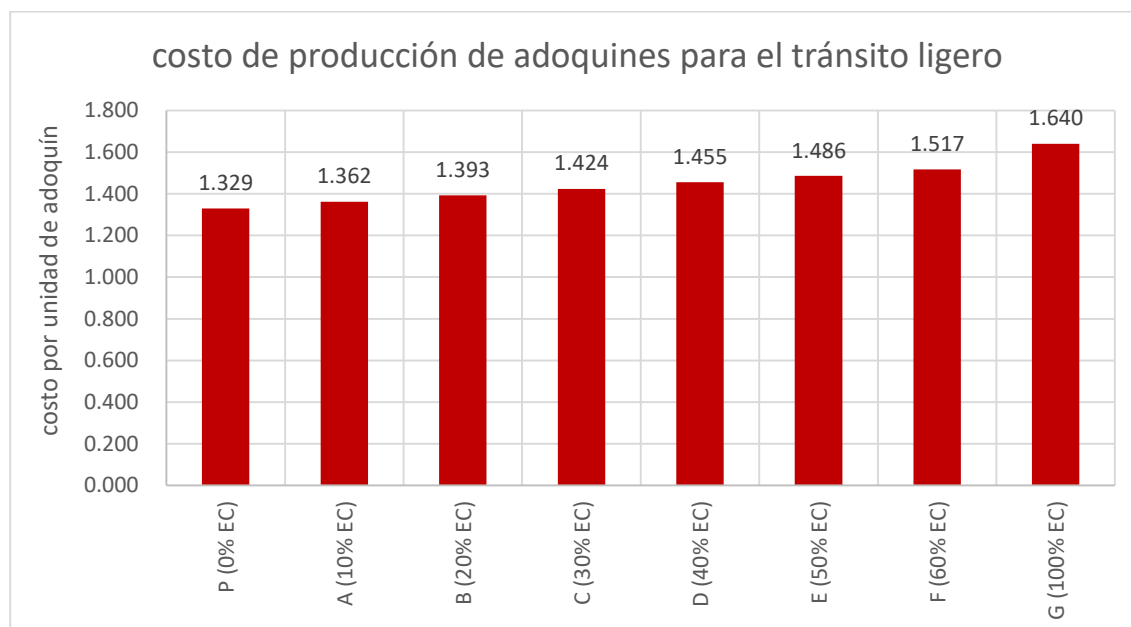
Costo de producción de adoquines para el tránsito ligero			
Grupo	Descripción	Por unidad (S/)	Por millar (S/)
P	patrón - 0% de escoria de cobre	1.329	1328.67
A	10% de escoria de cobre	1.362	1361.88
B	20% de escoria de cobre	1.393	1392.83
C	30% de escoria de cobre	1.424	1423.77
D	40% de escoria de cobre	1.455	1454.72
E	50% de escoria de cobre	1.486	1485.67
F	60% de escoria de cobre	1.517	1516.61
G	100 % de escoria de cobre	1.640	1640.40

Nota: Fuente, elaboración propia

La Tabla 60 muestra los costos de producción por unidad y por millar de los adoquines para el tránsito ligero con y sin reemplazo de escoria de cobre (Grupo patrón P) y de los adoquines con reemplazo al 10%, 20%, 30%, 40%, 50%, 60% y 100% de escoria de cobre (Grupos A, B, C, D, E, y G respectivamente).

Figura 50.

Evolución del costo al incrementar el porcentaje de reemplazo de la escoria de cobre



Fuente: Elaboración propia

La Figura 48 muestra la evolución del costo por unidad de adoquín, a medida que se incrementa el reemplazo de la escoria de cobre por el agregado fino, el costo se incrementa proporcionalmente.

Tabla 61.

Variación de costo respecto al adoquín patrón en porcentaje (%)

Grupo	Descripción	Variación de costo en porcentaje (%) respecto al adoquín patrón		
		Por unidad (S/)	variación (S/)	variación (%)
P (0% EC)	patrón - 0% de escoria de cobre	1.329	0.000	0.00%
A (10% EC)	10% de escoria de cobre	1.362	0.033	2.50%
B (20% EC)	20% de escoria de cobre	1.393	0.064	4.83%
C (30% EC)	30% de escoria de cobre	1.424	0.095	7.16%
D (40% EC)	40% de escoria de cobre	1.455	0.126	9.49%
E (50% EC)	50% de escoria de cobre	1.486	0.157	11.82%
F (60% EC)	60% de escoria de cobre	1.517	0.188	14.15%
G (100% EC)	100 % de escoria de cobre	1.640	0.312	23.46%

Nota: Fuente, elaboración propia

La tabla N° 61 muestra que los grupos A, B, C, D, E, F y G (adoquines con reemplazo de escoria de cobre por el agregado fino al 10%, 20%, 30%, 40%, 50%, 60% y 100% respectivamente) presentan mayor costo de producción respecto al adoquín patrón. La muestra D (40% E.C.) que tiene una resistencia a la compresión mayor al resto, es 9.49 % más costoso que producir adoquines con materiales convencionales (adoquín patrón).

En términos ambientales, se puede ver que es ventajoso reemplazar la escoria de cobre por el agregado fino; así la contaminación ambiental se puede evitar mediante la producción de adoquines de tránsito ligero.

V. Conclusiones

En este capítulo se describen las conclusiones logradas de la investigación realizada y las contribuciones al desarrollo de la investigación. Además, se proponen futuras líneas de investigación que podrían complementar este trabajo de investigación sobre adoquines para el tránsito ligero.

5.1. Conclusiones de la investigación

Después de obtener los resultados con respecto a la elaboración de adoquines para el tránsito ligero, utilizando materiales convencionales y luego de haber realizado pruebas de laboratorio para evaluar el efecto de la escoria de cobre en la producción de adoquines

Se concluye que:

1. Los adoquines para el tránsito ligero con reemplazo de la escoria de cobre por el agregado fino al 10%, 20%, 30%, 40%, 50%, 60 % y 100% en su mayoría inciden significativamente en las propiedades físico mecánicas de adoquines vibro compactadas, para el tránsito ligero en la ciudad de Ayacucho.
2. La cantidad de escoria de cobre no incide significativamente en la **variación dimensional** ; la cantidad de escoria de cobre incide significativamente en la **absorción** para la muestra G(100%) y no incide significativamente en la absorción de las muestras A(10%), B(20%), C(30%), D(40%), E(50%) y F(60%); La cantidad de escoria de cobre incide significativamente en la **densidad** en las muestras D(40%), E(50%), F(60%) y F(100%) y no incide significativamente en la densidad de las muestras A(10%), B(20%) y C(30%), en los adoquines vibro compactadas, para el tránsito ligero en la ciudad de Ayacucho.
3. La cantidad escoria de cobre incide significativamente en la **resistencia a la compresión** en las muestras C(30%), D(40%), E(50%), F(60%) y G(100%) y no incide significativamente en las muestras A(10%) y B(20%), en los adoquines vibro compactadas para el tránsito ligero, en la ciudad de Ayacucho.
4. La cantidad de escoria de cobre, incide significativamente en el **costo de producción** de adoquines vibro compactadas, para el tránsito ligero en la ciudad de Ayacucho.

VI. Recomendaciones

- Completar la investigación, evaluando las propiedades físico mecánicas de los adoquines para el tránsito ligero, superiores a los 90 días, dado por su comportamiento como agregado fino y su capacidad puzolánica de la escoria de cobre.
- Recomendar al comité técnico de normalización establezca las normas legales para el uso de la escoria de fundición de cobre para la elaboración de adoquines para el tránsito ligero.
- Se recomienda usar la escoria de cobre en muros de sostenimiento; como en muros de contención de gravedad o en voladizo; por su peso específico considerable.
- Para el proceso de elaboración se recomienda contar con trabajadores calificados para la optimización del tiempo.
- Se recomienda un tiempo de vibro compactado del adoquín de $T=40$ segundos en la máquina bloquera.

Trabajos futuros

- Evaluar la escoria de cobre en la elaboración de adoquines para el tránsito vehicular pesado y peatonal.
- Evaluar el reemplazo de la escoria de fundición cobre por el cemento en diferentes proporciones para la elaboración de adoquines.

VII. Referencias bibliográficas

- Abanto, F. (2009). Tecnología del Concreto (Teoría y problemas). In *Editorial San Marcos E.I.R.L.* (2da Ed). <https://es.scribd.com/doc/306087568/Tecnologia-Del-Concreto-Flavio-Abanto>
- Alcalá, C. (2020, February 24). Menos del 20% del cobre peruano se refina en el país | Minem | Economía | La República. *La República*. <https://larepublica.pe/economia/2020/02/24/mineria-cobre-peruano-se-procesa-el-minimo-de-lo-extraido-minem/?ref=lre>
- Ampérez, N. (2019). *Elaboración de adoquines de concreto, utilizando como agregado fino arena cuarzo-feldespática* [Tesis de Grado, para obtener el grado de Ingeniero Civil por la Universidad de San Carlos de Guatemala]. <http://www.repositorio.usac.edu.gt/13919/1/Nester+Giovani+Ampérez+Solíz.pdf>
- Arias, F. (2012). El Proyecto De Investigación. In *Editorial Episteme* (6 Edición, Issue July 2012). <https://doi.org/10.29327/527957>
- Asadoorian, M., & Kantarelis, D. (2008). *Essentials of inferential statistics*. University Press of America. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511755392>
- Baldoceda, J., & Vega, D. (2017). *Diseño de concreto de alta densidad reforzado con escoria de cobre para atenuar la transmisión de la radiación*. [Tesis de Grado, para Obtener el grado de Ingeniero Civil por la Universidad Ricardo Palma, Lima, Perú]. <http://repositorio.urp.edu.pe/handle/URP/2784>
- Balvín, D. (1995). Agua, minería y contaminación. El caso Southern Perú. In *Ediciones Labor* (1 Edición). <http://www.labor.org.pe/wp-content/uploads/2014/10/AGUA-MINERIA-Y-CONTAMINACION-EL-CASO-SOUTHERN-PERU-2018.pdf>
- Barrantes, J., & Holguin, R. (2015). *Influencia del porcentaje de reemplazo de ceniza volante por cemento, sobre la resistencia a la compresión y absorción en la fabricación de adoquines de tránsito liviano*. [Tesis de grado, para obtener el grado de Ingeniero de Materiales por la Universidad Nacional de Trujillo]. <https://dspace.unitru.edu.pe/handle/UNITRU/2550>
- Borja, M. (2016). Metodología de la Investigación Científica para ingeniería Civil. *Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo*, [cited 2021 Apr 14]. https://www.academia.edu/33692697/Metodología_de_Investigación_Científica_para_ingeniería_Civil
- Carrasco, P. (2017). *Propuesta de reciclaje de la escoria de cobre de la fundición Ventanas de Codelco, para mitigar el impacto ambiental* [Trabajo de Titulación para optar al Título de Técnico Universitario en MINERÍA Y METALURGÍA, Universidad Técnica Federico Santa María Sede Viña del Mar - José Miguel Carrera]. <https://repositorio.usm.cl/handle/11673/39971>
- CE.010. (2010). *Pavimento Urbano*. Instituto de la Construcción y Gerencia (ICG). www.construccion.org/icg@icgmail.org
- Cendoya, P. (2009). Efecto en la resistencia de las escorias de fundición de cobre como agregado fino en el comportamiento resistente del hormigón. *Ingeniare. Revista Chilena de Ingeniería*, 17(1), 85–94. <https://doi.org/10.4067/S0718-33052009000100009>
- Consamollo, V. (2019). *Residuos de concreto de construcción para fabricación de adoquines en pavimentos, san isidro - lima* [Tesis de Grado, Para optar el título de ingeniero civil por la Universidad Peruana los Andes- Lima-Perú]. https://repositorio.upla.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12848/1282/T037_08597037_T.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Cruz, M. (2014). *Estudio de la resistencia y reología de hormigones con adición de escorias*

