

**UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN**

Facultad de Ingeniería Civil, Arquitectura y Geotecnia

Escuela Profesional de Ingeniería Civil

“USO DE ADOQUINES DE CONCRETO CON PET RECICLADO PARA  
MEJORAMIENTO DE LA INFRAESTRUCTURA VIAL URBANO EN  
LA AVENIDA HUMBOLDT, TRAMO: AV. MUNICIPAL – AV.  
ESTANISLAO CÓNDROR, DISTRITO GREGORIO  
ALBARRACÍN LANCHIPA – TACNA, 2021”

**TESIS**

Presentada por:

**Bach. Renzo Gustavo Luque Llanos**

**Bach. Lesly Clara Nina Apaza**

Para optar el Título Profesional de:

**INGENIERO CIVIL**

**TACNA - PERÚ**

**2022**

**UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN**

Facultad de Ingeniería Civil, Arquitectura y Geotecnia

Escuela Profesional de Ingeniería Civil

USO DE ADOQUINES DE CONCRETO CON PET RECICLADO PARA  
MEJORAMIENTO DE LA INFRAESTRUCTURA VIAL URBANO EN LA  
AVENIDA HUMBOLDT, TRAMO: AV. MUNICIPAL – AV. ESTANISLAO  
CÓNDOR, DISTRITO GREGORIO ALBARRACÍN LANCHIPA – TACNA,  
2021

Tesis sustentada y aprobada el día 23 de diciembre de 2022 estando  
integrado el Jurado Calificador por:

**PRESIDENTE**

:   
MSc. Ing. Edgar Chura Arocutipa


**SECRETARIO**

:   
Mtro. Ing. Cesar José Avendaño Jihuallanga

**VOCAL**

:   
Mag. Ing. Nahuel Humberto Molero Yañez

**ASESOR DE TESIS**

:   
Dr. Ing. Alexander Nicolás Vilcanqui Alarcón

## CERTIFICADO DE SIMILITUD

Yo Alexander Nicolás Vilcanqui Alarcón en mi condición de asesor acreditado por la Resolución de Facultad N° 025-2022-FIAG/UNJBG de la tesis titulada: “USO DE ADOQUINES DE CONCRETO CON PET RECICLADO PARA MEJORAMIENTO DE LA INFRAESTRUCTURA VIAL URBANO EN LA AVENIDA HUMBOLDT, TRAMO: AV. MUNICIPAL – AV. ESTANISLAO CÓNDROR, DISTRITO GREGORIO ALBARRACÍN LANCHIPA – TACNA, 2021”. Presentado por el Bach. Renzo Gustavo Luque Llanos y la Bach. Lesly Clara Nina Apaza para optar el título profesional de Ingeniero civil. Habiendo cumplido con lo establecido en el reglamento de originalidad y de similitud de trabajos de investigación y producción intelectual, considerando que según la revisión, evaluación y análisis realizado a través del software de similitud textual Turnitin cuenta con el nivel de similitud permitido. Por lo que **CERTIFICO LA SIMILARIDAD** de la tesis el cual está de acuerdo al nivel **PERMITIDO**, para continuar con los trámites correspondientes y para su **publicación en el repositorio institucional**.

Se emite el presente certificado con fines de continuar con los trámites respectivos para su obtención del título profesional de Ingeniero civil.



.....  
Dr. Ing. ALEXANDER NICOLÁS VILCANQUI ALARCÓN

DNI: 70023449

## **DEDICATORIA**

*A Dios, por permitirme estar hoy presente; a mis padres Adolfo y Lidia, por haberme apoyado incondicionalmente a lo largo de mi vida; a mi hermano Ronny por siempre darme ánimos para cumplir mis objetivos.*

**Lesly Clara Nina Apaza**

*A mis padres y hermana quienes a lo largo de mi vida me han sabido guiar con todo su amor y paciencia, inculcando en mí la perseverancia y disciplina para cumplir mis objetivos planteados, gracias por estar siempre a mi lado.*

**Renzo Gustavo Luque Llanos**

## **AGRADECIMIENTO**

*Agradezco en primer lugar a Dios, por guiarme y darme las fortalezas para nunca rendirme.*

*A mi familia, por su amor, consejos y paciencia que siempre me brindaron.*

*A los docentes de esta casa superior de estudios por sus enseñanzas que me guiaron durante mi formación académica y a todas las personas que conocí en algún momento de mi vida y que me brindaron su apoyo para seguir avanzando.*

**Lesly Clara Nina Apaza**

*Primeramente, quiero expresar mi gratitud a Dios por guiarme en mi camino y por permitirme cumplir una meta más en mi vida.*

*A aquellas personas que en algún momento me apoyaron con un favor o consejo que necesité para seguir adelante.*

*Finalmente agradecer a aquellos docentes de la Escuela de Ingeniería Civil, por haber compartido sus conocimientos a lo largo de la preparación de nuestra profesión.*

**Renzo Gustavo Luque Llanos**

## ÍNDICE GENERAL

<b>DEDICATORIA</b> .....	<b>iv</b>
<b>AGRADECIMIENTO</b> .....	<b>v</b>
<b>ÍNDICE GENERAL</b> .....	<b>vi</b>
<b>ÍNDICE DE TABLAS</b> .....	<b>xi</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b> .....	<b>xiii</b>
<b>RESUMEN</b> .....	<b>xvi</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>xvii</b>
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>1</b>
<b>CAPÍTULO I: ASPECTOS GENERALES</b> .....	<b>3</b>
1.1    Antecedentes .....	3
1.1.1 <i>Antecedentes internacionales</i> .....	3
1.1.2 <i>Antecedentes nacionales</i> .....	11
1.2    Planteamiento del Problema .....	16
1.3    Formulación del Problema .....	20
1.3.1 <i>Interrogante General</i> .....	20
1.3.2 <i>Interrogantes Específicos</i> .....	20

1.4	Formulación de Hipótesis.....	21
1.4.1	<i>Hipótesis general</i> .....	21
1.4.2	<i>Hipótesis específicas</i> .....	21
1.5	Justificación.....	22
1.6	Definición de Objetivos.....	25
1.6.1	<i>Objetivo general</i> .....	25
1.6.2	<i>Objetivos específicos</i> .....	25
<b>CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO.....</b>		<b>27</b>
2.1	Bases teóricas .....	27
2.1.1	<i>Tipos de plástico</i> .....	27
2.1.2	<i>Reciclaje del PET</i> .....	30
2.1.2.1	<i>Reciclado mecánico</i> .....	31
2.1.2.2	<i>Propiedades del PET reciclado mecánicamente</i> .....	32
2.1.3	<i>Propiedades físico- mecánicas del adoquín</i> .....	33
2.1.3.1	<i>Propiedades físicas</i> .....	33
2.1.3.2	<i>Propiedades mecánicas</i> .....	33
2.1.4	<i>Tipos de adoquines</i> .....	37
2.1.5	<i>Partes de un pavimento articulado</i> .....	41

2.1.6	<i>Comportamiento de los pavimentos articulados</i> .....	41
2.1.7	<i>Cálculo de ejes equivalentes (ESAL)</i> .....	42
2.2	Bases normativas .....	42
2.3	Definición de términos básicos .....	43
2.3.1	<i>Pavimento</i> .....	43
2.3.2	<i>Pavimento articulado</i> .....	43
2.3.3	<i>Adoquín de concreto</i> .....	43
2.3.4	<i>Plástico</i> .....	44
2.3.5	<i>PET</i> .....	44
2.3.6	<i>Coefficiente estructural de capa</i> .....	45
2.3.7	<i>Infraestructura vial</i> .....	45
<b>CAPÍTULO III: MARCO METODOLÓGICO</b> .....		<b>46</b>
3.1	Tipo de Investigación .....	46
3.2	Nivel de Investigación.....	46
3.3	Población y Muestra de investigación.....	46
3.3.1	<i>Población</i> .....	46
3.3.2	<i>Muestra</i> .....	47
3.4	Técnicas e Instrumentos para la recolección de datos.....	47