- de cobre como sustituto del árido fino* [Tesis doctoral, para Obtener el grado de doctor como Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos por la Universidad de Málaga, España]. <https://riuma.uma.es/xmlui/handle/10630/8264>
- Cuba, R., & Humpire, R. (2019). *Análisis comparativo de las propiedades mecánicas para un concreto $f'c = 210 \text{ Kg/cm}^2$ y $f'c = 280 \text{ Kg/cm}^2$ usando cemento Yura Tipo IP y cemento Wari Tipo IP, Con la adición de Escoria de Cobre de la minera Southern Perú, para la ciudad de Arequipa* [Tesis de Grado, Para optar el Título Profesional de Ingeniero Civil por la Universidad Católica de Santa María -Arequipa-Perú]. <http://tesis.ucsm.edu.pe/repositorio/handle/UCSM/9087>
- Días, A. (2021, May 31). Países líderes en la producción de cobre a nivel mundial 2020. *Statista*. <https://es.statista.com/estadisticas/635359/paises-lideres-en-la-produccion-de-cobre-a-nivel-mundial/>
- Echaveguren, T. (2013). *Manual de diseño de pavimentos de adoquines de hormigón*. Instituto Del Cemento y Del Hormigón de Chile (ICH). https://issuu.com/ich_mkt/docs/manual_diseno_de_pavimentos_de_adoq
- Egúsquiza, P. (2010, July 31). *Fundición de Cobre de Ilo*. INFRAESTRUCTURA PERUANA. <http://infraestructuraperuana.blogspot.com/2009/06/fundicion-de-cobre-de-ilo.html>
- Glosario Minería. (2013, December 28). *Fundente (Minería)*. Glosario Minería; glosarios@servidor-alicante.com. <https://glosarios.servidor-alicante.com/mineria/fundente>
- Google Earth. (2020, April 12). *Complejo Metalúrgico de la Oroya*. Google Earth. <https://earth.google.com/web/search/La+Oroya/@-11.52355592,-75.8979448,3710.17482792a,1416.74253509d,35y,158.41077428h,42.71807188t,-0r/data=CigiJgokCcDdP88RCyPAEd5frwq4VCnAGZ-3Aac50ILAIQ4ZXBxIsFPA>
- Google Earth. (2021). *Fundición de Cobre de Ilo*. Google Earth. <https://earth.google.com/web/@-17.49515309,-71.36044679,50.68624811a,1743.26419748d,35y,92.74587407h,26.66416799t,0r>
- Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, P. (2014). *Metodología de la investigación* (6th ed.). Mc Graw Hill Education. <http://observatorio.epacartagena.gov.co/wp-content/uploads/2017/08/metodologia-de-la-investigacion-sexta-edicion.compressed.pdf>
- Herrera, L., & Zenteno, C. (2018). *Utilización de escoria de cobre en reemplazo a la arena para ladrillos de hormigón* [Tesis de Grado, para optar el título de técnico universitario en Minería y Metalurgia por la Universidad Técnica Federico Santa María sede Viña del Mar - José Miguel Carrera - Chile]. <https://repositorio.usm.cl/handle/11673/44913>
- INACAL. (2013). Agregados. Método de ensayo normalizado para la densidad, densidad relativa (Peso específico) y absorción del agregado fino, NTP.400.022. In *Norma Técnica Peruana*. <https://www.studocu.com/pe/document/universidad-privada-del-norte/ingenieria/372901324-ntp-400-012-2013-pdf/5739579>
- INACAL. (2016). *Agregados. Extracción Y Preparación De Muestras, Ntp 400.010*. (Lima 27). <https://es.scribd.com/document/372901333/NTP-400-010-2011-revisada-2016-pdf>
- INACAL. (2017). *Unidades de albañilería. Adoquines de concreto para pavimentos, (NTP399.611)*. <https://es.scribd.com/document/466454252/NTP-399-611-2017>
- INACAL. (2018). *AGREGADOS. Análisis granulométrico del agregado fino, grueso y global, Norma Técnica Peruana (NTP 400.012)*. <https://es.scribd.com/document/405322425/26423-400-012>
- INDECOPI. (2002). *Unidades de albañilería. Método de muestreo y ensayo de unidades de albañilería de concreto, (NTP399.604)*. <https://1library.co/document/y4k2gx5q-norma-tecnica-peruana-ntp-399-604-2002.html>
- León, A., & Pérez, C. (2019). *Análisis Estadístico En Investigaciones Positivistas: Medidas De*

- Tendencia Central. *Scientific E-Journal of Human Sciences*, 43, 50–60. www.revistaorbis.org.ve/núm43
- Lopez, M., & Pinedo, M. (2015). *Mejoramiento de las características físico mecánicas de adoquines de cemento para pavimentación, adicionando escoria de horno eléctrico en su proceso de fabricación - nuevo Chimbote - 2015* [Tesis de Grado, para optar el título profesional de Ingeniero Civil, por la Universidad Nacional del Santa]. <http://repositorio.uns.edu.pe/bitstream/handle/UNS/2557/23177.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Lovera, D., Arias, V., & Coronado, R. (2004). La Valoración De Las Escorias Metalúrgicas Como Recursos Industriales. *Revista Del Instituto de Investigación de La Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica*, 7(13), 26–30. <https://doi.org/10.15381/iigeo.v7i13.513>
- Miranda, M., Arias, J., & Villasís, M. (2016). El protocolo de investigación III: la población de estudio. In *Revista Alergia Mexico* (Vol. 63, Issue 2, pp. 201–206). <https://doi.org/10.29262/ram.v63i2.181>
- Montiel, J. (2017). *Uso de agregados reciclados para la fabricación de adoquines que se pueden utilizar en la pavimentación de calles avenidas y pasos peatonales* [Universidad Nacional Autónoma de México]. <http://132.248.9.195/ptd2017/junio/0759889/0759889.pdf>
- Nazer, A. (2016). *Caracterización y determinación de las propiedades cementantes de escorias de cobre del siglo XIX de la Región de Atacama, Chile para su uso en construcción* [Tesis Doctoral, para la obtención del Grado de Doctor por la Universidad Politécnica de Valencia]. <https://doi.org/10.4995/THESIS/10251/67691>
- Nazer, A., Pavez, O., Rojas, F., & Aguilar, C. (2010). Una revisión de los usos de las escorias de cobre. *IBEROMET XI X CONAMET/SAM*, 1, 12–14. <https://doi.org/10.13140/2.1.3740.0328>
- NS Energy. (2021, May 20). Perfiles de los cinco principales países mineros de cobre del mundo en 2020. *NS ENERGY*. <https://www.nsenergybusiness.com/news/top-five-copper-mining-countries/>
- Nueva Minera. (2020, March). Demanda mundial de cobre por energías renovables podría más que triplicarse a 2040 - World Energy Trade. *Nueva Minera y Energía*. <https://www.worldenergytrade.com/finanzas-energia/economia/demanda-mundial-de-cobre-por-energias-renovables-podria-mas-que-triplicarse-a-2040>
- Orizola, S. (2006). *Uso de Escoria de Cobre en Cementos* [Tesis de Grado, Para optar el título de Ingeniero Civil por la Universidad de Chile - Santiago de Chile]. <https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/104451>
- Oyarzun, I. (2013). *Influencia de las escorias de cobre en la fabricación de hormigón* [Tesis de Grado, para la obtención del grado de Ingeniero Civil en Obras Civiles por la Universidad Austral de Chile]. <http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2013/bmficio.97i/doc/bmficio.97i.pdf>
- Paucar, C. (2019). *Mejoramiento de Adoquines Con Fibras De Plástico (Pet) Reciclado Aplicado al Tránsito Pesado en la Ciudad de Ayacucho* [Tesis de grado, para Obtener el grado de Ingeniero Civil por la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga]. Repositorio UNSCH
- Pavitex. (2021). *Las Ventajas de los Adoquines de Concreto - pavitex.cl*. PAVITEX (Pavimento Texturado Decorativo). <https://pavitex.cl/las-ventajas-los-adoquines-concreto/>
- Quispe, F., & Ortiz, M. (2020). *Análisis del Comportamiento del Concreto con la Inclusión de Escoria de Cobre Utilizando Agregado de las Canteras Icu y de Ilo y La Poderosa de Arequipa* [Tesis de Grado, para la obtención del grado de Ingeniero Civil por la Universidad Nacional De San Agustín De Arequipa].

- <http://repositorio.unsa.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12773/11535/ICqtafr%26maorma.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Ramírez, J., & Corcuera, V. (2014). *Diagnóstico de la calidad de suelo del área de influencia del Complejo Metalúrgico La Oroya (CMLO) - 2014* [Tesis de Grado, para obtener el grado de Ingeniero Ambiental, por la Universidad Nacional de Trujillo, Perú]. <http://dspace.unitru.edu.pe/handle/UNITRU/3269>
- Rendón, M., Villasís, M., & Guadalupe, M. (2016). Estadística descriptiva. *Revista Alergia México*, 63(4), 397–407. <http://www.revistaalergia.mx>
- ReporteMinero. (2019, February 15). Panorama: Visita Chuquicamata en vacaciones - Reporte Minero | El portal de minería en Chile. *Reporte Minero*. <https://www.reporteminero.cl/noticia/noticias/2019/02/panorama-visita-chuquicamata-en-vacaciones>
- Salinas, P. (1993). *Metodología de la Investigación Científica*. (p. 182). http://www.saber.ula.ve/bitstream/handle/123456789/34398/metodologia_investigacion.pdf;jsessionid=2E4CA8CC0E38C2F35355463850947D90?sequence=1
- Santander, N. (1979, July). Pirometalurgia del cobre. *Contribuciones Científicas y Tecnológicas, Universidad De Santiago de Chile*. <https://www.revistas.usach.cl/ojs/index.php/contribuciones/article/view/3016/2742>
- Supo, J. (2012). Seminarios de Investigación Científica Sinopsis del libro 2012. In *Seminarios de Investigación Científica* (p. 34). https://kupdf.net/queue/investigacion-cientifica-jos-eacute-sup0-pdf_58f42a6adc0d60c24cda983e_pdf?queue_id=-1&x=1639331180&z=MTkwLjIzNi4xOTUuNTM=
- Tejada, G., Sarmiento, Z., & Huisa, C. (2019). Sustitución de los Agregados por Escoria de Cobre en la Elaboración del Concreto. *Ciencia y Desarrollo*, 12, 67–70. <https://doi.org/10.33326/26176033.2008.12.254>
- Torres, J. (2000). Una estrategia de desarrollo basada en recursos naturales: análisis cluster del complejo de cobre de la Southern Perú. In *CEPAL (Publicación de las Naciones Unidas)*. https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/4671/1/S00020079_es.pdf
- Torres, S. (2021, May 3). Cerro Verde logró en ganancias US\$ 276.2 millones - Tiempo Minero. *Tiempo Minero*. <https://camiper.com/tiempominero-noticias-en-mineria-para-el-peru-y-el-mundo/cerro-verde-logro-en-ganancias-us276-2-millones/>
- USGS. (2021). *Commodity Summaries: Copper*. U.S Department OF The Interior, U.S Geological Survey. <https://pubs.usgs.gov/periodicals/mcs2021/mcs2021-copper.pdf>
- World Energy Trade. (2021, May). Los cinco principales países productores de cobre del mundo. *World Energy Trade*. <https://www.worldenergytrade.com/metales/cobre/los-cinco-principales-paises-mineros-de-cobre-del-mundo>

VIII. Anexos

Anexo A: Estudio del agregado grueso, fino y escoria de cobre

ANALISIS GRANULOMETRICO DEL AGREGADO GRUESO (MTC E 204 - 2016)

Proyecto : "DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICO MECÁNICAS DE ADOQUINES, VIBROCOMPACTADAS CON ESCORIA DE COBRE, PARA EL TRÁNSITO LIGERO EN LA CIUDAD DE AYACUCHO, 2021"

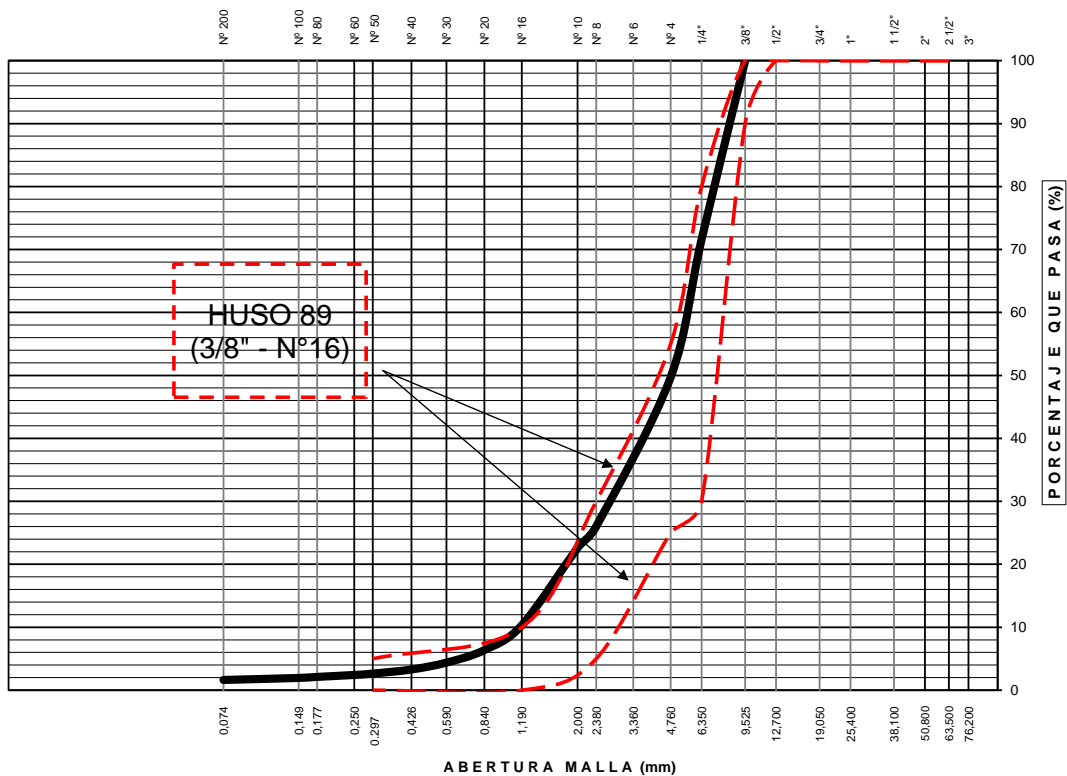
Solicitante : BACH. LUIS MIGUEL PABLO RAYMUDEZ
Cantera : CHILLICO
Material : GRAVA CHANCADA
Fecha : OCTUBRE DE 2021

Region : AYACUCHO
Provincia : HUAMANGA
Distrito : AYACUCHO
Lugar : AYACUCHO

TAMIZ ASTM	Abertura (mm)	PESO RETENIDO (gr)	% RETEN PARCIAL	% RETEN ACUMULADO	% QUE PASA	HUSO 89 (3/8" - N°16)	DATOS DEL ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO
------------	---------------	--------------------	-----------------	-------------------	------------	-----------------------	-----------------------------------