3.4.1	<i>Procedimiento para el estudio de tránsito</i> .....	47
3.4.2	<i>Procedimiento para el estudio de los agregados para elaborar adoquines de concreto</i> .....	49
3.4.3	<i>Procedimiento par obtención del C.B.R. de subrasante</i> .....	56
3.4.4	<i>Procedimiento para el diseño de mezclas (Método ACI)</i> .....	58
3.4.5	<i>Elaboración de adoquines de concreto con PET reciclado</i> .....	62
3.4.6	<i>Análisis de datos</i> .....	65
3.4.6.1	<i>Determinación del ESAL</i> .....	65
3.4.6.2	<i>Determinación de CBR de diseño</i> .....	70
3.4.6.3	<i>Determinación del número estructural</i> .....	71
<b>CAPÍTULO IV: DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN</b> .....		<b>79</b>
4.1	Desarrollo del diseño de pavimento .....	79
4.2	Desarrollo de la elaboración de adoquines de concreto con PET reciclado al 5%, 10% y 15% .....	83
4.3	Desarrollo del Presupuesto del adoquinado con PET reciclado.....	96
<b>CAPÍTULO V: DISCUSIÓN DE RESULTADOS</b> .....		<b>112</b>
5.1	Análisis del diseño de pavimento.....	112
5.2	Adición de PET reciclado en 5%, 10% y 15%, a los adoquines de concreto .....	113

5.3 Análisis económico de precios unitarios.....	115
<b>CAPÍTULO VI: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....</b>	<b>121</b>
6.1 CONCLUSIONES.....	121
6.2 RECOMENDACIONES .....	123
<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>124</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>134</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

<i>Tabla 1 Características del PET reciclado.....</i>	<i>32</i>
<i>Tabla 2 Tolerancia dimensional.....</i>	<i>33</i>
<i>Tabla 3 Espesor nominal según y resistencia a la compresión.....</i>	<i>36</i>
<i>Tabla 4 Resistencia a la compresión promedio cuando no hay registro de ensayo. ....</i>	<i>60</i>
<i>Tabla 5 Cantidad de agua en l/m<sup>3</sup> según el asentamiento para concretos.....</i>	<i>60</i>
<i>Tabla 6 Relación de agua-cemento en concreto con y sin aire incorporado. ....</i>	<i>61</i>
<i>Tabla 7 Factores de Distribución Direccional y de Carril para determinar el Tránsito en el Carril de Diseño.....</i>	<i>66</i>
<i>Tabla 8 Configuración de ejes.....</i>	<i>67</i>
<i>Tabla 9 Relación de Cargas por Eje para determinar Ejes Equivalentes (EE) Para Afirmados, Pavimentos Flexibles y Semirrígidos.....</i>	<i>68</i>
<i>Tabla 10 Parámetros para determinar el valor de EE.....</i>	<i>69</i>
<i>Tabla 11 Niveles de confiabilidad recomendados por el AASHTO.....</i>	<i>72</i>
<i>Tabla 12 Relación de confiabilidad y el valor de Zr.....</i>	<i>73</i>
<i>Tabla 13 Valores de So recomendados por el AASHTO.....</i>	<i>73</i>
<i>Tabla 14 Coeficiente de drenaje en base a la calidad de drenaje.....</i>	<i>75</i>
<i>Tabla 15 Tiempo de la estructura expuesta al contacto húmedo.....</i>	<i>75</i>
<i>Tabla 16 Valor de Diseño del Percentil.....</i>	<i>80</i>
<i>Tabla 17 Valores iguales o mayores en % del C.B.R. vs C.B.R. ....</i>	<i>80</i>
<i>Tabla 18 Diseño de pavimento semirrígido con adoquines.....</i>	<i>82</i>
<i>Tabla 19 Rotura de adoquines de concreto. ....</i>	<i>93</i>
<i>Tabla 20 Rotura de adoquines de concreto con PET reciclado. ....</i>	<i>94</i>

<i>Tabla 21 Dosificación en volumen por 0.0016 m<sup>3</sup> de concreto. ....</i>	<i>103</i>
<i>Tabla 22 Dosificación en kilogramos por 0.0016 m<sup>3</sup> de concreto. ....</i>	<i>104</i>
<i>Tabla 23 Capas estructurales de pavimento semirrígido. ....</i>	<i>112</i>
<i>Tabla 24 Número estructural calculado para capas estructurales del pavimento. ....</i>	<i>113</i>
<i>Tabla 25 Resultado de costo unitario Suministro e instalación de adoquines de concreto 10x20x8cm 420 kg/cm<sup>2</sup> con 5% PET Tipo III. ....</i>	<i>115</i>

## ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1 Reposición parcial de carpeta asfáltica en frío post obras de agua potable y alcantarillado en Av. Internacional</i> .....	18
<i>Figura 2 Reposición parcial de carpeta asfáltica en frío post obras de agua potable y alcantarillado Calle Miller</i> .....	19
<i>Figura 3 Codificación de plásticos más comunes</i> .....	30
<i>Figura 4 Adoquines tipo I</i> .....	38
<i>Figura 5 Adoquines tipo II</i> .....	39
<i>Figura 6 Adoquines tipo III</i> .....	40
<i>Figura 7 Tramo en estudio la Av. Humboldt</i> .....	48
<i>Figura 8 Obtención de muestras de material del suelo de fundación existente mediante la perforación de una calicata in-situ</i> .....	56
<i>Figura 9 Obtención de muestras de material del suelo de fundación existente mediante la perforación de una calicata in-situ</i> .....	57
<i>Figura 10 Ensayo C.B.R. de subrasante en laboratorio</i> .....	70
<i>Figura 11 Relación entre el coeficiente estructural para base granular y distintos parámetros resistentes</i> .....	76
<i>Figura 12 Relación entre el coeficiente estructural para subbase granular y distintos parámetros resistentes</i> .....	78
<i>Figura 13 Diseño de dosificación de mezcla de concreto <math>f'c=420\text{kg/cm}^2</math></i> .....	84
<i>Figura 14 Pesaje de los materiales que conforman el adoquín de concreto</i> .....	85
<i>Figura 15 Mezcla de agregados para conformación de mezcla de concreto</i> .....	86
<i>Figura 16 Adoquines de concreto sin PET reciclado</i> .....	87

<i>Figura 17 Pesaje del PET reciclado al 5% para agregar dentro del diseño de mezcla. .</i>	<i>88</i>
<i>Figura 18 Mezcla de los agregados, cemento, agua y PET, según pesos de la dosificación.....</i>	<i>89</i>
<i>Figura 19 Adoquines elaborados con 10% de PET reciclado.....</i>	<i>90</i>
<i>Figura 20 Adoquines elaborados con 15% de PET reciclado.....</i>	<i>91</i>
<i>Figura 21 Ensayo de compresión de adoquines elaborados con 15% de PET reciclado.</i>	<i>92</i>
<i>Figura 22 Ensayo de compresión de adoquines elaborados con 15% de PET reciclado.</i>	<i>93</i>
<i>Figura 23 Diseño de Pavimento articulado con adoquines de concreto propuesto.....</i>	<i>96</i>
<i>Figura 24 Presupuesto de material granular clasificado.....</i>	<i>97</i>
<i>Figura 25 Presupuesto de adoquinado de calzada con adoquín de concreto. ....</i>	<i>98</i>
<i>Figura 26 Análisis de costo unitario 05.03.01 Cama de arena E=0.045m. para adoquines. ....</i>	<i>98</i>
<i>Figura 27 Análisis de costo unitario 05.03.02 Acarreo horizontal de adoquines (720 und/parihuela).....</i>	<i>99</i>
<i>Figura 28 Análisis de costo unitario 05.03.03 Suministro e instalación de adoquines de concreto 10x20x8cm gris 561 kg/cm<sup>2</sup>. ....</i>	<i>99</i>
<i>Figura 29 Análisis de costo unitario 05.03.04 Compactación inicial de superficie adoquinada. ....</i>	<i>100</i>
<i>Figura 30 Análisis de costo unitario 05.03.05 Sello en superficie adoquinada y compactación final.....</i>	<i>101</i>
<i>Figura 31 Dosificación para 1m<sup>3</sup> de concreto para adoquín, en peso y volumen.....</i>	<i>102</i>
<i>Figura 32 Estructura de análisis de costo unitario para la instalación de adoquines en campo.....</i>	<i>103</i>

<i>Figura 33 Estructura de análisis de costo unitario para adoquín de concreto <math>f'c=420</math> kg/cm<sup>2</sup> con 5% PET reciclado. ....</i>	<i>105</i>
<i>Figura 34 Estructura de análisis de costo unitario para Suministro e Instalación de adoquines de concreto 10x20x8CM con 5% PET 420KG/CM2 TIPO III. ....</i>	<i>105</i>
<i>Figura 35 Presupuesto de la capa de rodadura a base de adoquines de concreto por metro cuadrado. ....</i>	<i>106</i>
<i>Figura 36 Análisis de costo unitario para adoquín de concreto <math>f'c=420</math> kg/cm<sup>2</sup> (sin PET). ....</i>	<i>107</i>
<i>Figura 37 Estructura de pavimento flexible en relación al diseño de pavimento elaborado en el presente proyecto de investigación. ....</i>	<i>108</i>
<i>Figura 38 Presupuesto de la capa de rodadura de pavimento asfáltico. ....</i>	<i>109</i>
<i>Figura 39 Presupuesto de pavimento con superficie de rodadura adoquinada. ....</i>	<i>110</i>
<i>Figura 40 Presupuesto de pavimento con superficie de rodadura adoquinada con 5% de PET. ....</i>	<i>110</i>
<i>Figura 41 Presupuesto de pavimento con superficie de carpeta asfáltica. ....</i>	<i>111</i>
<i>Figura 42 Comparación de Presupuestos. ....</i>	<i>117</i>

## RESUMEN

El presente trabajo de investigación propone el diseño de un pavimento con adoquines de concreto con PET reciclado que soporte las cargas móviles a las que será sometido durante el periodo de diseño para el mejoramiento de la infraestructura vial urbano en la Avenida Humboldt, tramo Av. Municipal – Av. Estanislao Córdor, distrito Gregorio Albarracín Lanchipa, provincia de Tacna, región Tacna.

El proyecto se enmarcó en la metodología de investigación aplicada con un nivel de investigación experimental. Se elaboraron tres diseños con PET reciclado: 05%, 10% y 15% en reemplazo del agregado fino; se empleó la metodología AASHTO para el diseño estructural y se determinó el presupuesto para su construcción.

Se obtuvo como resultado del diseño estructural, un pavimento conformado por una carpeta de rodadura de 8cm de espesor constituida por adoquines de concreto con PET al 05% de reemplazo de agregado fino ya que es el único que cumple con las propiedades físico mecánicas para garantizar el diseño estructural; y una capa de base granular de 20cm. Del análisis de costos, el pavimento de adoquín con PET resultó ser menor al pavimento de adoquín de concreto simple, pero esta diferencia es casi imperceptible. Finalmente se concluye que es factible el uso de adoquines de concreto con PET reciclado.

**Palabras clave:** Adoquines de concreto, PET, pavimento, diseño estructural

## ABSTRACT

This research work proposes the design of a pavement with concrete pavers with recycled PET that supports the mobile loads which it will be subjected during the design period for the improvement of urban road infrastructure on Humboldt Avenue, Municipal Avenue section. – Av. Estanislao Córdor, Gregorio Albarracín Lanchipa district, Tacna province, Tacna region.

The project was framed in the applied research methodology with a level of experimental research. Three designs were made with recycled PET: 05%, 10% and 15% to replace the fine aggregate; the AASHTO methodology was used for the structural design and the budget for its construction was determined.

As a result of the structural design, a pavement made up of an 8cm thick rolling layer made up of concrete pavers with PET at 05% of fine aggregate replacement was obtained, since it is the only one that meets the physical-mechanical properties to guarantee the structural design; and a granular base layer of 20cm. From the cost analysis, the PET paver paving was found to be less than the plain concrete paver paving, but this difference is almost imperceptible. Finally, it is concluded that the use of concrete pavers with recycled PET is feasible.

**Keywords:** Concrete pavers, PET, pavement, structural design

## **INTRODUCCIÓN**

La presente tesis propone diseñar un pavimento articulado con adoquines de concreto con PET reciclado para la avenida Humboldt, tramo Av. Municipal – Av. Estanislao Córdor, distrito Gregorio Albarracín Lanchipa, provincia de Tacna, región Tacna. Para ofrecer una alternativa de solución a los desechos que genera la ciudad. De manera que se expone la presente investigación a través de los siguientes capítulos:

En el Capítulo I, encontraremos los aspectos generales de la investigación, se realiza el planteamiento del problema, hipótesis, justificación y objetivos.

En el Capítulo II, se hace mención al marco teórico, conceptos claves y datos relacionados al pavimento articulado con adoquines de concreto con PET reciclado.

En el Capítulo III, se detalla el marco metodológico que sigue la presente investigación, la cual es una metodología de investigación aplicada con un nivel de investigación experimental.

En el Capítulo IV, se detalla el desarrollo de la investigación, para lo cual se elaboraron tres diseños con PET reciclado: 05%, 10% y 15% en reemplazo del agregado fino; se empleó la metodología AASHTO para el diseño estructural y se determinó el presupuesto para su construcción.

En el Capítulo V, se realiza el análisis y discusión de los resultados obtenidos en el diseño de pavimento con adoquín de PET reciclado, las resistencias

alcanzadas en los diseños de mezcla del adoquín con PET reciclado en reemplazo del agregado fino al 05%, 10% y 15%, y el análisis de costos para su construcción.

En el Capítulo VI, obtenemos las conclusiones y recomendaciones producto de la presente investigación.

## **CAPÍTULO I: ASPECTOS GENERALES**

### **1.1 Antecedentes**

#### ***1.1.1 Antecedentes internacionales***

Navas y Rincón (2020), realizaron la una investigación denominada “Adoquín avanzado, un prototipo de pavimento articulado para vías de alto flujo vehicular”, en el cual busca sustentar, mediante ensayos de laboratorio, la calidad del prototipo de adoquín de concreto de alto desempeño elaborado con materiales residuos. Los autores concluyeron que en la resistencia del Adoquín Avanzado de 6000 Psi, la absorción es representada en poncentaje de 7%. Con un porcentaje de desgaste menor al 50%, el cual al ser aplicado en la ecuacion de fatiga, resultan ejes equivalentes necesarios para una via de alto flujo vehicular. Por otro lado los resultados de los ensayos fisicoquímicos arrojaron que los residuos proveninetes de cantera no tubieron relevancia en los resultados de laboratorio, de manera que causó un mejor desempeño del adoquin en su vida util como pavimento articulado que soportará un alto flujo vehicular. (Navas y Rincón, 2020).

Gamez (2020) en el trabajo de grado “Desarrollo de prototipo de adoquín de concreto con adición de polietileno de alta densidad para pavimentos con bajos volúmenes de tránsito” diseñan un prototipo de adoquín en el que en su mezcla se empleó el Polietileno de Alta Densidad (PEAD). Para conseguir los objetivos propuestos, primero realizaron un estudio previo en el mercado colombiano donde

buscaron productos similares en el que hayan incluido algún material reciclado. Después, realizaron adoquines con diferentes porcentajes de PEAD en reemplazo del agregado fino. Luego, procedieron a realizar los ensayos de laboratorio y de esa manera obtener los resultados de los distintos adoquines realizados con diferentes porcentajes de PEAD. A partir de los resultados que obtuvieron del laboratorio, determinaron cual de los adoquines cumplen con los requerimientos técnicos según la normatividad de su país, de igual forma determinaron también la viabilidad económica de los adoquines modificados con PEAD. Su estudio concluyó en que los adoquines de PEAD en la resistencia a la flexotracción muestra que los elementos con un 4% y 6% cumplieron con lo mínimo exigido en la norma NTC 2017. Sin embargo, la absorción de agua es mayor al 7%, aun así, no se descarta el uso en pavimentación. Su producción significa un costo mayor al adoquín convencional (Gamez, 2020).

Ramirez et al. (2020) en el artículo publicado “Propuesta de adoquines hechos a base de caucho reciclado” propone una dosificación para adoquín de concreto cuyo material añadido será caucho reciclado. La investigación es de tipo cualitativa. Existen antecedentes de este proyecto en los cuales se ha implementado el caucho reciclado en la creación de elementos constructivos, cuyos resultados de laboratorio son utilizados para establecer parámetros de resistencia a fuerzas y factores externos. De manera que para delimitar el óptimo porcentaje

estimado a usar, se comprobó la información en concordancia con la normativa y reglamentos de construcción para el reemplazo de agregado del concreto. En los resultados se obtiene que el caucho tiene propiedades de impermeabilidad y aislamiento acústico, sin embargo, es un material altamente inflamable. Los requisitos básicos de un adoquín son su forma tipo lego y una resistencia mínima de 3500 psi. Los adoquines de caucho sometidas a un clima cálido presenta partes blandas no aptas para resistir cargas y que mezclados con otros materiales comunes de construcción tienen mejor comportamiento y mayor durabilidad. Se usó entre 15% y 23% de caucho debido a que entre estos porcentajes se cumplía con las normas técnicas locales para adoquines. Los autores concluyen que la reutilización de residuos de neumáticos son completamente reutilizables no solo en la construcción sino en muchos más campos de estudio. El complemento óptimo de este material en la fabricación de productos para la construcción permite el aumento en la resistencia y durabilidad de estos. (Ramirez et al., 2020).