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO	TAMIZ ASTM	Abertura (mm)	PESO RETENIDO (gr)	% RETEN PARCIAL	% RETEN ACUMULADO	% QUE PASA	HUSO 89 (3/8" - N°16)	DATOS DEL ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO	
								PESOS (gr)	ENSAYOS ESTÁNDAR
	3"	76.200				100.00		Peso seco inicial	1348.10
	2 1/2"	63.500	-	-	-	100.00		Peso seco lavado	1326.50
	2"	50.800	-	-	-	100.00		Pérdida por lavado	21.6
	1 1/2"	38.100	-	-	-	100.00		ENSAYOS ESTÁNDAR	
	1"	25.400	-	-	-	100.00		% Grava	50.3
	3/4"	19.050	-	-	-	100.00	100 - 100	% Arena	48.1
	1/2"	12.700	-	-	-	100.00	90 - 100	% de Finos	1.63
	3/8"	9.525	-	-	-	100.00	30 - 80	D ₁₀ = D _{e(mm)} =	1.162
	1/4"	6.350	382.50	28.37	28.37	71.63	25 - 55	D _{30(mm)} =	2.545
	N° 4	4.760	295.40	21.91	50.29	49.71		D _{60(mm)} =	5.506
	N° 6	3.360			50.29	49.71	5 - 30	Cu =	4.74
	N° 8	2.380	319.40	23.69	73.98	26.02		Cc =	1.01
	N° 10	2.000	46.00	3.41	77.39	22.61	0 - 10	D _{15(mm)} =	1.499
	N° 16	1.190	165.80	12.30	89.69	10.31		D _{50(mm)} =	4.781
	N° 20	0.840	53.10	3.94	93.63	6.37		D _{85(mm)} =	7.846
	N° 30	0.590	26.80	1.99	95.62	4.38		Clasificación SUCS	GW
	N° 40	0.426	14.70	1.09	96.71	3.29		GRAVA BIEN GRABADA	
	N° 50	0.297	8.80	0.65	97.36	2.64	0 - 5	Tamaño Maximo	3/8"
	N° 60	0.250	2.90	0.22	97.57	2.43		Tamaño Maximo Nominal	1/4"
	N° 80	0.177	4.20	0.31	97.89	2.11		Gravedad especifica	2.72
	N° 100	0.149	2.20	0.16	98.05	1.95		Módulo de Fineza	5.05
	N° 200	0.074	4.30	0.32	98.37	1.63		Superficie especifica (cm ² /gr)	15.65
	Fondo		0.4	0.03	98.40	1.60			
	Lavado		21.6	1.60	100.00	-			
TOTAL			1348.1	100.0					

CURVA GRANULOMÉTRICA



LIMO Y ARCILLA	GRAVA			GRAVA		BOLEOS/ LOQUES
	FINA	MEDIA	GRUESA	FINA	GRUESA	

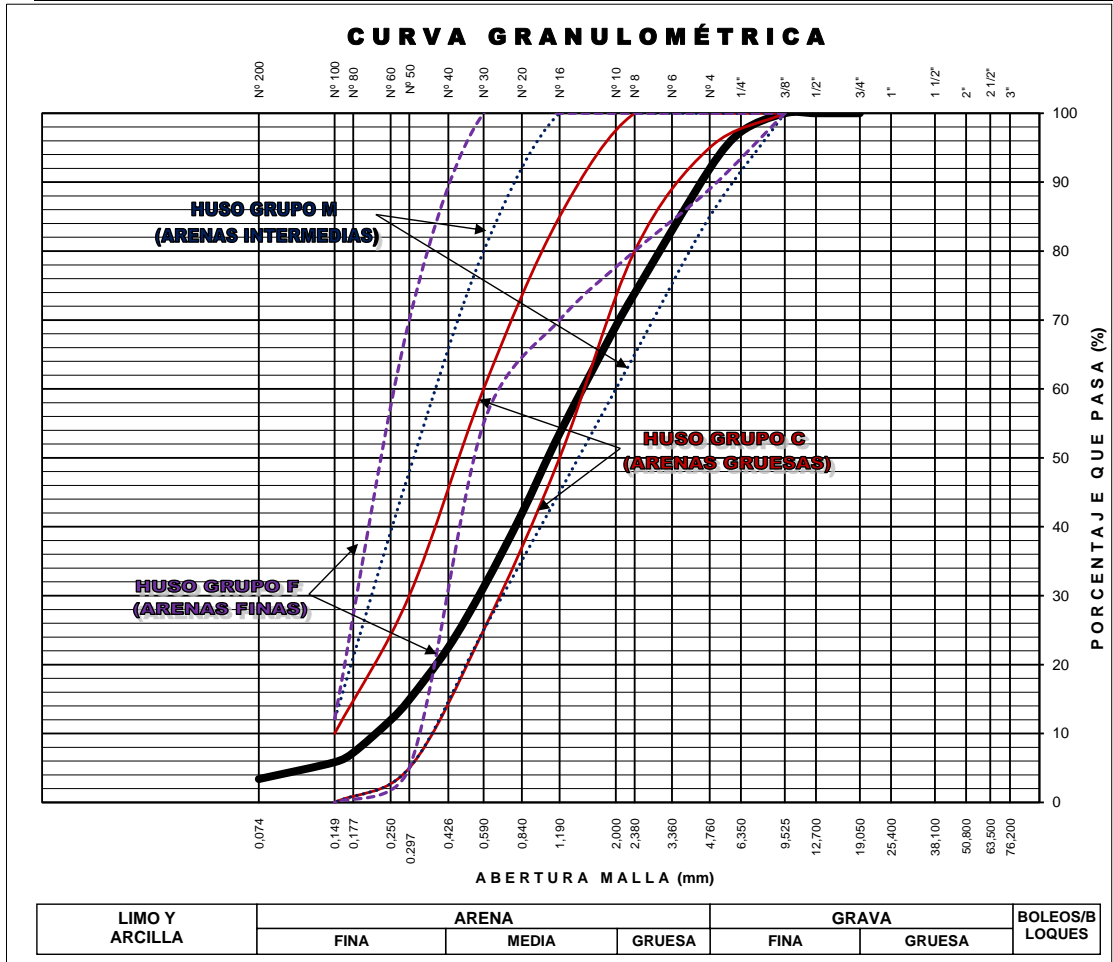


ANALISIS GRANULOMETRICO DEL AGREGADO FINO
(MTC E 204-2016)

Proyecto : "DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICO MECÁNICAS DE ADOQUINES, VIBROCOMPACTADAS CON ESCORIA DE COBRE, PARA EL TRÁNSITO LIGERO EN LA CIUDAD DE AYACUCHO, 2021"

Solicitante : BACH. LUIS MIGUEL PABLO RAYMUNDEZ
 Cantera : CHILLICO
 Material : ARENA ZARANDEADA
 Fecha : OCTUBRE DE 2021
 Region : AYACUCHO
 Provincia : HUAMANGA
 Distrito : AYACUCHO
 Lugar : AYACUCHO

TAMIZ ASTM	Abertura (mm)	PESO (gr) RETENIDO	% RETEN PARCIAL	% RETEN ACUMULADO	% QUE PASA	ESPECIF. ARENA	DATOS DEL ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO
3"	76.200				100.00		PESOS (gr) Peso seco inicial 1588.40 Peso seco lavado 1534.90 Pérdida por lavado 53.5 ENSAYOS ESTÁNDAR % Grava 8.0 % Arena 88.6 % de Finos 3.4 D ₁₀ = D _{e(mm)} = 0.220 D _{30(mm)} = 0.567 D _{60(mm)} = 1.526 Cu = 6.94 Cc = 0.96 D _{15(mm)} = 0.298 D _{50(mm)} = 1.083 D _{85(mm)} = 2.983 Clasificación SUCS SP ARENA MAL GRADUADA Gravedad específica 2.73 Módulo de Fineza 3.29 Superficie específica (cm ² /gr) 45.7
2 1/2"	63.500		-	-	100.00		
2"	50.800		-	-	100.00		
1 1/2"	38.100		-	-	100.00		
1"	25.400		-	-	100.00		
3/4"	19.050		-	-	100.00		
1/2"	12.700		-	0.00	100.00		
3/8"	9.525		-	0.00	100.00	100	
1/4"	6.350	42.80	2.69	2.69	97.31		
Nº 4	4.760	85.00	5.35	8.05	91.95	95 - 100	
Nº 6	3.360	-	-	8.05	91.95		
Nº 8	2.380	287.30	18.09	26.13	73.87	80 - 100	
Nº 10	2.000	75.70	4.77	30.90	69.10		
Nº 16	1.190	247.10	15.56	46.46	53.54	50 - 85	
Nº 20	0.840	184.60	11.62	58.08	41.92		
Nº 30	0.590	170.10	10.71	68.79	31.21	25 - 60	
Nº 40	0.426	138.40	8.71	77.50	22.50		
Nº 50	0.297	120.50	7.59	85.09	14.91	5 - 30	
Nº 60	0.250	47.00	2.96	88.04	11.96		
Nº 80	0.177	75.30	4.74	92.79	7.21		
Nº 100	0.149	21.80	1.37	94.16	5.84	0 - 10	
Nº 200	0.074	38.90	2.45	96.61	3.39		
Fondo	0	0.40	0.03	96.63	3.37		
Lavado	0	53.5	3.37	100.00	0.00		
TOTAL		1,588.40	100.00				





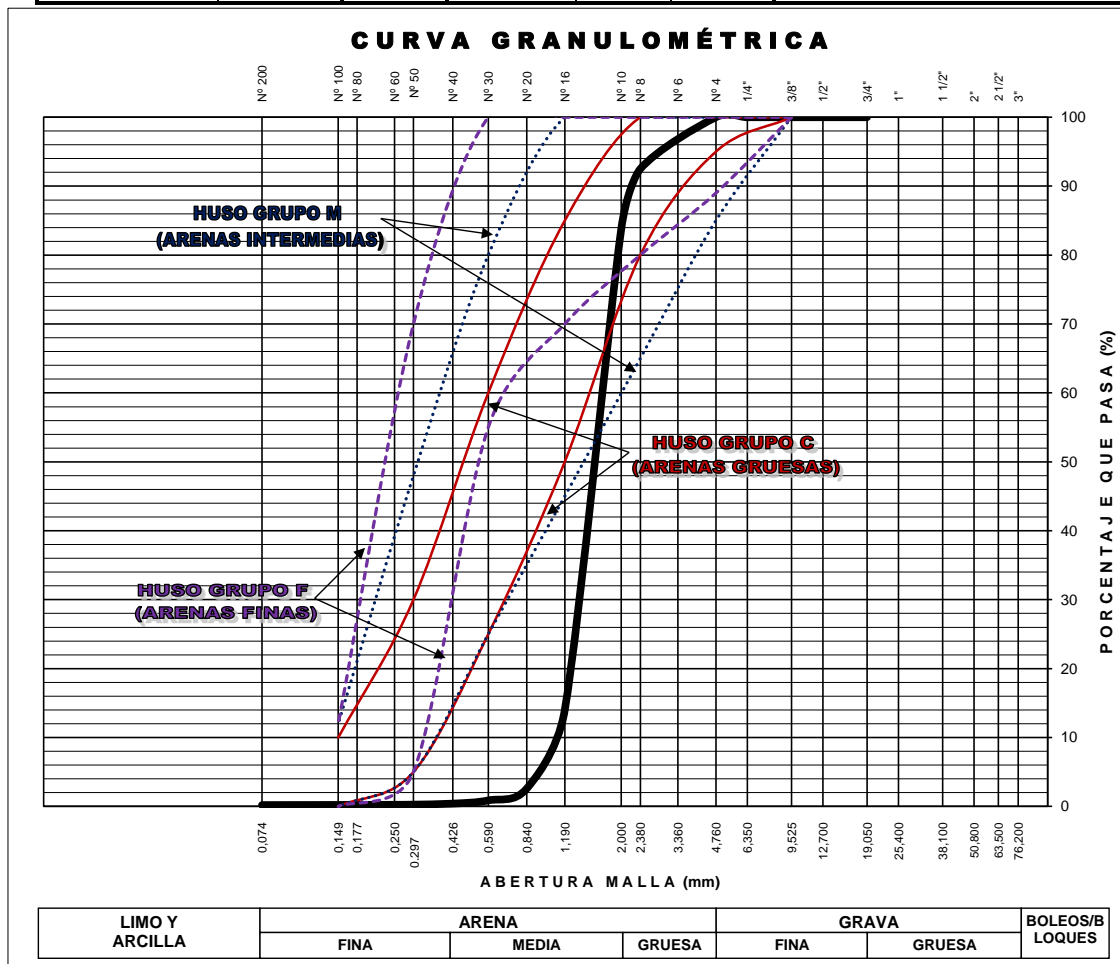
ANALISIS GRANULOMETRICO DEL AGREGADO FINO
(MTC E 204-2016)

Proyecto : "DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICO MECÁNICAS DE ADOQUINES, VIBROCOMPACTADAS CON ESCORIA DE COBRE, PARA EL TRÁNSITO LIGERO EN LA CIUDAD DE AYACUCHO, 2021"

Solicitante : BACH. LUIS MIGUEL PABLO RAYMUDEZ
 Cantera : SOUTHERN PERU COPPER (ILO)
 Material : ESCORIA DE COBRE
 Fecha : OCTUBRE DE 2021