Xinyi et al. (2019) en el artículo “Material Characterization for Sustainable Concrete Paving Blocks” tiene como objetivo estudiar las variaciones de propiedad de los adoquines de hormigón sostenible que incorporan diferentes contenidos de residuos de la construcción. En este proyecto se utilizaron cinco tipos diferentes de materiales de desecho, que incluyen: agregado grueso de concreto reciclado (RCCA), agregado fino de concreto reciclado (RCFA), vidrio triturado (CG),

caucho en migajas (CB) y escoria de alto horno granulada molida (GGBS). De acuerdo con los resultados de las pruebas de las propiedades de los bloques mezclados con diferentes niveles de materiales de desecho, se concluye que agregar tanto RCCA como RCFA en el bloque puede disminuir su resistencia y aumentar la absorción de agua. Los niveles de reemplazo sugeridos para RCCA y RCFA son 60% y 20%, respectivamente. Mezclar vidrio triturado en los adoquines de concreto como un tipo de agregado grueso puede mejorar la resistencia de los bloques y disminuir la absorción de agua de los bloques. La adición de caucho granulado provoca un deterioro significativo de las propiedades de los bloques, excepto por su resistencia al deslizamiento (Xinyi et al., 2019).

Hernández (2018) realizó un trabajo de investigación titulada “Pavimentos de adoquines de concreto una solución ambiental en la construcción de la infraestructura vial colombiana”. Su metodología consistió en revisión bibliográfica, análisis de variedad de documentos como los documentos académicos, artículos científicos, especificaciones constructivas y lecturas de opinión sobre los pavimentos de adoquín de concreto o articulados, ya sea en formato físico o digital. El autor propone el uso de pavimento de adoquín de concreto para mitigar los daños ambientales que se provoca durante la construcción o mantenimiento de alguna red vial, ya que los materiales a emplear y el proceso constructivo no provocan daños ambientales como la contaminación atmosférica

provocado por las emisiones de polvo durante el proceso constructivo, esto sí ocurre con los pavimentos flexibles (asfálticos) y rígidos (concreto). Finalmente el autor recomienda la evaluación de esta alternativa de construcción de pavimento con la finalidad de producir carreteras ecológicas, que aseguren comodidad, disminuya el riesgo ambiental y ofrezca seguridad al usuario. (Hernández, 2018).

Martínez et al. (2018) en el artículo publicado “Plástico (PET) de reciclaje molido usado en adoquines de concreto” la cual tiene el objetivo de analizar la resistencia a la compresión de adoquines añadiendo plástico reciclado. Se realizaron adoquines, cuyas medidas fueron 10x15x8cm, con mezcla convencional y sustituyendo el agregado fino en 15%, 20% y 25% por plástico (PET) molido reciclado, para ser evaluado en el ensayo de compresión. Los resultados del ensayo fueron que los adoquines con 15% de PET ( $208 \pm 18,08 \text{kg/cm}^2$ ) arrojó el mayor resultado de los tres diseños, mientras que el de 25% fue el menor ( $93 \pm 19,54 \text{kg/cm}^2$ ), determinándose diferencias estadísticamente importantes con respecto a los adoquines patrones ( $p < 0,0001$ ). Finalmente, los autores concluyen que mientras se aumente más PET reciclado en la mezcla para elaboración de adoquines, la resistencia a la compresión baja, recomendándose su aplicación en exteriores o cuando la resistencia no sea un requisito fundamental para su funcionamiento. (Martínez et al., 2018).

Estrada (2017) en su trabajo de grado “uso de material reciclado de tereftalato de polietileno, PET, como Agregado fino para mezclas de concreto, para la elaboración de adoquines” tiene como objetivo usar PET triturado reciclado para la fabricación de adoquines de concreto, y así disminuir el impacto ambiental que genera el PET. El tesista adquirió el PET de una recicladora de plásticos. Luego se hizo el diseño de mezcla de concreto añadiendo el PET. Además, los adoquines se fabricaron a través de un equipo mecánico. Posterior a eso, se midieron las características físico y mecánicas de los adoquines a través de ensayos, los cuales se realizaron en mérito a las especificaciones de la Comisión Guatemalteca de Normas (Coguanor), para adoquines de concreto. Los resultados de este estudio indican que la mezcla de concreto del adoquín no alcanza las mínimas características requeridas, según norma de Guatemala, comparadas con adoquines sin PET (Estrada, 2017).

Vargas (2017) en su trabajo de investigación “Modelación de adoquines de material reciclado PET como elemento de rodadura en vías de bajo tráfico” el objetivo es “estudiar el comportamiento de adoquines de PET reciclado en estructuras de pavimentos mediante un modelo numérico en elementos finitos”. Se generó una estructura de pavimento conformada por cuatro capas: PET reciclado, material granular para capa base, material granular para capa subbase y el suelo natural. En la elaboración del modelo se asumió que son materiales elásticos lineales, es decir, que recuperan su forma inicial después de ser sometidos a cargas

y que los materiales son homogéneos e isotrópicos y se despreció el factor clima y de la temperatura. Se modelaron diferentes casos de posicionamiento de los adoquines para espesores variables: adoquín espesor de 6cm con separación de 0,5 cm, 1 cm y 3 cm; y adoquín de espesor 7 cm con separación de 0,5 cm, 1 cm y 3 cm. Finalmente los resultados indicaron que el adoquín de 7 cm estándar (rectangular) presentó un mejor comportamiento, es decir, que los valores de esfuerzo, deformación y desplazamiento vertical fueron menores a los resultados del adoquín de 6 cm. El adoquín con geometría de placa de 0,3 m x 0,3 m con espesor de 7 cm fue el elemento que presentó valores altos de esfuerzo y deformación vertical. Asimismo, se observó que la junta de 0,5 cm tiene un mejor desempeño comparada con los demás espesores ensayados. (Vargas, 2017).

Caicedo (2016) en su proyecto de grado “Diseño de un pavimento articulado con adoquines compuestos por reciclados de concreto como fino y cenizas provenientes del bagazo de la caña de azúcar como reemplazo parcial del cemento Portland” tiene como objetivo el diseño de un pavimento articulado con adoquines de concreto compuestos por agregados (ARC) y cenizas derivadas del bagazo de caña de azúcar (CBC). En su investigación se evaluaron tres mezclas, la referencia (concreto convencional), la mezcla 1 (20%CBC - 50%ARC) y la mezcla 2 (20%CBC – 100%ARC). Los resultados de la mezcla 1 son resistencias parecidas a la mezcla de referencia a los 56 días (aprox. 24Mpa) a diferencia de la mezcla 2

que presentó resistencias inferiores a la resistencia de la mezcla de referencia (aproximadamente 10Mpa) siendo ensayadas a la misma edad. Finalmente recomienda el uso de la mezcla 1 para la fabricación de adoquines. (Caicedo, 2016).

Santiago et al. (2015) presentan los resultados de su investigación en el artículo “Diseño y elaboración de adoquines de PET reciclado”. El estudio contempla el diseño y fabricación de adoquines PET (Tereftalato de Polietileno) reciclado como alternativa de disminución del impacto ambiental del plástico PET. El adoquín de RPET (pet reciclado) se diseñó para su inclusión como capa de rodadura en pavimento. Se establecieron 4 etapas en el proyecto: diseño del adoquín utilizando el programa Solidworks® y la herramienta de Cosmos Express, el cual optimiza el diseño, determina la masa y analiza cargas y esfuerzos; diseño y maquinado del molde de aluminio 6063; fabricación de muestras de adoquín empleando pet, con la adición de aditivos y estabilizadores para asegurar el desempeño del adoquín cuando sean puestas a prueba sus propiedades mecánicas, de manera que se evita el deterioro prematuro del PET; aprobación de la resistencia térmica y las propiedades mecánicas, los resultados de los ensayos sometidos al adoquín fue una resistencia máxima de 49,987.5 Newtons en un tiempo de 80.71 segundos, con una deformación de 5.379 mm. Finalmente, el estudio concluyó que el adoquín de PET reciclado es un producto ecoamigable que contribuye al

desarrollo sostenible del medio ambiente y a la propuesta de nuevas formas de negocio.

Sañudo (2014) en la tesis doctoral “Análisis de la infiltración de agua de lluvia en firmes permeables con superficies de adoquines y aglomerados porosos para el control en origen de inundaciones” realiza un estudio detallado de la infiltración del agua de lluvia a través de los firmes permeables, cuyo propósito es mitigar las inundaciones generadas en la zona urbana de manera sostenible. En ella estudia algunas secciones de firmes permeables más usadas en el mundo (asfalto poroso, hormigón poroso, adoquines impermeables con ranuras). Concluyendo que los firmes permeables (entre ellos el adoquín con ranuras) tienen una ventaja debido a su gran capacidad para infiltrar el agua de lluvia, de esta manera se atenúa los niveles de caudal en la escorrentía de la superficie y se reduce las consecuencias de las inundaciones. Asimismo el autor de la tesis estableció que los firmes permeables más empleados en el mundo son el concreto poroso en superficie, en segundo lugar se encuentran los adoquines de concreto impermeables y en tercer lugar por las superficies de asfalto poroso. (Santiago et al., 2015).

### ***1.1.2 Antecedentes nacionales***

Rodríguez y Villarreal (2020) en la tesis “Efecto de las partículas de tereftalato de polietileno reciclado en la resistencia a la compresión y desgaste de

adoquines de concreto” tiene como objetivo mejorar la resistencia de compresión y desgaste de adoquines tipo I convencionales añadiendo a la mezcla partículas de tereftalato de polietileno reciclado, tomando como referencia la NTP.399.611 y NTP.399.624. Los autores realizaron el diseño de mezcla óptimo y adecuado. Pasaron a moldear los adoquines y evaluaron la resistencia a la compresión de las muestras mediante el ensayo de laboratorio a los siete, catorce y veintiocho días de edad, así también se determinó el porcentaje de desgaste mediante el ensayo de abrasión a los veintiocho días en el cual se concluye que el PET reciclado o tereftalato de polietileno reciclado influye positivamente la resistencia a la compresión y desgaste de los adoquines. En la investigación se concluyó que al incorporar 3% de tereftalato de polietileno al adoquín, la resistencia alcanzada a los veintiocho días aumenta en un 10.67% y la resistencia al desgaste por abrasión disminuyó en un 10.02 g/min en relación a la muestra patrón.

Tocto (2020) en la tesis “Análisis de ciclo de vida comparativo del adoquín para pavimento peatonal reciclado versus el convencional” tiene como objetivo evaluar los impactos ambientales generados por el adoquín peatonal convencional y el adoquín de material reciclado empleando el Análisis de Ciclo de Vida estipulada en las normas ISO 14040 e ISO 14044. Se toma como muestra de ensayo a 1 m<sup>2</sup> de superficie de pavimento, a la cual le hará la evaluación de impacto ambiental de ciclo de vida en 3 diferentes categorías. Después de realizar la

evaluación y comparación en el adoquín reciclado y el adoquín convencional, ambos tomando como patrón 1 m<sup>2</sup> de superficie, estableciendo las categorías de consumo de energía primaria, agotamiento de mineral y potencial calentamiento global, los resultados determinaron que el pavimento de adoquín tradicional alcanza la contaminación de 56%, 53% y 46%, más que el pavimento de adoquín reciclado, respectivamente. De manera que queda demostrado que el adoquín reciclado representa un menor impacto ambiental debido a que se reutiliza los restos de demolición y construcción.

Esteban (2018) elaboró la tesis “Reaprovechamiento de los residuos de construcción y demolición, como agregado reciclado para la elaboración de adoquines, 2018” cuyo objetivo fue calcular el óptimo porcentaje de agregado reciclado proveniente de desechos de demolición y construcción, para elaborar adoquines de propiedades físicas y mecánicas semejantes a los convencionales. Esta investigación consistió en la elaboración de los adoquines artesanalmente, incorporándose el agregado reciclado en porcentajes de 30%, 50% y 80% a la mezcla de los adoquines de concreto. Se realizó los ensayos de granulometría, peso específico, contenido de humedad, ensayo de absorción y peso volumétrico compactado; tanto a los agregados naturales como a los agregados reciclados. Posteriormente se verificaron las propiedades físicas (textura, dimensión, color y peso), tanto de los adoquines tradicionales como de los adoquines con agregado

reciclado. Se realizó el ensayo de resistencia a la compresión y el ensayo a la absorción, a los 7, 14 y 28 días para el caso del primero, y en el caso del segundo solo a los 28 días de edad. El autor concluyó que las propiedades físico mecánicas son mayores a medida que se agregue menos agregados proveniente de residuos de demolición y construcción.

Rey (2018) en la tesis “Propiedades físico – mecánicas de adoquines con polipropileno y caucho al 10% y 15% de reemplazo del agregado grueso, para su utilización en tránsito liviano en pavimentos articulados” consistió en la comparación de las propiedades físico-mecánicas de adoquines elaborados con sustitución de su agregado grueso al 10% y 15% de polipropileno y caucho. Se ensayó las muestras aplicando la NTP 399.604. Se elaboró el diseño de mezcla para tres tipos diferentes de adoquines: el convencional, y adoquines reemplazando 10% y 15% del agregado grueso en volumen con caucho y polipropileno. Después de moldearlos y esperar el tiempo de curado, se hicieron los ensayos de absorción, resistencia a flexión y resistencia a la compresión. La tesis concluyó que los adoquines con 10% de polipropileno son mejores en sus propiedades físico mecánicas, mientras que los adoquines con 15% y los adoquines convencionales tienen propiedades similares, sin embargo, se observó que las características de los adoquines con 10% de caucho no cumplen con lo estipulado en la norma.

Ledezma y Yauri (2017) en la tesis “Diseño de mezcla del concreto para elaboración de adoquines con material reciclado de neumáticos en la provincia de Huancavelica”, tiene como objetivo evaluar la influencia del residuo proveniente de neumático en el diseño de mezcla, y resultados de ensayo de resistencia a compresión y tensión en el concreto, para la elaboración de adoquines en la Provincia de Huancavelica. Se elaboró la mezcla seca bajo la norma ASTM, adicionándose el material reciclado de neumáticos y en algunas muestras se incorporó aire. Los resultados arrojaron que las muestras con contenido de aire presenta mayor resistencia a la compresión y tensión a causa del polvo de llanta el cual fue adherido. Finalmente, el autor concluye que la aplicación del polvo de neumático de tamaño aleatorio al 25% en peso es viable, debido a que las propiedades del concreto no son alteradas negativamente, asimismo, se convierte en una unidad más liviana y contribuye positivamente al medio ambiente reutilizando los desechos de caucho.

Meza (2018) desarrolló la tesis “Propiedades físico – mecánicas de adoquines elaborados con plástico reciclado para pavimento peatonal en el centro comercial Tambo Plaza, Lurín - 2017” cuyo objetivo general es evaluar el desempeño y las propiedades físico-mecánicas del adoquín de concreto, al ser añadido plástico reciclado en la mezcla, como parte de un pavimento peatonal en el centro comercial Tambo Plaza Lima Sur, Distrito de Lurín. Esta investigación es

del tipo aplicada con un enfoque cuantitativo. El nivel de investigación es explicativo con un diseño experimental (cuasi – experimental). Para esta investigación se tomó la muestra de un total de 44 adoquines, lo cuales 9 de ellos no tienen plástico reciclado añadido, 11 tienen plástico reciclado en un reemplazo de 3%, 11 en 5% y los últimos 11 en 8%. Las muestras de 3%, 5% y 8% fueron sometidas a ensayos para determinar las propiedades físicas y mecánicas logrando obtener propiedades similares a las del adoquín convencional (sin plástico reciclado).

## **1.2 Planteamiento del Problema**

El hombre ante la necesidad de transitar con comodidad desarrolló la construcción de superficies adecuadas impulsando así el origen del adoquín (Zorío, 1987).

En algunos países de Latinoamérica, los pavimentos articulados usualmente se aplican en zonas cuyo pavimento soportan un volumen de tránsito bajo como lo son los de uso peatonal y en áreas residenciales o viviendas. El pavimento articulado, el cual se constituye por adoquines, es utilizado en vías cuyo flujo de tránsito vehicular es bajo o liviano (Navas y Rincón, 2020).

En el Perú, los pavimentos de adoquines se aplican usualmente en avenidas, caminos, estacionamientos y en zonas internas de urbanizaciones residenciales (Rey, 2018).

En nuestra localidad, la construcción de vías urbanas y rurales se ha limitado al uso de pavimentos flexibles, pavimentos rígidos y, en algunos casos, la combinación de ambos. Entonces, la ciudad de Tacna presenta calles y avenidas deteriorándose progresivamente. Asimismo, el mal uso de estas pistas y reducido mantenimiento, causa molestia e incomodidad en los pobladores, debido a que dificulta el desplazamiento de un lugar a otro.