Region : AYACUCHO
 Provincia : HUAMANGA
 Distrito : AYACUCHO
 Lugar : CHILLICO

TAMIZ ASTM	Abertura (mm)	PESO (gr) RETENIDO	% RETEN PARCIAL	% RETEN ACUMULADO	% QUE PASA	ESPECIF. ARENA	DATOS DEL ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO
3"	76.200				100.00		PESOS (gr) Peso seco inicial 1629.80 Peso seco lavado 1626.90 Pérdida por lavado 2.9 <hr/> ENSAYOS ESTÁNDAR % Grava 0.0 % Arena 99.8 % de Finos 0.2 D ₁₀ = D _{e(mm)} = 1.067 D _{30(mm)} = 1.376 D _{60(mm)} = 1.723 Cu = 1.61 Cc = 1.03 D _{15(mm)} = 1.202 D _{50(mm)} = 1.607 D _{85(mm)} = 2.049 Clasificación SUCS SP <hr/> ARENA MAL GRADUADA Gravedad especifica 3.38 Módulo de Fineza 3.92 Superficie especifica (cm ² /gr) 15.2
2 1/2"	63.500		-	-	100.00		
2"	50.800		-	-	100.00		
1 1/2"	38.100		-	-	100.00		
1"	25.400		-	-	100.00		
3/4"	19.050		-	-	100.00		
1/2"	12.700		-	0.00	100.00	100	
3/8"	9.525		-	0.00	100.00		
1/4"	6.350		-	0.00	100.00		
Nº 4	4.760		-	0.00	100.00	95 - 100	
Nº 6	3.360		-	0.00	100.00		
Nº 8	2.380	122.10	7.49	7.49	92.51	80 - 100	
Nº 10	2.000	140.40	8.61	16.11	83.89		
Nº 16	1.190	1139.30	69.90	86.01	13.99	50 - 85	
Nº 20	0.840	185.60	11.39	97.40	2.60		
Nº 30	0.590	28.10	1.72	99.12	0.88	25 - 60	
Nº 40	0.426	7.60	0.47	99.59	0.41		
Nº 50	0.297	2.30	0.14	99.73	0.27	5 - 30	
Nº 60	0.250	0.40	0.02	99.75	0.25		
Nº 80	0.177	0.30	0.02	99.77	0.23		
Nº 100	0.149	0.10	0.01	99.78	0.22	0 - 10	
Nº 200	0.074	0.30	0.02	99.80	0.20		
Fondo	0	0.40	0.02	99.82	0.18		
Lavado	0	2.9	0.18	100.00	0.00		
TOTAL		1,629.80	100.00				



**INGEOMAX**

S.A.C

INGENIERIA GEOTECNICA AL MAXIMO
ESPECIALISTAS EN SUELOS, CONCRETO Y
PAVIMENTOS**PESO UNITARIO DE LOS AGREGADOS (MTC E 203 - 2016)**

Proyecto : "DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICO MECÁNICAS DE ADOQUINES, VIBROCOMPACTADAS CON ESCORIA DE COBRE, PARA EL TRÁNSITO LIGERO EN LA CIUDAD DE AYACUCHO, 2021"

Solicitante : BACH. LUIS MIGUEL PABLO RAYMUDEZ Region : AYACUCHO
 Cantera : CHILLICO Provincia : HUAMANGA
 Material : GRAVA CHANCADA Y ARENA ZARANDEADA Distrito : AYACUCHO
 Fecha : OCTUBRE DE 2021 Lugar : AYACUCHO

AGREGADO FINO**PESO UNITARIO SUELTO SECO (PUSS)**

Nº DE ENSAYO	Ensayo Nº 01	Ensayo Nº 02	Ensayo Nº 03
A Peso Molde (gr)	1,854.0	1,854.0	1,854.0
B Peso Agregado + Molde (gr)	6,539.0	6,568.0	6,561.0
C Peso Agregado Suelto (gr) = (B)-(A)	4,685.0	4,714.0	4,707.0
D Volumen del Molde (cm ³)	2,832.0	2,832.0	2,832.0
E Peso Unitario Suelto Seco (Kg/m ³) = (C)/(D)	1,654	1,665	1,662
PROMEDIO PUSS (Kg/m³)	1,660		

PESO UNITARIO COMPACTADO SECO (PUCS) METODO DEL APISONADO

Nº DE ENSAYO	Ensayo Nº 01	Ensayo Nº 02	Ensayo Nº 03
A Peso Molde (gr)	1,854.0	1,854.0	1,854.0
B Peso Agregado + Molde (gr)	6,814.0	6,821.0	6,839.0
C Peso Agregado Suelto (gr) = (B)-(A)	4,960.0	4,967.0	4,985.0
D Volumen del Molde (cm ³)	2,832.0	2,832.0	2,832.0
E Peso Unitario Suelto Seco (Kg/m ³) = (C)/(D)	1,751	1,754	1,760
PROMEDIO PUCS (Kg/m³)	1,755		

AGREGADO GRUESO**PESO UNITARIO SUELTO SECO (PUSS)**

Nº DE ENSAYO	Ensayo Nº 01	Ensayo Nº 02	Ensayo Nº 03
A Peso Molde (gr)	1,854.0	1,854.0	1,854.0
B Peso Agregado + Molde (gr)	6,025.0	6,068.0	6,020.0
C Peso Agregado Suelto (gr) = (B)-(A)	4,171.0	4,214.0	4,166.0
D Volumen del Molde (cm ³)	2,832.0	2,832.0	2,832.0
E Peso Unitario Suelto Seco (Kg/m ³) = (C)/(D)	1,473	1,488	1,471
PROMEDIO PUSS (Kg/m³)	1,477		

PESO UNITARIO COMPACTADO SECO (PUCS) METODO DEL APISONADO

Nº DE ENSAYO	Ensayo Nº 01	Ensayo Nº 02	Ensayo Nº 03
A Peso Molde (gr)	1,854.0	1,854.0	1,854.0
B Peso Agregado + Molde (gr)	6,273.0	6,228.0	6,268.0
C Peso Agregado Suelto (gr) = (B)-(A)	4,419.0	4,374.0	4,414.0
D Volumen del Molde (cm ³)	2,832.0	2,832.0	2,832.0
E Peso Unitario Suelto Seco (Kg/m ³) = (C)/(D)	1,560	1,544	1,559
PROMEDIO PUCS (Kg/m³)	1,554		

**PESO ESPECIFICO Y ABSORCIÓN DE AGREGADOS**

Proyecto : "DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICO MECÁNICAS DE ADOQUINES, VIBROCOMPACTADAS CON ESCORIA DE COBRE, PARA EL TRÁNSITO LIGERO EN LA CIUDAD DE AYACUCHO, 2021"

Solicitante : BACH. LUIS MIGUEL PABLO RAYMUDEZ Region : AYACUCHO
 Cantera : CHILLICO Provincia : HUAMANGA
 Material : GRAVA CHANCADA Y ARENA ZARANDEADA Distrito : AYACUCHO
 Fecha : OCTUBRE DE 2021 Lugar : AYACUCHO

AGREGADO GRUESO (MTC E 206 - 2016, NTP 400.021)

OBJETIVO: Obtención de los Pesos Específicos aparente y nominal, así como la absorción después de 24 horas de sumergidos en agua.

DEFINICIONES: En un sólido permeable, si se incluye en su volumen la parte de vacíos accesibles al agua en las condiciones que se establezcan, se define el volumen denominado aparente, si se excluye este volumen de vacíos al volumen resultante, se le denomina nominal.

IDENTIFICACIÓN		ENSAYO Nº 01 AG	ENSAYO Nº 02	ENSAYO Nº 03	PROMEDIO
A	Peso en el aire de la muestra seca (gr)	830.70	816.40		
B	Peso en el aire de la muestra SSS (gr)	879.50	878.00		
C	Peso sumergido en agua de la muestra SSS (gr)	523.00	518.00		
	Peso Especifico Aparente = A/(B-C)	2.33	2.27		2.30
	Peso Especifico Aparente SSS = B/(B-C)	2.47	2.44		2.45
	Peso Especifico Nominal = A/(A-C)	2.70	2.74		2.72
	% de Absorción = ((B - A)/A) x 100	5.87	7.55		6.71

AGREGADO FINO (MTC E 205 - 2016)

IDENTIFICACIÓN		ENSAYO Nº 01	ENSAYO Nº 02	ENSAYO Nº 03	PROMEDIO
A	Peso al aire de la muestra secada (gr)	245.20	242.70		
B	Peso del Picnometro aforado lleno de agua (gr)	656.50	654.30		
C	Peso del Picnometro con la muestra y agua (gr)	811.20	808.90		
D	Peso de la muestra en SSS (gr)	253.70	252.40		
	Peso Especifico Aparente = A/(B-C+S)	2.48	2.48		2.48
	Peso Especifico Aparente SSS = S/(B-C+S)	2.56	2.58		2.57
	Peso Especifico Nominal = A/(A-C+B)	2.71	2.75		2.73
	% de Absorción = ((S - A)/A) x 100	3.47	4.00		3.73

Porcentaje Retenido en la Malla Nº4 (%)	33.39
Porcentaje que pasa la Malla Nº4 (%)	66.61
Gravedad especifica de los sólidos	2.73

Proyecto : "DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICO MECÁNICAS DE ADOQUINES, VIBROCOMPACTADAS CON ESCORIA DE COBRE, PARA EL TRÁNSITO LIGERO EN LA CIUDAD DE AYACUCHO, 2021"

Solicitante : BACH. LUIS MIGUEL PABLO RAYMUDEZ Region : AYACUCHO
 Cantera : CHILLICO Provincia : HUAMANGA
 Material : GRAVA CHANCADA Y ARENA ZARANDEADA Distrito : AYACUCHO
 Fecha : OCTUBRE DE 2021 Lugar : AYACUCHO

PORCENTAJE DE VACIOS

IDENTIFICACIÓN		Agregado Grueso	Agregado Fino
A	Peso Unitario Suelto Seco (gr/cm ³)	1,477	1,660
B	Peso Unitario Compactado Seco (gr/cm ³)	1,554	1,755
C	Gravedad Especifica de Masa	2.30	2.48
D	Peso de los Sólidos (gr)	2,299	2,479
Porcentaje de Vacios (%) Agregado suelto		35.7	33.0
Porcentaje de Vacios (%) Agregado varillado		32.4	29.2

CONTENIDO DE HUMEDAD, ABSORCION EFECTIVA Y HUMEDAD SUPERFICIAL

IDENTIFICACIÓN		Agregado Grueso	
A	Peso Humedo de la muestra (gr)	47.41	49.01
B	Peso Seco de la muestra (gr)	46.86	48.41
C	Peso del agua en la muestra (gr)	0.55	0.60
D	% de absorcion	6.71	
Contenido de Humedad (%)		1.174	1.239
Contenido de Humedad (%)		1.2	
Absorcion Efectiva (%)		5.5	
Humedad Superficial (%)		-	
IDENTIFICACIÓN		Agregado Fino	
A	Peso Humedo de la muestra (gr)	50.76	82.54
B	Peso Seco de la muestra (gr)	48.71	79.04
C	Peso del agua en la muestra (gr)	2.05	3.50
D	% de absorcion	3.73	
Contenido de Humedad (%)		4.2	4.4
Contenido de Humedad (%)		4.3	
Absorcion Efectiva (%)		-	
Humedad Superficial (%)		0.6	

Nota: El agregado fue muestreado en laboratorio, cuya humedad en ese momento es la que se determina.



INGEOMAX
S.A.C

INGENIERIA GEOTECNICA AL MAXIMO
ESPECIALISTAS EN SUELOS, CONCRETO Y
PAVIMENTOS

PESO UNITARIO DE LOS AGREGADOS (MTC E 203 - 2016)

Proyecto : "DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICO MECÁNICAS DE ADOQUINES, VIBROCOMPACTADAS CON ESCORIA DE COBRE, PARA EL TRÁNSITO LIGERO EN LA CIUDAD DE AYACUCHO, 2021"

Solicitante	: BACH. LUIS MIGUEL PABLO RAYMUDEZ	Region	: AYACUCHO
Cantera	: SOUTHERN PERU COPPER (ILO)	Provincia	: HUAMANGA
Material	: ESCORIA DE COBRE	Distrito	: AYACUCHO
Fecha	: OCTUBRE DE 2021	Lugar	: AYACUCHO

AGREGADO FINO

PESO UNITARIO SUELTO SECO (PUSS)

Nº DE ENSAYO	Ensayo Nº 01	Ensayo Nº 02	Ensayo Nº 03
A Peso Molde (gr)	1,854.0	1,854.0	1,854.0
B Peso Agregado + Molde (gr)	6,348.0	6,344.0	6,343.0
C Peso Agregado Suelto (gr) = (B)-(A)	4,494.0	4,490.0	4,489.0
D Volumen del Molde (cm ³)	2,832.0	2,832.0	2,832.0
E Peso Unitario Suelto Seco (Kg/m ³) = (C)/(D)	1,587	1,585	1,585
PROMEDIO PUSS (Kg/m³)	1,586		

PESO UNITARIO COMPACTADO SECO (PUCS) METODO DEL APISONADO

Nº DE ENSAYO	Ensayo Nº 01	Ensayo Nº 02	Ensayo Nº 03
A Peso Molde (gr)	1,854.0	1,854.0	1,854.0
B Peso Agregado + Molde (gr)	6,741.0	6,743.0	6,751.0
C Peso Agregado Suelto (gr) = (B)-(A)	4,887.0	4,889.0	4,897.0
D Volumen del Molde (cm ³)	2,832.0	2,832.0	2,832.0
E Peso Unitario Suelto Seco (Kg/m ³) = (C)/(D)	1,726	1,726	1,729
PROMEDIO PUCS (Kg/m³)	1,727		



INGEOMAX
S.A.C.