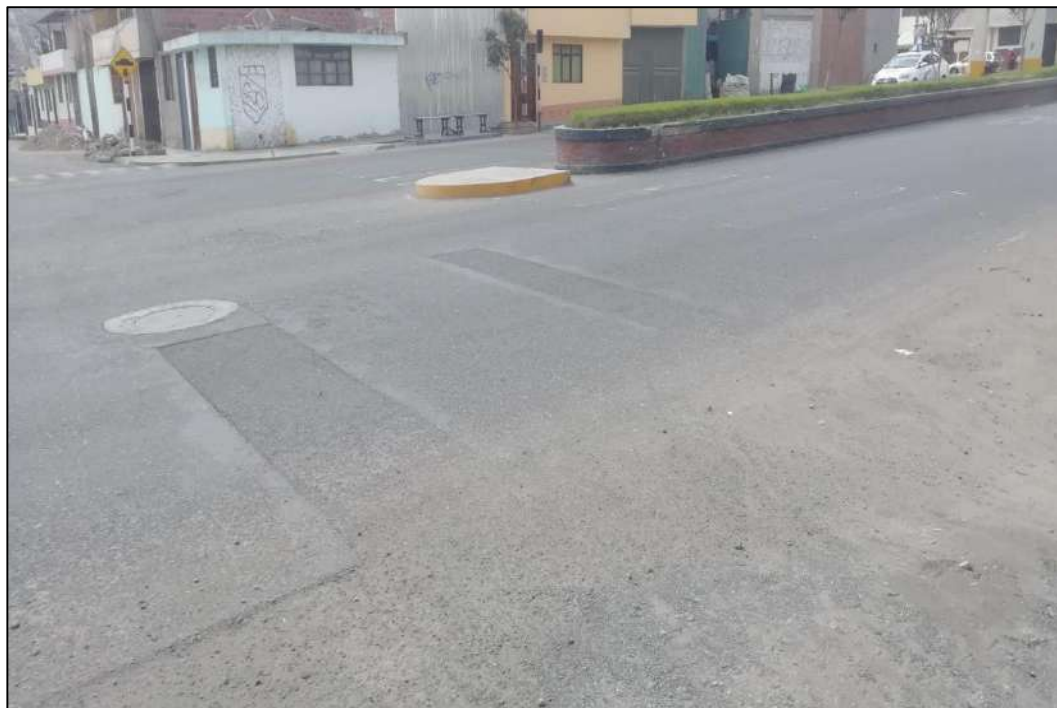
La construcción de pavimentos flexibles es visiblemente la más usada en la zona urbana, por lo que, frente a una intervención necesaria por debajo de su estructura implica la destrucción parcial de la misma y su reconfiguración posterior no siempre es íntegra. De manera que se origina la problemática respecto al accionar de las empresas prestadoras de servicios públicos, esto proyecta la formación de “cicatrices” en las vías de la ciudad (ver figuras 1 y 2).

En distintos distritos de nuestra localidad, es llevado a cabo construcciones de vías urbanas a base asfalto y base granular (pavimento flexible) y que posteriormente se han visto afectadas, y en el peor de los casos colapsadas, por construcciones posteriores: obras de mejoramiento de agua potable y desagüe. Este tipo de construcciones involucra el corte de la estructura de pavimento. Esta acción provoca que, al término de las instalaciones de redes de agua potable y desagüe, la rasante del pavimento quede desnivelado o presente deformaciones por deficiencias en el proceso constructivo.

Según Rey (2018) la aplicación de pavimentos articulados ha sido excluido frente al uso de otros pavimentos, por lo que no ha surgido la necesidad de estudiar las causas de los daños y deformaciones a este tipo de pavimentos, así como también, soluciones efectivas que garanticen el buen comportamiento.

**Figura 1**

*Reposición parcial de carpeta asfáltica en frío post obras de agua potable y alcantarillado en Av. Internacional*



*Nota.* La figura muestra estado actual de las vías que fueron afectadas por las demoliciones por trabajos de renovación de redes de agua potable y alcantarillado en Av. Internacional, distrito de Alto de la Alianza, provincia y departamento de Tacna. Fuente: Propia (2021).

## **Figura 2**

*Reposición parcial de carpeta asfáltica en frío post obras de agua potable y alcantarillado Calle Miller*



*Nota.* La figura muestra estado actual de las vías que fueron afectadas por las demoliciones por trabajos de renovación de redes de agua potable y alcantarillado en Calle Miller, distrito de Tacna, provincia y departamento de Tacna. Fuente: Propia (2021).

Por otro lado, la expansión urbana y suburbana va en aumento. La ciudad de Tacna tiene una tasa de crecimiento total 11,66% (INEI, 2021), cuyo dato es uno de los indicadores demográficos más altos a nivel nacional. Ello se ve reflejado en la existencia de muchas calles no pavimentadas y con necesidad de reparación, lo

que conlleva a la necesidad permanente de ampliar y mejorar la infraestructura vial, la distribución de los servicios básicos e inclusión de nuevas redes con la aplicación de tecnologías eco amigables.

### **1.3 Formulación del Problema**

#### ***1.3.1 Interrogante General***

- ¿De qué manera el uso de adoquines de concreto con PET reciclado mejorará la infraestructura vial urbano en la Avenida Humboldt, tramo: Av. Municipal – Av. Estanislao Córdor, distrito Gregorio Albarracín Lanchipa – Tacna, 2021?

#### ***1.3.2 Interrogantes Específicos***

- ¿La estructura de un pavimento con adoquines de concreto con PET reciclado soportará las cargas móviles a las que será sometido durante el periodo de diseño, en la Avenida Humboldt, tramo: Av. Municipal – Av. Estanislao Córdor, distrito Gregorio Albarracín Lanchipa – Tacna, 2021?
- ¿El adoquín de concreto con PET reciclado al 05%, 10% y 15% cumplirán con las propiedades físico-mecánicas para garantizar el cumplimiento del diseño estructural?
- ¿La construcción de pista con adoquines de concreto con PET reciclado genera un costo elevado en la Avenida Humboldt, tramo: Av. Municipal -

Av. Estanislao C3ndor, distrito Gregorio Albarrac3n Lanchipa – Tacna, 2021?

## **1.4 Formulación de Hip3tesis**

### ***1.4.1 Hip3tesis general***

- El uso de adoquines de concreto con PET reciclado mejora la infraestructura vial urbano en la Avenida Humboldt, tramo av. Municipal – Av. Estanislao C3ndor, distrito Gregorio Albarrac3n Lanchipa – Tacna, 2021.

### ***1.4.2 Hip3tesis espec3ficas***

- El dise1o estructural de un pavimento con adoquines de concreto con PET reciclado soporta las cargas m3viles a las que ser3 sometido durante el periodo de dise1o, en la Avenida Humboldt, tramo Av. Municipal – Av. Estanislao C3ndor, distrito Gregorio Albarrac3n Lanchipa – Tacna, 2021.
- El adoqu3n de concreto con PET reciclado al 05%, 10% y 15% cumple con las propiedades f3sico-mec3nicas para garantizar el cumplimiento del dise1o estructural.
- El costo de construcci3n de pista con adoquines de concreto con PET reciclado no es elevado en la avenida Humboldt, tramo Av. Municipal – Av. Estanislao C3ndor, distrito Gregorio Albarrac3n Lanchipa – Tacna, 2021.

## **1.5 Justificación**

### **Justificación desde el punto de vista social:**

El incremento poblacional en las ciudades de las primeras civilizaciones y la necesidad de comunicación entre los pueblos, ya sea para el suministro de alimentos y transportarlos a otros consumidores, impulsó la creación de caminos.

Desde tiempos inmemorables, la viabilidad ha sido el principal medio de comunicación. Las primeras personas en construir caminos probablemente aplicaron su técnica en las regiones de medio Oriente, lugar de aparición de la rueda lo que supone que sintieran la necesidad de conformar el terreno de tal manera que resulte confortable transitar (Zorío, 1987).

En la actualidad la comunicación entre las ciudades y la descentralización obliga a desarrollar e implementar permanentemente materiales y técnicas de construcción que se ajusten a la necesidad del ciudadano residente. Esta investigación es realizada con la finalidad de solucionar la incomodidad del ciudadano frente a aquellos problemas que se generan por las empresas prestadoras de los servicios públicos al hacer las reparaciones, con ello, se presenta una alternativa que busca mitigar la extensión de cicatrices en las vías de la ciudad, producto de estos trabajos, facilitando las reparaciones o conexiones nuevas que se realicen por debajo del pavimento articulado.

### **Justificación desde el punto de vista científico:**

Según Cieza (2015) existe un avance tecnológico emergente de materiales para construcción en pavimentos articulados, lo que implica un nuevo tipo de diseño que permita un buen desempeño estructural. Entonces, surge la necesidad de investigar el comportamiento estructural de un pavimento articulado donde la capa superficial sea a base de adoquines de concreto y con ello, proponer un prototipo que sirva como base para potenciar su uso.

### **Justificación desde el punto de vista ambiental:**

Por otro lado, la identificación de problemas ambientales causados por los Depósitos de Materiales Excedentes (DME) de demolición de pavimentos y de construcción, sumado a ello, la progresiva exigencia de materias primas para materiales de construcción y la reducida disponibilidad de recursos naturales originó una ascendente concientización vinculada a la continua aplicación de la ingeniería sustentable a nivel mundial. (Ocaranza et al., 2013).

López (2008) afirma que una solución para reducir el impacto generado al ambiente, es la reutilización y el reciclaje de sus productos.

En los países en vías de desarrollo, existe aún el problema de acumulación de residuos ya que aún no se ha tomado conciencia suficiente que permita conservar los recursos naturales y materias primas a través de la reducción, reutilización y reciclaje de residuos sólidos (Araujo, 2011).

El uso de adoquines de concreto es poco frecuente en las calles de nuestra localidad. Existen adoquines que resisten hasta de 561 kg/cm<sup>2</sup> en el mercado nacional destinados para tránsito pesado, patios industriales y menores, como bien al menos un fabricante garantiza la durabilidad del producto frente a fracturas por temperaturas extremas. El empleo del adoquín habitualmente no requiere mano de obra calificada para su instalación, además, se desinstala con facilidad lo que significa que podría reutilizarse ya sea en el mismo lugar o trasladarlo a otro, sin perder sus características originales, por otro lado, su uso resultaría ecológico ya que no intervienen procesos químicos en la construcción de este pavimento.

Cada día que pasa se incrementa la acumulación de desechos reciclables, y ante esto, los más comunes son las fibras plásticas los cuales poseen alto porcentaje de biodegradabilidad, para el aprovechamiento de estos recursos se está intentando utilizarlos para la fabricación de adoquines, los cuales pretende sustituir el agregado en la fabricación de los adoquines con la finalidad de obtener un producto cuyas propiedades físicas y mecánicas sean similares o superen al adoquín convencional. Además, que cumpla con lo estipulado en las normas técnicas peruanas y los reglamentos de edificación vigentes.

### **Justificación desde el punto de vista económico:**

Rey (2018) afirma que la alternativa de pavimentación más económica es la articulada. Debido a las ventajas que posee el adoquín: fácil de colocar,

reemplazable cuando está deteriorado, rápido aparejo y confinamiento. Es por ello, que el desarrollo de este trabajo permitiría conocer los costos de construcción de un pavimento articulado además de ofrecer una alternativa económico sustentable.

Lo que se pretende en esta investigación es proponer una alternativa a los ya existentes, y así potenciar el uso de este tipo de pavimento, resaltando las ventajas en el aspecto económico, proceso de instalación y el rendimiento en su ciclo de vida.

## **1.6 Definición de Objetivos**

### ***1.6.1 Objetivo general***

- Usar adoquines de concreto con PET reciclado para mejorar la infraestructura vial urbano en la Avenida Humboldt, tramo Av. Municipal – Av. Estanislao Córdor, distrito Gregorio Albarracín Lanchipa – Tacna, 2021.

### ***1.6.2 Objetivos específicos***

- Diseñar estructuralmente un pavimento con adoquines de concreto con PET reciclado que soporte las cargas móviles a las que será sometido durante el periodo de diseño, en la avenida Humboldt, tramo av. Municipal, av. Estanislao Córdor, distrito Gregorio Albarracín Lanchipa, Tacna.

- Verificar si el adoquín de concreto con PET reciclado al 05%, 10% y 15% cumple con las propiedades físico-mecánicas para garantizar el cumplimiento del diseño estructural.
- Determinar el costo de construcción de pista con adoquines de concreto con PET reciclado en la Avenida Humboldt, tramo Av. Municipal – Av. Estanislao Córdor, distrito Gregorio Albarracín Lanchipa – Tacna, 2021.

## **CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO**

### **2.1 Bases teóricas**

#### **2.1.1 Tipos de plástico**

Quevedo y Guamán (2013) afirman que existen más de 100 tipos de plásticos y los más comunes son seis:

a) Polietileno tereftalato (PET)

Principalmente es utilizado en envases para bebidas gasificadas, cosmético, aceites entre otros. También es usado en fibras textiles, películas transparentes, películas radiográficas, laminados de barrera en productos alimenticios, envases al vacío, en cintas de video y audio. “A partir del petróleo crudo, se extrae el paraxileno y se oxida con el aire para dar ácido tereftálico. El etileno, que se obtiene a partir de derivados del gas natural, es oxidado con aire para formar etilenglicol” (Quevedo y Guamán, 2013).

b) Polietileno de Alta Densidad (PEAD)

El polietileno de alta densidad es un termoplástico fabricado a partir del etileno, uno de los componentes del gas natural. Es generalmente usado en aceites de vehículos, envases para detergentes, bolsas para supermercados, lácteos, shampoo, cajas de almacenamiento de bebidas gaseosas y cervezas, así como en baldes de pintura, agua potable, helados, minería, telefonía, tuberías para gas, drenaje y uso sanitario (Quevedo y Guamán, 2013).

c) Cloruro de Polivinilo (PVC)

Ese tipo de plástico se produce a partir de dos materias primas naturales, petróleo o gas 43% y sal común 57 %. Su versatilidad le permite obtener productos de variadas propiedades para un gran número de aplicaciones. Es usado para perfiles, marcos de ventanas, puertas, tuberías para desagües y de redes, mangueras, cables, cuerina, catéteres, bolsas para sangre, pilas, juguetes, envolturas para golosinas, películas flexibles para envasado de alimentos (Quevedo y Guamán, 2013).

d) Polietileno de baja densidad (PEBD)

Se produce a partir del gas natural al igual que el PEAD. Es de gran versatilidad y se procesa de diversas formas: inyección, extrusión, soplado, roto moldeo.

Se usa para bolsas de supermercados, boutiques, panificación, congelados, industriales, etc. Películas para recubrimiento de superficies en el agro, envasamiento automático de alimentos y productos industriales, etc. Otras aplicaciones que se le da es en la fabricación de pañales desechables, bolsas para suero, contenedores herméticos domésticos, tubos, pomos para cosméticos y medicamentos (Quevedo y Guamán, 2013).

e) Polipropileno (PP)

El polipropileno es un termoplástico que se obtiene por polimerización del propileno. El PP es el termoplástico de más baja densidad, elevada rigidez, alta cristalinidad, elevado punto de fusión y alta resistencia química. Al adicionarle otros materias como talco, caucho, fibra de vidrio, etc., potencian sus propiedades hasta transformarlo en un polímero de ingeniería. Se utiliza en películas o film para alimentos, snacks, cigarrillos, chicles, golosinas e indumentaria, en bolsas tejidas para papas, envases industriales, hilos cabos, cordelería, tuberías para agua caliente, jeringas descartables, tapas en general, cajones para bebidas, baldes para pintura, helados, potes para margarina, fibras para tapicería, cubrecamas, telas no tejidas como pañales desechables, alfombras, cajas de batería, parachoques y autopartes (Quevedo y Guamán, 2013).

f) Poliestireno (PS)

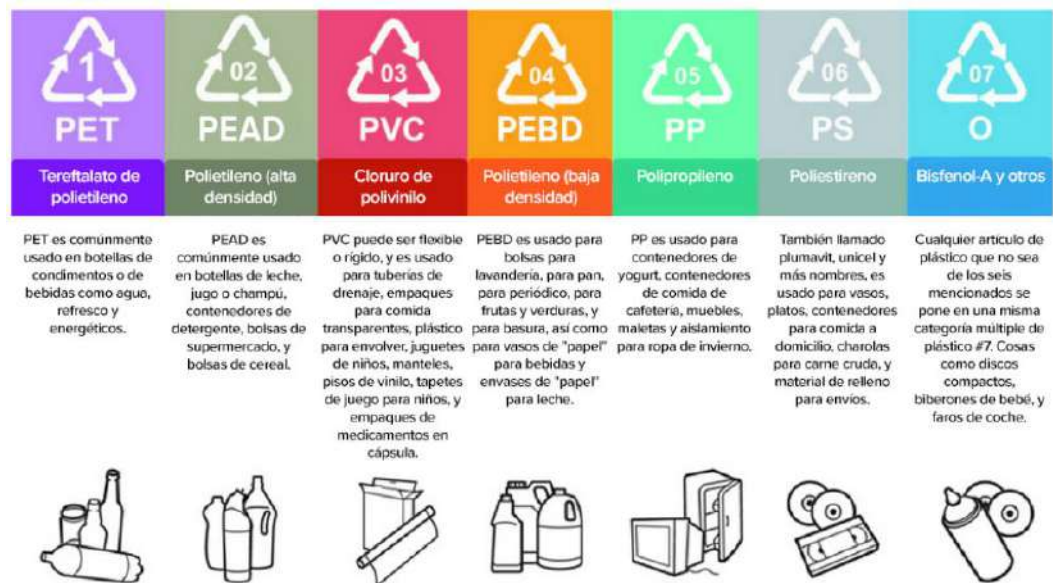
Según Pastor et al (2015) como se citó en Meza (2018) este plástico es de estireno monómero que deriva de petróleo; es un polímero que se utiliza para realizar envases, ya que es fácil de manipular, cortar y perforar.