INGENIERIA GEOTECNICA AL MAXIMO
ESPECIALISTAS EN SUELOS, CONCRETO Y
PAVIMENTOS

PESO ESPECIFICO Y ABSORCIÓN DE AGREGADOS

Proyecto : "DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICO MECÁNICAS DE ADOQUINES, VIBROCOMPACTADAS CON ESCORIA DE COBRE, PARA EL TRÁNSITO LIGERO EN LA CIUDAD DE AYACUCHO, 2021"

Solicitante : BACH. LUIS MIGUEL PABLO RAYMUDEZ

Region : AYACUCHO

Cantera : SOUTHERN PERU COPPER (ILO)

Provincia : HUAMANGA

Material : ESCORIA DE COBRE

Distrito : AYACUCHO

Fecha : OCTUBRE DE 2021

Lugar : AYACUCHO

AGREGADO FINO (MTC E 205 - 2016)

IDENTIFICACIÓN		ENSAYO Nº 01	ENSAYO Nº 02	ENSAYO Nº 03	PROMEDIO
A	Peso al aire de la muestra secada (gr)	266.80	269.80		
B	Peso del Picnometro aforado lleno de agua (gr)	656.50	659.50		
C	Peso del Picnometro con la muestra y agua (gr)	844.50	849.50		
D	Peso de la muestra en SSS (gr)	268.70	271.70		
Peso Especifico Aparente = $A/(B-C+S)$		3.31	3.30		3.30
Peso Especifico Aparente SSS = $S/(B-C+S)$		3.33	3.33		3.33
Peso Especifico Nominal = $A/(A-C+B)$		3.39	3.38		3.38
% de Absorción = $((S - A)/A) \times 100$		0.71	0.70		0.71



Proyecto : "DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICO MECÁNICAS DE ADOQUINES, VIBROCOMPACTADAS CON ESCORIA DE COBRE, PARA EL TRÁNSITO LIGERO EN LA CIUDAD DE AYACUCHO, 2021"

Solicitante : BACH. LUIS MIGUEL PABLO RAYMUDEZ

Region : AYACUCHO

Cantera : SOUTHERN PERU COPPER (ILO)

Provincia : HUAMANGA

Material : ESCORIA DE COBRE

Distrito : AYACUCHO

Fecha : OCTUBRE DE 2021

Lugar : AYACUCHO

CONTENIDO DE HUMEDAD, ABSORCION EFECTIVA Y HUMEDAD SUPERFICIAL

IDENTIFICACIÓN		Agregado Fino	
Humedad Superficial (%)		-	
A	Peso Humedo de la muestra (gr)	96.06	98.71
B	Peso Seco de la muestra (gr)	95.96	98.61
C	Peso del agua en la muestra (gr)	0.10	0.10
D	% de absorcion	0.71	
Contenido de Humedad (%)		0.1	0.1
Contenido de Humedad (%)		0.1	
Absorcion Efectiva (%)		0.6	
Humedad Superficial (%)		-	

Nota: El agregado fue muestreado en laboratorio, cuya humedad en ese momento es la que se determina.


Anexo B: Ensayo de absorción, contenido de humedad y densidad de los adoquines

ENSAYO DE ABSORCIÓN, CONTENIDO DE HUMEDAD Y DENSIDAD DE ADOQUINES																		
PROYECTO:	Determinación de las propiedades físico mecánicas de adoquines vibro compactadas con escoria de cobre, para el tránsito ligero en la ciudad de Ayacucho, 2021 .																	
REALIZADO POR	Luis Miguel Pablo Raymúndez					DATOS A MEDIR	Wr	peso recibido de la unidad										
NORMA	Norma Técnica Peruana NTP 399.604						Wd	peso seco al horno de la unidad										
EQUIPO DE MEDICIÓN	Balanza electrónica						Ws	peso saturado del especimen										
UNIDAD ANALIZADA	Adoquines con diferentes porcentajes de escoria de cobre						Wi	peso sumergido del especimen										
FECHA DE VACIADO	27/10/2021			FECHA DE ENSAYO			24/11/2021			EDAD EN DÍAS			28					
Código	ADOQUIN N°	Wr (g)	Wd (g)	Ws (g)	Wi (g)	PROMEDIO				Absorción (Kg/m3)	Absorción (%)		Contenido de Hum.		Densidad (Kg/m3)			
						Wr	Wd	Ws	Wi									
P	P1	3548.4	3536.4	3734.9	2078.0	3548.43	3536.43	3734.88	2078.03	119.78	116.76	5.61	5.46	6.05	6.65	2134.43	2140.36	
	P2	3624.8	3612.8	3802.8	2134.9	3624.76	3612.76	3802.76	2134.86	113.92		5.26		6.32		2166.05		
	P3	3604.4	3589.4	3786.8	2094.1	3604.43	3589.43	3786.77	2094.13	116.59		5.50		7.60		2120.61		
A-10%	A1	3685.4	3672.4	3874.0	2160.0	3685.35	3672.35	3873.95	2159.95	117.62	117.02	5.49	5.44	6.45	5.33	2142.56	2152.14	
	A2	3676.7	3666.7	3866.7	2165.5	3676.67	3666.67	3866.67	2165.47	117.56		5.45		5.00		2155.34		
	A3	3690.7	3681.7	3879.4	2173.7	3690.74	3681.74	3879.41	2173.74	115.89		5.37		4.55		2158.53		
B-20%	B1	3714.2	3701.2	3927.2	2188.5	3714.20	3701.20	3927.20	2188.50	129.98	114.26	6.11	5.30	5.75	6.44	2128.72	2159.91	
	B2	3608.2	3598.2	3786.7	2071.6	3608.24	3598.24	3786.74	2071.64	109.91		5.24		5.31		2097.98		
	B3	3721.6	3707.6	3876.9	2231.3	3721.60	3707.60	3876.90	2231.30	102.88		4.57		8.27		2253.04		
C-30%	C1	3729.4	3719.4	3945.4	2206.7	3729.40	3719.40	3945.40	2206.70	129.98	114.26	6.08	5.20	4.42	6.10	2139.18	2205.00	
	C2	3780.6	3765.6	3954.1	2239.0	3780.60	3765.60	3954.10	2239.00	109.91		5.01		7.96		2195.56		
	C3	3762.4	3752.4	3921.7	2276.1	3762.40	3752.40	3921.70	2276.10	102.88		4.51		5.91		2280.26		
D-40%	D1	3829.3	3816.3	4009.3	2357.9	3829.30	3816.30	4009.30	2357.90	116.87	120.87	5.06	5.32	6.74	6.09	2310.95	2273.65	
	D2	3812.2	3799.2	4007.2	2321.3	3812.20	3799.20	4007.20	2321.30	123.38		5.47		6.25		2253.51		
	D3	3855.6	3844.6	4053.1	2349.3	3855.60	3844.60	4053.10	2349.30	122.37		5.42		5.28		2256.49		
E-50%	E1	3858.3	3848.3	4068.3	2395.9	3858.34	3848.34	4068.34	2395.94	131.55	128.42	5.72	5.60	4.55	5.29	2301.09	2293.03	
	E2	3805.5	3792.5	4007.5	2344.8	3805.54	3792.54	4007.54	2344.76	129.30		5.67		6.05		2280.84		
	E3	3860.4	3849.4	4057.9	2382.2	3860.36	3849.36	4057.86	2382.16	124.43		5.42		5.28		2297.17		
F-60%	F1	3850.7	3837.7	4065.2	2425.3	3850.70	3837.70	4065.20	2425.30	138.73	140.57	5.93	5.98	5.71	4.94	2340.20	2351.07	
	F2	3818.4	3808.4	4044.4	2407.2	3818.40	3808.40	4044.40	2407.20	144.15		6.20		4.24		2326.17		
	F3	3891.3	3880.3	4106.0	2480.3	3891.30	3880.30	4106.00	2480.30	138.83		5.82		4.87		2386.85		
G-100%	G1	3994.3	3983.3	4298.8	2633.0	3994.30	3983.30	4298.80	2633.03	189.40	182.10	7.92	7.52	3.49	3.92	2391.27	2422.91	
	G2	4014.5	4001.5	4274.5	2641.0	4014.50	4001.50	4274.50	2640.96	167.12		6.82		4.76		2449.59		
	G3	4028.1	4017.1	4331.1	2676.5	4028.10	4017.10	4331.10	2676.53	189.78		7.82		3.50		2427.88		

Anexo C: Ensayo de tolerancia dimensional de los adoquines

ENSAYO DE TOLERANCIA DIMENSIONAL ADOQUINES																					
PROYECTO:		DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICO MECÁNICAS DE ADOQUINES VIBROCOMPACTADAS CON ESCORIA DE COBRE, PARA EL TRÁNSITO LIGERO EN LA CIUDAD DE AYACUCHO, 2021 .																			
REALIZADO POR :		Bach. Pablo Raymúndez,Luis Miguel								TOLERANCIA DIMENSIONAL MÁXIMA		LARGO(L)		200.0+-1.6 mm		CRITERIO DE DECISION					
NORMA :		Norma Técnica Peruana NTP 399.604								ANCHO(A)		100.0+-1.6 mm		¿CUMPLE LA TOLERANCIA?		SI		NO			
EQUIPO DE MEDICIÓN :		Vernier(pie de rey)								ALTO(H)		80.0+-3.2 mm									
FECHA DE VACIADO :		27/10/2021				FECHA DE ENSAYO				24/11/2021				EDAD EN DÍAS				28			
Código	ADOQUIN N°	Ancho(A)				Altura(H)				Largo(L)				Promedio			CUMPLE TOLERANCIA				
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	A	H	L	A	H	L		
P- 0% EC	P1	100.8	100.2	99.6	98.9	77.0	79.4	80.0	80.4	198.7	198.9	198.2	199.1	99.9	79.2	198.7	SI	SI	SI		
	P2	99.1	101.2	101.0	101.2	76.0	76.9	76.7	80.1	201.5	199.7	200.8	200.4	100.6	77.4	200.6	SI	SI	SI		
	P3	100.9	98.6	101.5	99.3	79.6	78.6	77.4	79.9	198.8	197.6	200.2	200.7	100.1	78.9	199.3	SI	SI	SI		
A-10%EC	A1	99.8	99.2	96.2	100.2	83.3	80.6	81.0	79.1	196.4	198.2	199.3	197.9	98.8	81.0	197.9	SI	SI	NO		
	A2	101.0	101.6	99.8	101.3	78.1	79.2	82.8	82.0	198.8	200.8	198.6	200.4	100.9	80.5	199.6	SI	SI	SI		
	A3	98.5	98.9	100.9	100.0	79.2	84.1	78.8	75.8	199.6	199.3	198.2	202.9	99.5	79.5	200.0	SI	SI	SI		
B-20%EC	B1	99.1	102.4	101.3	101.2	77.2	79.7	82.3	77.5	198.9	200.8	201.7	198.3	101.0	79.2	199.9	SI	SI	SI		
	B2	100.5	100.2	101.8	98.0	71.0	76.9	76.7	80.1	199.2	198.8	199.6	199.9	100.1	76.2	199.4	SI	NO	SI		
	B3	101.6	101.6	99.5	101.2	77.5	83.1	81.7	77.9	199.9	200.6	199.1	201.2	101.0	80.1	200.2	SI	SI	SI		
C-30%EC	C1	101.5	99.1	99.7	98.5	72.0	77.9	74.8	82.1	198.8	201.9	199.0	198.5	99.7	76.7	199.6	SI	NO	SI		
	C2	99.6	101.1	99.5	98.0	80.1	77.9	81.8	82.0	199.3	201.7	201.3	198.5	99.5	80.4	200.2	SI	SI	SI		
	C3	98.2	101.6	96.5	101.8	81.1	76.6	78.8	81.7	199.3	198.4	199.6	198.3	99.5	79.5	198.9	SI	SI	SI		
D-40%EC	D1	98.8	99.3	99.7	102.0	76.6	77.9	77.3	81.1	200.0	200.1	201.8	201.4	100.0	78.2	200.8	SI	SI	SI		
	D2	101.1	101.6	100.4	99.5	72.5	80.1	76.7	77.1	197.9	201.2	198.8	199.4	100.7	76.6	199.3	SI	NO	SI		
	D3	100.4	99.9	100.1	98.8	76.0	72.9	75.7	82.1	201.1	199.5	201.4	198.7	99.8	76.7	200.2	SI	NO	SI		
E-50%EC	E1	97.1	98.8	96.1	100.8	82.0	80.8	80.8	83.0	199.9	201.2	201.6	198.4	98.2	81.6	200.3	NO	SI	SI		
	E2	100.8	99.3	102.6	100.5	81.3	77.9	81.6	80.6	200.1	199.7	200.6	202.8	100.8	80.3	200.8	SI	SI	SI		
	E3	98.7	99.1	102.7	100.8	81.5	80.4	78.3	79.3	200.4	201.7	197.9	197.6	100.3	79.8	199.4	SI	SI	SI		
F-60%EC	F1	97.7	101.1	100.8	99.7	77.3	77.9	80.4	80.2	202.1	200.8	201.4	200.4	99.8	78.9	201.2	SI	SI	SI		
	F2	100.3	100.1	100.8	100.3	76.0	71.9	76.7	81.3	198.7	200.4	203.1	200.9	100.4	76.5	200.8	SI	NO	SI		
	F3	102.1	99.9	99.1	101.2	78.5	79.2	84.5	76.0	195.5	199.3	199.4	198.8	100.6	79.5	198.3	SI	SI	NO		
G-100%EC	G1	101.2	98.5	101.1	99.0	79.8	79.3	78.5	81.4	200.9	202.0	199.8	198.0	100.0	79.7	200.2	SI	SI	SI		
	G2	101.2	99.5	101.9	98.5	79.0	81.9	83.0	80.7	200.5	200.5	198.2	200.6	100.2	81.1	200.0	SI	SI	SI		
	G3	100.8	98.1	98.7	101.4	83.1	75.9	75.7	71.2	199.1	199.3	197.8	201.0	99.7	76.5	199.3	SI	NO	SI		

Anexo D: Ensayo de resistencia a la compresión de los adoquines

 DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICO MECÁNICAS DE ADOQUINES VIBROCOMPACTADAS CON ESCORIA DE COBRE, PARA EL TRÁNSITO LIGERO EN LA CIUDAD DE AYACUCHO, 2021												
ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN A LOS 7 DÍAS												
PROYECTO:		Determinación de las propiedades físico mecánicas de adoquines vibrocompactadas con escoria de cobre, para el tránsito ligero en la ciudad de ayacucho, 2021										
REALIZADO POR :		Bach. Pablo Raymúndez,Luis Miguel				DATOS DEL		LARGO(L)		20cm		
NORMA :		Norma Técnica Peruana NTP 399.604				ADOQUÍN		ANCHO(A)		10cm		
FACTOR :		1KN	equivale	101.97Kgf				PROMEDIO		ALTO(H)		8cm
CÓDIGO MUESTRA	ADOQUIN N°	FECHA DE VACIADO	FECHA DE ROTURA	EDAD EN DÍAS	DIMENSIONES (cm)			CARGA EN KN	CARGA Kgf	Area (cm2)	ESFUERZO Kgf/cm2	ESFUERZO PROMEDIO Kgf/cm2
					A	H	L					
P	P1	27/10/2021	03/11/2021	7	10.05	8.04	20.02	905.97	92381.44	201.20	459.15	465.15
	P2				10.04	8.05	20.03	933.90	95229.46	201.10	473.54	
	P3				10.04	7.98	19.96	909.45	92736.36	200.40	462.76	
A-10%	A1	27/10/2021	03/11/2021	7	10.03	8.03	20.01	933.65	95204.19	200.70	474.36	466.78
	A2				10.04	8.04	20.04	902.40	92017.54	201.20	457.34	
	A3				10.02	8.01	20.03	922.42	94059.20	200.70	468.65	
B-20%	B1	27/10/2021	03/11/2021	7	10.05	7.97	19.99	956.60	97544.74	200.90	485.54	476.86
	B2				10.02	8.01	20.02	911.90	92986.31	200.60	463.54	
	B3				10.01	7.98	20.03	946.76	96540.62	200.50	481.50	
C-30%	C1	27/10/2021	03/11/2021	7	10.01	8.03	19.98	979.82	99911.90	200.00	499.56	495.59
	C2				9.98	8.03	19.97	945.08	96369.81	199.30	483.54	
	C3				10.04	8.02	20.02	992.84	101240.15	201.00	503.68	
D-40%	D1	27/10/2021	03/11/2021	7	10.02	8.97	19.98	1022.20	104233.92	200.20	520.65	508.26
	D2				10.01	7.98	20.02	974.57	99376.46	200.40	495.89	
	D3				10.02	8.01	19.98	997.82	101747.95	200.20	508.23	
E-50%	E1	27/10/2021	03/11/2021	7	9.92	7.84	19.91	1010.59	103049.38	197.51	521.75	504.65
	E2				9.91	8.11	19.86	937.34	95580.07	196.81	485.64	
	E3				9.89	8.03	20.08	986.55	100598.36	198.59	506.56	
F-60%	F1	27/10/2021	03/11/2021	7	9.90	7.97	19.97	815.34	83140.04	197.70	420.53	410.65
	F2				9.95	8.33	19.99	758.29	77322.57	198.90	388.75	
	F3				10.14	7.94	20.03	841.88	85846.05	203.10	422.67	
G-100%	G1	27/10/2021	03/11/2021	7	10.03	8.98	19.97	670.53	68374.10	200.30	341.36	332.61
	G2				10.02	7.99	20.03	640.99	65362.16	200.70	325.67	
	G3				9.98	8.01	19.98	646.89	65963.61	199.40	330.81	



DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICO MECÁNICAS DE ADOQUINES VIBROCOMPACTADAS CON ESCORIA DE COBRE, PARA EL TRÁNSITO LIGERO EN LA CIUDAD DE AYACUCHO, 2021

ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN A LOS 14 DÍAS

PROYECTO:		Determinación de las propiedades físico mecánicas de adoquines vibrocompactadas con escoria de cobre, para el tránsito ligero en la ciudad de ayacucho, 2021										
REALIZADO POR		Bach. Pablo Raymúndez, Luis Miguel						DATOS DEL ADOQUÍN		LARGO(L)		20cm
NORMA		Norma Técnica Peruana NTP 399.604						PROMEDIO		ANCHO(A)		10cm
FACTOR :		1KN	equivale	101.97Kgf			ALTO(H)		8cm			
CÓDIGO MUESTRA	ADOQUIN N°	FECHA DE VACIADO	FECHA DE ROTURA	EDAD EN DÍAS	DIMENSIONES (cm)			CARGA EN KN	CARGA Kgf	Area (cm2)	ESFUERZO Kgf/cm2	ESFUERZO PROMEDIO Kgf/cm2
					A	H	L					
P	P1	27/10/2021	10/11/2021	14	9.93	8.07	19.94	923.24	94143.08	198.00	475.46	481.34
	P2				10.06	7.96	20.12	966.20	98523.73	202.41	486.76	
	P3				10.03	8.09	20.03	949.24	96794.05	200.90	481.80	
A-10%	A1	27/10/2021	10/11/2021	14	10.20	7.99	19.88	969.16	98824.91	202.78	487.36	482.25
	A2				10.10	8.00	20.12	959.34	97824.23	203.21	481.39	
	A3				10.02	7.91	20.12	945.04	96365.49	201.60	478.00	
B-20%	B1	27/10/2021	10/11/2021	14	9.95	8.04	19.79	958.91	97779.85	196.91	496.57	489.16
	B2				10.06	7.90	19.91	949.79	96850.45	200.29	483.54	
	B3				9.94	8.03	19.90	945.41	96403.80	197.81	487.37	
C-30%	C1	27/10/2021	10/11/2021	14	9.87	8.00	20.13	1033.81	105417.28	198.68	530.58	522.74
	C2				10.10	8.05	20.09	1016.40	103641.86	202.91	510.78	
	C3				10.01	8.02	19.97	1032.85	105320.15	199.90	526.86	
D-40%	D1	27/10/2021	10/11/2021	14	9.90	7.92	20.10	1104.09	112584.56	198.99	565.78	552.08
	D2				10.03	7.96	20.02	1078.26	109950.38	200.80	547.56	
	D3				10.13	8.05	19.96	1076.51	109771.71	202.19	542.90	
E-50%	E1	27/10/2021	10/11/2021	14	9.92	7.84	19.91	1093.85	111540.22	197.51	564.74	543.67
	E2				9.91	8.11	19.86	1043.72	106428.38	196.81	540.76	
	E3				9.89	8.03	20.08	1023.45	104361.66	198.59	525.51	
F-60%	F1	27/10/2021	10/11/2021	14	9.90	7.97	19.97	928.02	94630.54	197.70	478.65	464.54
	F2				9.95	8.33	19.99	884.65	90207.34	198.90	453.53	
	F3				10.14	7.94	20.03	919.10	93720.40	203.10	461.44	
G-100%	G1	27/10/2021	10/11/2021	14	9.89	8.07	19.96	784.70	80015.90	197.40	405.34	414.44
	G2				9.97	7.95	20.02	825.33	84159.09	199.60	421.64	
	G3				9.93	8.08	20.05	812.89	82890.84	199.10	416.34	



DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICO MECÁNICAS DE ADOQUINES VIBROCOMPACTADAS CON ESCORIA DE COBRE, PARA EL TRÁNSITO LIGERO EN LA CIUDAD DE AYACUCHO, 2021

ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN A LOS 21 DÍAS

PROYECTO:		Determinación de las propiedades físico mecánicas de adoquines vibrocompactadas con escoria de cobre, para el tránsito ligero en la ciudad de ayacucho, 2021										
REALIZADO POR		Bach. Pablo Raymúndez, Luis Miguel				DATOS DEL ADOQUÍN		LARGO(L)		20cm		
NORMA		Norma Técnica Peruana NTP 399.604				PROMEDIO		ANCHO(A)		10cm		
FACTOR :		1KN	equivale	101.97Kgf				ALTO(H)		8cm		
CÓDIGO MUESTRA	ADOQUIN N°	FECHA DE VACIADO	FECHA DE ROTURA	EDAD EN DÍAS	DIMENSIONES (cm)			CARGA EN KN	CARGA Kgf	Area (cm ²)	ESFUERZO Kgf/cm ²	ESFUERZO PROMEDIO Kgf/cm ²
					A	H	L					
P	P1	27/10/2021	17/11/2021	21	10.09	7.92	19.89	1014.53	103451.73	200.69	515.48	534.76
	P2				10.13	7.96	19.91	1049.58	107025.90	201.69	530.65	
	P3				9.93	8.28	19.93	1083.27	110460.62	197.90	558.15	
A-10%	A1	27/10/2021	17/11/2021	21	9.94	7.97	19.95	1050.44	107113.37	198.30	540.15	536.17
	A2				9.97	7.95	20.09	1032.13	105246.22	200.30	525.45	
	A3				10.10	7.96	19.91	1070.62	109171.30	201.09	542.90	
B-20%	B1	27/10/2021	17/11/2021	21	9.99	7.83	20.01	1083.44	110478.68	199.90	552.67	541.57
	B2				10.09	8.03	19.93	1060.92	108182.38	201.09	537.97	
	B3				9.98	7.91	20.02	1046.45	106706.97	199.80	534.07	
C-30%	C1	27/10/2021	17/11/2021	21	9.98	7.96	20.05	1110.21	113208.01	200.10	565.76	570.45
	C2				9.93	7.98	20.07	1136.53	115892.09	199.30	581.51	
	C3				10.12	8.04	19.93	1115.72	113770.20	201.69	564.08	
D-40%	D1	27/10/2021	17/11/2021	21	9.72	7.70	20.12	1153.41	117613.63	195.57	601.40	595.22
	D2				10.08	7.87	19.90	1144.10	116664.31	200.59	581.60	
	D3				9.91	7.95	19.83	1161.44	118431.91	196.52	602.66	
E-50%	E1	27/10/2021	17/11/2021	21	10.05	8.05	20.01	1176.09	119926.28	201.10	596.35	585.45
	E2				10.01	8.20	19.91	1129.40	115164.99	199.30	577.85	
	E3				10.11	8.05	20.14	1162.45	118534.71	203.62	582.15	
F-60%	F1	27/10/2021	17/11/2021	21	9.92	7.91	20.07	1008.38	102824.29	199.09	516.46	494.76
	F2				9.89	7.99	20.05	931.40	94975.13	198.29	478.96	
	F3				10.10	7.95	19.91	964.06	98305.35	201.09	488.86	
G-100%	G1	27/10/2021	17/11/2021	21	9.81	8.11	19.95	851.49	86826.52	195.71	443.65	455.96
	G2				10.05	7.92	20.08	909.71	92763.24	201.80	459.67	
	G3				9.98	8.14	20.13	915.26	93328.90	200.90	464.56	



DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICO MECÁNICAS DE ADOQUINES VIBROCOMPACTADAS CON ESCORIA DE COBRE, PARA EL TRÁNSITO LIGERO EN LA CIUDAD DE AYACUCHO, 2021

ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN A LOS 28 DÍAS

PROYECTO:		Determinación de las propiedades físico mecánicas de adoquines vibrocompactadas con escoria de cobre, para el tránsito ligero en la ciudad de ayacucho, 2021										
REALIZADO POR		Bach. Pablo Raymúndez, Luis Miguel						DATOS DEL ADOQUÍN		LARGO(L)		20cm
NORMA		Norma Técnica Peruana NTP 399.604						PROMEDIO		ANCHO(A)		10cm
FACTOR :		1KN	equivale	101.97Kgf						ALTO(H)		8cm
CÓDIGO MUESTRA	ADOQUIN N°	FECHA DE VACIADO	FECHA DE ROTURA	EDAD EN DÍAS	DIMENSIONES (cm)			CARGA EN KN	CARGA Kgf	Area (cm ²)	ESFUERZO Kgf/cm ²	ESFUERZO PROMEDIO Kgf/cm ²
					A	H	L					
P	P1	27/10/2021	24/11/2021	28	9.98	8.10	20.16	1151.20	117388.27	201.20	583.45	572.83
	P2				10.04	8.05	20.02	1115.21	113718.21	201.00	565.76	
	P3				10.02	7.87	19.99	1118.21	114023.93	200.30	569.27	
A-10%	A1	27/10/2021	24/11/2021	28	10.16	7.97	20.12	1174.08	119720.97	204.42	585.66	575.37
	A2				9.97	8.16	19.95	1099.45	112110.83	198.90	563.65	
	A3				10.08	8.03	20.05	1143.21	116573.40	202.10	576.80	
B-20%	B1	27/10/2021	24/11/2021	28	9.98	7.96	20.12	1160.73	118360.14	200.80	589.45	581.92
	B2				9.97	8.12	20.06	1139.07	116150.95	200.00	580.76	
	B3				10.12	7.90	19.95	1139.53	116198.04	201.89	575.54	
C-30%	C1	27/10/2021	24/11/2021	28	10.10	8.07	19.87	1191.76	121524.01	200.69	605.54	601.78
	C2				9.91	8.06	20.15	1172.90	119600.23	199.69	598.94	
	C3				10.17	8.04	20.07	1202.72	122641.65	204.11	600.85	
D-40%	D1	27/10/2021	24/11/2021	28	9.95	7.84	20.13	1205.00	122874.05	200.29	613.47	620.86
	D2				10.00	8.04	20.19	1234.72	125904.84	201.90	623.60	
	D3				10.04	8.08	19.95	1228.70	125290.71	200.30	625.52	
E-50%	E1	27/10/2021	24/11/2021	28	10.00	8.04	20.07	1211.57	123543.42	200.73	615.47	597.36
	E2				10.07	8.06	19.98	1158.33	118114.58	201.27	586.85	
	E3				10.03	8.09	20.04	1162.64	118554.31	201.02	589.76	
F-60%	F1	27/10/2021	24/11/2021	28	10.13	8.13	20.13	1044.71	106529.07	203.79	522.75	510.46
	F2				10.12	7.89	20.11	996.11	101573.14	203.57	498.95	
	F3				10.07	7.93	20.16	1014.37	103434.80	202.94	509.68	
G-100%	G1	27/10/2021	24/11/2021	28	9.96	7.93	19.93	956.48	97532.37	198.50	491.34	481.42
	G2				10.10	8.11	19.89	925.23	94345.51	200.89	469.64	
	G3				10.03	7.94	20.06	953.60	97238.41	201.20	483.29	

Anexo E: Evaluación del costo de producción de adoquines



Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga
Facultad de Ingeniería de Minas, Geología y Civil
Escuela de Formación Profesional de Ingeniería Civil
Elaborado por: Bach. Luis Miguel Pablo Raymúndez

Elaboración de adoquines para tránsito ligero con material convencional (adoquín patrón)

cálculos previos:

$$\text{cantidad} = \frac{(\text{cuadrilla} \times 8)}{\text{rendimiento}}$$

$$\text{cemento(bolsa)} = \frac{(\text{peso de cemento}/20)}{42.5}$$

$$\text{Grava (m3)} = \frac{(\text{peso de grava}/20)}{P.\text{unitario suelto}}$$

$$\text{Arena (m3)} = \frac{(\text{peso de arena}/20)}{P.\text{unitario suelto}}$$

$$\text{Agua (m3)} = \frac{(\text{Vol. de agua}/20)}{1000}$$

Costo de hora hombre (h.h.) - régimen laboral de construcción civil del Perú del 01/06/2021 al 31/05/2022

- Peón (h.h): S/ 16.83

- Operario (h.h): S/ 23.79

* los precios de los materiales son puesto en obra.

Rendimiento:

con el molde de la adoquinera se elabora 12 adoquines por tanda, cada tanda se realiza en un tiempo de 4 minutos, elaborándose 3 adoquines por minuto, en 8 horas (480 min) de jornada se producirá 1440 adoquines.

cuadrilla:

Para producir la mezcla se requiere : un peón para verter la grava a la mezcladora, 1 peón para verter el agregado fino a la mezcladora y 1 peón para verter el cemento y agua a la mezcladora. Para elaborar los adoquines se requiere 1 operador del equipo con su respectivo ayudante (1 peón)

con el siguiente cuadro se elaboraron 20 adoquines

Cemento (Kg)	A.Fino (Kg)	E.C (Kg)	A. Grueso (KG)	Agua (L)
17.70	37.77	0.00	16.87	6.20

datos:

peso de cemento (bolsa): 425 kg

Peso unitario suelto arena: 1660 kg/m³

Peso unitario suelto de grava: 1477 kg/m³

Peso unitario suelto de escoria de cobre: 1586 kg/m³

1 litro de agua: 0.001m³

Jornada:	8 horas/día			rendimiento: 1440 Und/Día	
Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/	Parcial S/
Mano de Obra					
Peon	hh	4.00	0.02222	16.83	0.374
Operador de equipo bloquetera	hh	1.00	0.00556	23.79	0.132
Materiales					
Grava	m3		0.00057	60.00	0.034
Arena gruesa	m3		0.00110	60.00	0.066
Cemento portland (42.5 kg)	bol		0.02100	26.00	0.546
Agua	m3		0.00031	4.50	0.001
Equipos					
Herramientas manuales	%mo		3.00000	0.51	0.015
Mezcladora de concreto	hm	1.00	0.00556	10.00	0.056
Maquina bloquetera americana	hm	1.00	0.00556	18.75	0.104
Costo unitario para un adoquín (S/):					1.329



Elaboración de adoquines para tránsito ligero, con reemplazo del 10 % E.C.

cálculos previos:

$$\text{cantidad} = \frac{(\text{cuadrilla} \times 8)}{\text{rendimiento}}$$

$$\text{cemento(bolsa)} = \frac{(\text{peso de cemento}/20)}{42.5}$$

$$\text{Grava (m3)} = \frac{(\text{peso de grava}/20)}{\text{P. unitario suelto}}$$

$$\text{Arena (m3)} = \frac{(\text{peso de arena}/20)}{\text{P. unitario suelto}}$$

$$\text{Agua (m3)} = \frac{(\text{Vol. de agua}/20)}{1000}$$

$$\text{Escoria de cobre (kg)} = \frac{\text{Peso escoria de cobre}}{20}$$

Costo de hora hombre (h.h.) - régimen laboral de construcción civil del Perú del 01/06/2021 al 31/05/2022

- Peón (h.h): S/ 16.83

- Operario (h.h): S/ 23.79

* los precios de los materiales son puesto en obra.

Rendimiento:

con el molde de la adoquinera se elabora 12 adoquines por tanda, cada tanda se realiza en un tiempo de 4 minutos, elaborándose 3 adoquines por minuto, en 8 horas (480 min) de jornada se producirá 1440 adoquines.

cuadrilla:

Para producir la mezcla se requiere : un peón para verter la grava a la mezcladora, 1 peón para verter el agregado fino a la mezcladora y 1 peón para verter el cemento y agua a la mezcladora. Para elaborar los adoquines se requiere 1 operador del equipo con su respectivo ayudante (1 peón)

con el siguiente cuadro se elaboraron 20 adoquines

Cemento (Kg)	A.Fino (Kg)	E.C (Kg)	A. Grueso (KG)	Agua (L)
17.70	34.00	3.78	16.87	6.20

datos:

peso de cemento (bolsa): 42.5 kg

Peso unitario suelto arena: 1660 kg/m3

Peso unitario suelto de grava: 1477 kg/m3

Peso unitario suelto de escoria de cobre: 1586 kg/m3

1 litro de agua: 0.001m3

Jornada:	8 horas/día			rendimiento: 1440 Und/Día	
Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/	Parcial S/
Mano de Obra					
Peon	hh	4.00	0.02222	16.83	0.374
Operador de equipo bloquetera	hh	1.00	0.00556	23.79	0.132
Materiales					
Grava	m3		0.00057	60.00	0.034
Arena gruesa	m3		0.00102	60.00	0.061
Escoria de cobre	kg		0.18887	0.20	0.038
Cemento portland (42.5 kg)	bol		0.02100	26.00	0.546
Agua	m3		0.00031	4.50	0.001
Equipos					
Herramientas manuales	%mo		3.00000	0.51	0.015
Mezcladora de concreto	hm	1.00	0.00556	10.00	0.056
Maquina bloquetera americana	hm	1.00	0.00556	18.75	0.104
Costo unitario para un adoquín (S/):					1.362



Elaboración de adoquines para tránsito ligero, con reemplazo del 20 % E.C.

cálculos previos:

$$\text{cantidad} = \frac{(\text{cuadrilla} \times 8)}{\text{rendimiento}}$$

$$\text{cemento(bolsa)} = \frac{(\text{peso de cemento}/20)}{42.5}$$

$$\text{Grava (m3)} = \frac{(\text{peso de grava}/20)}{\text{P.unitario suelto}}$$

$$\text{Arena (m3)} = \frac{(\text{peso de arena}/20)}{\text{P.unitario suelto}}$$

$$\text{Agua (m3)} = \frac{(\text{Vol. de agua}/20)}{1000}$$

$$\text{Escoria de cobre (kg)} = \frac{\text{Peso escoria de cobre}}{20}$$

Costo de hora hombre (h.h.) - régimen laboral de construcción civil del Perú del 01/06/2021 al 31/05/2022

- Peón (h.h): S/ 16.83

- Operario (h.h): S/ 23.79

* los precios de los materiales son puesto en obra.

Rendimiento:

con el molde de la adoquinera se elabora 12 adoquines por tanda, cada tanda se realiza en un tiempo de 4 minutos, elaborándose 3 adoquines por minuto, en 8 horas (480 min) de jornada se producirá 1440 adoquines.

cuadrilla:

Para producir la mezcla se requiere : un peón para verter la grava a la mezcladora, 1 peón para verter el agregado fino a la mezcladora y 1 peón para verter el cemento y agua a la mezcladora. Para elaborar los adoquines se requiere 1 operador del equipo con su respectivo ayudante (1 peón)

con el siguiente cuadro se elaboraron 20 adoquines

Cemento (Kg)	A.Fino (Kg)	E.C (Kg)	A. Grueso (KG)	Agua (L)
17.70	30.22	7.55	16.87	6.20

datos:

peso de cemento (bolsa): 42.5 kg

Peso unitario suelto arena: 1660 kg/m3

Peso unitario suelto de grava: 1477 kg/m3

Peso unitario suelto de escoria de cobre: 1586 kg/m3

1 litro de agua: 0.001m3

Jornada:	8 horas/día			rendimiento: 1440 Und/Día	
Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/	Parcial S/
Mano de Obra					
Peon	hh	4.00	0.02222	16.83	0.374
Operador de equipo bloquetera	hh	1.00	0.00556	23.79	0.132
Materiales					
Grava	m3		0.00057	60.00	0.034
Arena gruesa	m3		0.00091	60.00	0.055
Escoria de cobre	kg		0.37773	0.20	0.076
Cemento portland (42.5 kg)	bol		0.02100	26.00	0.546
Agua	m3		0.00031	4.50	0.001
Equipos					
Herramientas manuales	%mo		3.00000	0.51	0.015
Mezcladora de concreto	hm	1.00	0.00556	10.00	0.056
Maquina bloquetera americana	hm	1.00	0.00556	18.75	0.104
Costo unitario para un adoquín (S/):					1.393



Elaboración de adoquines para tránsito ligero, con reemplazo del 30 % E.C.

cálculos previos:

$$\text{cantidad} = \frac{(\text{cuadrilla} \times 8)}{\text{rendimiento}}$$

$$\text{cemento(bolsa)} = \frac{(\text{peso de cemento}/20)}{42.5}$$

$$\text{Grava (m3)} = \frac{(\text{peso de grava}/20)}{P.\text{unitario suelto}}$$

$$\text{Arena (m3)} = \frac{(\text{peso de arena}/20)}{P.\text{unitario suelto}}$$

$$\text{Agua (m3)} = \frac{(\text{Vol. de agua}/20)}{1000}$$

$$\text{Escoria de cobre (kg)} = \frac{\text{Peso escoria de cobre}}{20}$$

Costo de hora hombre (h.h.) - régimen laboral de construcción civil del Perú del 01/06/2021 al 31/05/2022

- Peón (h.h): S/ 16.83

- Operario (h.h): S/ 23.79

* los precios de los materiales son puesto en obra.

Rendimiento:

con el molde de la adoquinera se elabora 12 adoquines por tanda, cada tanda se realiza en un tiempo de 4 minutos, elaborándose 3 adoquines por minuto, en 8 horas (480 min) de jornada se producirá 1440 adoquines.

cuadrilla:

Para producir la mezcla se requiere : un peón para verter la grava a la mezcladora, 1 peón para verter el agregado fino a la mezcladora y 1 peón para verter el cemento y agua a la mezcladora. Para elaborar los adoquines se requiere 1 operador del equipo con su respectivo ayudante (1 peón)

con el siguiente cuadro se elaboraron 20 adoquines

Cemento (Kg)	A.Fino (Kg)	E.C (Kg)	A. Grueso (KG)	Agua (L)
17.70	26.44	11.33	16.87	6.20

datos:

peso de cemento (bolsa): 42.5 kg

Peso unitario suelto arena: 1660 kg/m3

Peso unitario suelto de grava: 1477 kg/m3

Peso unitario suelto de escoria de cobre: 1586 kg/m3

1 litro de agua: 0.001m3

Jornada:	8 horas/día			rendimiento: 1440 Und/Día	
Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/	Parcial S/
Mano de Obra					
Peon	hh	4.00	0.02222	16.83	0.374
Operador de equipo bloquetera	hh	1.00	0.00556	23.79	0.132
Materiales					
Grava	m3		0.00057	60.00	0.034
Arena gruesa	m3		0.00080	60.00	0.048
Escoria de cobre	kg		0.56660	0.20	0.113
Cemento portland (42.5 kg)	bol		0.02100	26.00	0.546
Agua	m3		0.00031	4.50	0.001
Equipos					
Herramientas manuales	%mo		3.00000	0.51	0.015
Mezcladora de concreto	hm	1.00	0.00556	10.00	0.056
Maquina bloquetera americana	hm	1.00	0.00556	18.75	0.104
Costo unitario para un adoquín (S/):					1.424



Elaboración de adoquines para tránsito ligero, con reemplazo del 40 % E.C.

cálculos previos:

$$\text{cantidad} = \frac{(\text{cuadrilla} \times 8)}{\text{rendimiento}}$$

$$\text{cemento(bolsa)} = \frac{(\text{peso de cemento}/20)}{42.5}$$

$$\text{Grava (m3)} = \frac{(\text{peso de grava}/20)}{\text{P. unitario suelto}}$$

$$\text{Arena (m3)} = \frac{(\text{peso de arena}/20)}{\text{P. unitario suelto}}$$

$$\text{Agua (m3)} = \frac{(\text{Vol. de agua}/20)}{1000}$$

$$\text{Escoria de cobre (kg)} = \frac{\text{Peso escoria de cobre}}{20}$$

Costo de hora hombre (h.h.) - régimen laboral de construcción civil del Perú del 01/06/2021 al 31/05/2022

- Peón (h.h): S/ 16.83

- Operario (h.h): S/ 23.79

* los precios de los materiales son puesto en obra.

Rendimiento:

con el molde de la adoquinera se elabora 12 adoquines por tanda, cada tanda se realiza en un tiempo de 4 minutos, elaborándose 3 adoquines por minuto, en 8 horas (480 min) de jornada se producirá 1440 adoquines.

cuadrilla:

Para producir la mezcla se requiere : un peón para verter la grava a la mezcladora, 1 peón para verter el agregado fino a la mezcladora y 1 peón para verter el cemento y agua a la mezcladora. Para elaborar los adoquines se requiere 1 operador del equipo con su respectivo ayudante (1 peón)

con el siguiente cuadro se elaboraron 20 adoquines

Cemento (Kg)	A.Fino (Kg)	E.C (Kg)	A. Grueso (KG)	Agua (L)
17.70	22.66	15.11	16.87	6.20

datos:

peso de cemento (bolsa): 42.5 kg

Peso unitario suelto arena: 1660 kg/m3

Peso unitario suelto de grava: 1477 kg/m3

Peso unitario suelto de escoria de cobre: 1586 kg/m3

1 litro de agua: 0.001m3

Jornada:	8 horas/día			rendimiento: 1440 Und/Día	
Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/	Parcial S/
Mano de Obra					
Peon	hh	4.00	0.02222	16.83	0.374
Operador de equipo bloquetera	hh	1.00	0.00556	23.79	0.132
Materiales					
Grava	m3		0.00057	60.00	0.034
Arena gruesa	m3		0.00068	60.00	0.041
Escoria de cobre	kg		0.75546	0.20	0.151
Cemento portland (42.5 kg)	bol		0.02100	26.00	0.546
Agua	m3		0.00031	4.50	0.001
Equipos					
Herramientas manuales	%mo		3.00000	0.51	0.015
Mezcladora de concreto	hm	1.00	0.00556	10.00	0.056
Maquina bloquetera americana	hm	1.00	0.00556	18.75	0.104
Costo unitario para un adoquín (S/):					1.455



Elaboración de adoquines para tránsito ligero, con reemplazo del 50 % E.C.

cálculos previos:

$$\text{cantidad} = \frac{(\text{cuadrilla} \times 8)}{\text{rendimiento}}$$

$$\text{cemento(bolsa)} = \frac{(\text{peso de cemento}/20)}{42.5}$$

$$\text{Grava (m3)} = \frac{(\text{peso de grava}/20)}{\text{P.unitario suelto}}$$

$$\text{Arena (m3)} = \frac{(\text{peso de arena}/20)}{\text{P.unitario suelto}}$$

$$\text{Agua (m3)} = \frac{(\text{Vol. de agua}/20)}{1000}$$

$$\text{Escoria de cobre (kg)} = \frac{\text{Peso escoria de cobre}}{20}$$

Costo de hora hombre (h.h.) - régimen laboral de construcción civil del Perú del 01/06/2021 al 31/05/2022

- Peón (h.h): S/ 16.83

- Operario (h.h): S/ 23.79

* los precios de los materiales son puesto en obra.

Rendimiento:

con el molde de la adoquinera se elabora 12 adoquines por tanda, cada tanda se realiza en un tiempo de 4 minutos, elaborándose 3 adoquines por minuto, en 8 horas (480 min) de jornada se producirá 1440 adoquines.

cuadrilla:

Para producir la mezcla se requiere : un peón para verter la grava a la mezcladora, 1 peón para verter el agregado fino a la mezcladora y 1 peón para verter el cemento y agua a la mezcladora. Para elaborar los adoquines se requiere 1 operador del equipo con su respectivo ayudante (1 peón)

con el siguiente cuadro se elaboraron 20 adoquines

Cemento (Kg)	A.Fino (Kg)	E.C(Kg)	A. Grueso (KG)	Agua (L)
17.70	18.89	18.89	16.87	6.20

datos:

peso de cemento (bolsa): 42.5 kg

Peso unitario suelto arena: 1660 kg/m3

Peso unitario suelto de grava: 1477 kg/m3

Peso unitario suelto de escoria de cobre: 1586 kg/m3

1 litro de agua: 0.001m3

Jornada: Descripción Recurso	8 horas/día			rendimiento: 1440 Und/Día	
	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/	Parcial S/
Mano de Obra					
Peon	hh	4.00	0.02222	16.83	0.374
Operador de equipo bloquetera	hh	1.00	0.00556	23.79	0.132
Materiales					
Grava	m3		0.00057	60.00	0.034
Arena gruesa	m3		0.00057	60.00	0.034
Escoria de cobre	kg		0.94433	0.20	0.189
Cemento portland (42.5 kg)	bol		0.02100	26.00	0.546
Agua	m3		0.00031	4.50	0.001
Equipos					
Herramientas manuales	%mo		3.00000	0.51	0.015
Mezcladora de concreto	hm	1.00	0.00556	10.00	0.056
Maquina bloquetera americana	hm	1.00	0.00556	18.75	0.104
Costo unitario para un adoquín (S/):					1.486



Elaboración de adoquines para tránsito ligero, con reemplazo del 60 % E.C.

cálculos previos:

$$\text{cantidad} = \frac{(\text{cuadrilla} \times 8)}{\text{rendimiento}}$$

$$\text{cemento(bolsa)} = \frac{(\text{peso de cemento}/20)}{42.5}$$

$$\text{Grava (m3)} = \frac{(\text{peso de grava}/20)}{\text{P. unitario suelto}}$$

$$\text{Arena (m3)} = \frac{(\text{peso de arena}/20)}{\text{P. unitario suelto}}$$

$$\text{Agua (m3)} = \frac{(\text{Vol. de agua}/20)}{1000}$$

$$\text{Escoria de cobre (kg)} = \frac{\text{Peso escoria de cobre}}{20}$$

Costo de hora hombre (h.h.) - régimen laboral de construcción civil del Perú del 01/06/2021 al 31/05/2022

- Peón (h.h): S/ 16.83

- Operario (h.h): S/ 23.79

* los precios de los materiales son puesto en obra.

Rendimiento:

con el molde de la adoquinera se elabora 12 adoquines por tanda, cada tanda se realiza en un tiempo de 4 minutos, elaborándose 3 adoquines por minuto, en 8 horas (480 min) de jornada se producirá 1440 adoquines.

cuadrilla:

Para producir la mezcla se requiere : un peón para verter la grava a la mezcladora, 1 peón para verter el agregado fino a la mezcladora y 1 peón para verter el cemento y agua a la mezcladora. Para elaborar los adoquines se requiere 1 operador del equipo con su respectivo ayudante (1 peón)

con el siguiente cuadro se elaboraron 20 adoquines

Cemento (Kg)	A.Fino (Kg)	E.C (Kg)	A. Grueso (KG)	Agua (L)
17.70	15.11	22.66	16.87	6.20

datos:

peso de cemento (bolsa): 42.5 kg

Peso unitario suelto arena: 1660 kg/m3

Peso unitario suelto de grava: 1477 kg/m3

Peso unitario suelto de escoria de cobre: 1586 kg/m3

1 litro de agua: 0.001m3

Jornada:	8 horas/día			rendimiento: 1440 Und/Día	
Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/	Parcial S/
Mano de Obra					
Peon	hh	4.00	0.02222	16.83	0.374
Operador de equipo bloquetera	hh	1.00	0.00556	23.79	0.132
Materiales					
Grava	m3		0.00057	60.00	0.034
Arena gruesa	m3		0.00046	60.00	0.027
Escoria de cobre	kg		1.13319	0.20	0.227
Cemento portland (42.5 kg)	bol		0.02100	26.00	0.546
Agua	m3		0.00031	4.50	0.001
Equipos					
Herramientas manuales	%mo		3.00000	0.51	0.015
Mezcladora de concreto	hm	1.00	0.00556	10.00	0.056
Maquina bloquetera americana	hm	1.00	0.00556	18.75	0.104
Costo unitario para un adoquín (S/):					1.517



Elaboración de adoquines para tránsito ligero, con reemplazo del 100 % E.C.

cálculos previos:

$$\text{cantidad} = \frac{(\text{cuadrilla} \times 8)}{\text{rendimiento}}$$

$$\text{cemento(bolsa)} = \frac{(\text{peso de cemento}/20)}{42.5}$$

$$\text{Grava (m3)} = \frac{(\text{peso de grava}/20)}{\text{P. unitario suelto}}$$

$$\text{Arena (m3)} = \frac{(\text{peso de arena}/20)}{\text{P. unitario suelto}}$$

$$\text{Agua (m3)} = \frac{(\text{Vol. de agua}/20)}{1000}$$

$$\text{Escoria de cobre (kg)} = \frac{\text{Peso escoria de cobre}}{20}$$

Costo de hora hombre (h.h.) - régimen laboral de construcción civil del Perú del 01/06/2021 al 31/05/2022

- Peón (h.h): S/ 16.83

- Operario (h.h): S/ 23.79

* los precios de los materiales son puesto en obra.

Rendimiento:

con el molde de la adoquinera se elabora 12 adoquines por tanda, cada tanda se realiza en un tiempo de 4 minutos, elaborándose 3 adoquines por minuto, en 8 horas (480 min) de jornada se producirá 1440 adoquines.

cuadrilla:

Para producir la mezcla se requiere : un peón para verter la grava a la mezcladora, 1 peón para verter el agregado fino a la mezcladora y 1 peón para verter el cemento y agua a la mezcladora. Para elaborar los adoquines se requiere 1 operador del equipo con su respectivo ayudante (1 peón)

con el siguiente cuadro se elaboraron 20 adoquines

Cemento (Kg)	A.Fino (Kg)	E.C (Kg)	A. Grueso (KG)	Agua (L)
17.70	0.00	37.77	16.87	6.20

datos:

peso de cemento (bolsa): 42.5 kg

Peso unitario suelto arena: 1660 kg/m³

Peso unitario suelto de grava: 1477 kg/m³

Peso unitario suelto de escoria de cobre: 1586 kg/m³

1 litro de agua: 0.001m³

Jornada:	8 horas/día			rendimiento: 1440 Und/Día	
Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/	Parcial S/
Mano de Obra					
Peon	hh	4.00	0.02222	16.83	0.374
Operador de equipo bloquetera	hh	1.00	0.00556	23.79	0.132
Materiales					
Grava	m3		0.00057	60.00	0.034
Arena gruesa	m3		0.00000	60.00	0.000
Escoria de cobre	kg		1.88865	0.20	0.378
Cemento portland (42.5 kg)	bol		0.02100	26.00	0.546
Agua	m3		0.00031	4.50	0.001
Equipos					
Herramientas manuales	%mo		3.00000	0.51	0.015
Mezcladora de concreto	hm	1.00	0.00556	10.00	0.056
Maquina bloquetera americana	hm	1.00	0.00556	18.75	0.104
Costo unitario para un adoquín (S/):					1.640

TABLA SALARIAL -RESUMEN DE CÁLCULO COSTO DE LA HORA HOMBRE (H.H.)				
RÉGIMEN LABORAL DE CONSTRUCCIÓN CIVIL DEL PERÚ				
N°	DESCRIPCIÓN	CATEGORÍA		
1	Jornal básico actual (JBA)	Operario	Oficial	Peón
		74.30	58.45	52.50
2	Bonificación Unificada de la construcción (BUC)	Operario (32%)	Oficial (30%)	Peón (30%)
		23.78	17.54	15.75
3	Leyes sociales sobre la (JBA)	Operario (114.11%)	Oficial (114.11%)	Peón (114.11%)
		84.78	66.70	59.91
4	Leyes sociales sobre bonificaciones (B,U,C)	Operario (12%)	Oficial (12%)	Peón (12%)
		2.85	2.10	1.89
5	Movilidad	Operario	Oficial	Peón
		4	4	4
6	Overol	0.4	0.4	0.4
7	Seguridad de vida (EsSalud)	0.2	0.2	0.2
Bonificación normales - costo por día		190.31	149.39	134.65
Costo hora hombre (H.H.)		23.79	18.67	16.83

Anexo E: Panel fotográfico, proceso de elaboración de los adoquines

Figura 51.

Pesaje de los materiales en diferentes proporciones



Fuente: Elaboración propia

Figura 52.

Proceso de batido de los materiales



Fuente: Elaboración propia

Se vierte a la mezcladora los agregados, el cemento y luego el agua, el batido de los materiales se realiza aproximadamente por 3 minutos hasta que se forme una pasta uniforme.

Figura 53.

Transporte de la pasta hacia a la adoquinera



Fuente: Elaboración propia

Figura 54.

Vaciado y distribución uniforme de la mezcla a los moldes de manera manual



Fuente: Elaboración propia

Figura 55.

Trabajo de distribución uniforme de la mezcla



Fuente: Elaboración propia

Figura 56.

Trabajo de acabado superficial en la parte superior del adoquín



Fuente: Elaboración propia

Figura 57.

Acomodo de la compactadora sobre el molde para su posterior compactado



Fuente: Elaboración propia

Figura 58.

Vibro compactado mediante las palancas de mando



Fuente: Elaboración propia

Mediante las palancas de mando se activa la vibro compactadora, se compacta aproximadamente 40 segundos, posteriormente se apaga la vibradora, para su posterior desmolde.

Figura 59.

Desmolde de los adoquines



Fuente: Elaboración propia

Figura 60.

Presentación de los adoquines, para su posterior curado



Fuente: Elaboración propia