El poliestireno se usa en potes para yogurt, postres, helados, dulces, vasos, bandejas de supermercados. También en contrapuestas, anaqueles, máquinas

de afeitar descartables, platos, cubiertos, bandejas, juguetes, cassetes, etc (Quevedo y Guamán, 2013).

**Figura 3**

*Codificación de plásticos más comunes*



*Nota.* Se aprecia en la figura anterior un cuadro resumen de los plásticos más comunes cortesía de Greenpeace. Fuente: Plastic oceans (2022).

### 2.1.2 Reciclaje del PET

El reciclado del PET es acondicionar el material con la finalidad de transformarlo en materia prima y así nuevamente incluirlo en un proceso productivo (Tecnología de los plásticos, 2011).

“La Food and Drug Administration (FDA) no permitió durante años el uso de materiales reciclados en aplicaciones destinadas al contacto con alimentos. Por consiguiente, había que utilizar el PET en aplicaciones que no implicaran tal contacto, sin embargo, existen otros usos importantes del PET reciclado como en la fabricación fibra. Otros productos del PET son los tejidos de poliéster para las camisetas y las sábanas. Existen tres sistemas de reciclado de envases de PET una vez que terminó su vida útil: reciclado mecánico, reciclado químico y reciclado energético empleándolos como fuente de energía” (Tecnología de los plásticos, 2011).

#### ***2.1.2.1 Reciclado mecánico***

Es el proceso de reciclado más utilizado, pasan por tres etapas: separación, limpieza y molido. Después de ser seleccionados, los plásticos son separados de sus etiquetas y/u otros materiales que lo envuelvan, luego pasan por una trituradora. El orden de etapas de este proceso puede variar, esto dependerá de lo contaminado que pueda estar los plásticos y la calidad del producto a reciclar. Luego se lava el producto para separarlo de las sustancias contaminantes tantas veces sea requerido. Después el producto pasa por una centrifuga y secadora para luego ser almacenado. El producto se alimenta a una extrusora, y, tras el proceso de granceado, se obtiene

la granza (PET reciclado) para usarla como materia prima (Tecnología de los plásticos, 2011).

### 2.1.2.2 *Propiedades del PET reciclado mecánicamente*

Según el Tecnología de los plásticos (2011) se indica que hay estudios que han concluido que el RPET (PET reciclado) posee mayor resistencia al impacto, mayor elongación a la rotura y un módulo de Young menor que el PET virgen. De manera que, PET virgen es más frágil, mientras que el RPET es más dúctil.

**Tabla 1**

*Características del PET reciclado*

Características del PET y RPET		
Propiedad	PET virgen	RPET
Módulo de Young (MPa)	1890	1630
Resistencia a la rotura (MPa)	47	24
Elongación a la rotura (%)	3,2	110
Resistencia al impacto (J/m)	12	20
IV (dl/g)	0,72 – 0,84	0,46 – 0,76
Temperatura de fusión (°C)	244 – 253	247 – 253
Peso molecular (g/mol)	81600	58400

*Nota.* Datos obtenidos de Tecnología de los plásticos (2011).

### **2.1.3 Propiedades físico- mecánicas del adoquín**

#### **2.1.3.1 Propiedades físicas**

Son aquellas propiedades que son medibles sin afectar la composición del material.

a) Dimensión:

Son las características dimensionales del adoquín: longitud, ancho y espesor. De acuerdo a la Norma Técnica Peruana 399.611, se debe tener en cuenta las tolerancias para la fabricación de adoquines:

**Tabla 2**

*Tolerancia dimensional*

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

*Nota.* Tabla obtenida de la NTP 399.611.

#### **2.1.3.2 Propiedades mecánicas**

Son las propiedades que representan el desempeño del material frente a las fuerzas externas que se aplican sobre él. Según la Norma Técnica Colombiana (2017) y la Norma Técnica Peruana (2017) se deben verificar las siguientes propiedades:

a) Resistencia a la flexotracción (módulo de rotura)

Meza (2018) afirma que el módulo de rotura implica en someter carga a la muestra y someter a flexión mediante el ensayo de rotura.

Angarita y Lizarazo (2018) afirman que esta propiedad de los adoquines es la más trascendente, esta mide el esfuerzo que se genera en la fibra externa cuando un adquin es sometido a la flexión. A su vez, se genera un momento flector causado cuando se somete a flexo-tracción los adoquines de concreto hidráulico (Angarita y Lizarazo, 2018, págs. 36-37). Para calcular el módulo será necesario aplicar la siguiente fórmula:

$$Mr = \frac{3C_{max} * (li - 20)}{(ar + Ai)er^2}$$

Donde:

Mr=módulo de rotura en Mpa

Cmax= Carga Máxima de rotura, en N

li= longitud de rectángulo inscrito, en mm

ar=Ancho real del espécimen, en mm

Ai= ancho del rectángulo inscrito, en mm

er= espesor Real del espécimen, en mm

b) Resistencia a la abrasión

Según la norma ASTM G40-92 como se citó en Angarita y Lizarazo (2018), define a esta propiedad como la pérdida de masa, resultante de la interacción

entre partículas entre sí o en contacto con otra superficie. En el desgaste abrasivo se tiene mayor pérdida de masa que en el desgaste por deslizamiento. Esta característica es importante ya que permite determinar si las caras expuestas serán resistentes y protegerá a la parte interna del adoquín frente a agentes externos.

c) Resistencia a la compresión

Se obtiene a partir de la relación entre la máxima carga alcanzada en el ensayo de resistencia a compresión y la superficie transversal de la muestra en ensayo. Para elementos fabricados de una misma mezcla y sometidos al mismo proceso de fabricación y curado se espera que la muestra al ser ensayada debe alcanzar la resistencia a la que fue diseñada.

$$C = \frac{W}{A}$$

Donde:

C=Resistencia del espécimen a la compresión, en Mpa

W= Carga Máxima de rotura, en N

A= promedio de las áreas brutas de las superficies superior e inferior del espécimen, en mm<sup>2</sup> espécimen, en cm<sup>2</sup>.

**Tabla 3***Espesor nominal según y resistencia a la compresión*

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

*Nota.* Tabla obtenida de la NTP 399.611.

## d) Densidad

La densidad se define con el cociente del peso y volumen de una masa determinada en kg/m<sup>3</sup>. La densidad (D) del espécimen seco:

$$Densidad (D) = \left( \frac{Ms}{Mh - Ma} \right) * 100$$

Cálculo de la densidad de los adoquines

Dónde:

Mh= masa saturada

Ms=masa seca

Ma=masa inmersa en agua y suspendida del espécimen

e) Absorción

Angarita y Lizarazo (2018) indican que la absorción es el incremento de la masa de un agregado, debido a la penetración de agua dentro de los poros de sus partículas durante un periodo especificado, pero sin incluir el agua adherida a la superficie exterior de las partículas. A continuación, se muestra la fórmula para calcular estos parámetros. La absorción de agua ( $Aa$ ) del total de la masa del espécimen se debe calcular para cada espécimen mediante la siguiente ecuación:

$$Aa(\%) = \left( \frac{Mh - Ms}{Ms} \right) * 100$$

#### **2.1.4 Tipos de adoquines**

Según Vásquez (2020) existen 3 tipos de adoquines:

a) Tipo I:

Comprendida por los de forma rectangular, los más tradicionales y conocidos en el mundo. Este tipo se puede colocar en patrón de tejido de canasto, en hileras trabadas, en patrón de espina de pescado, etc. El autor indica que los patrones que se pueden utilizar para tráfico vehicular, solo son en hileras trabadas o en espina de pescado, y tienen que instalarse perpendicularmente a la dirección del tránsito vehicular (Vásquez, 2020).

#### **Figura 4**

##### *Adoquines tipo I*



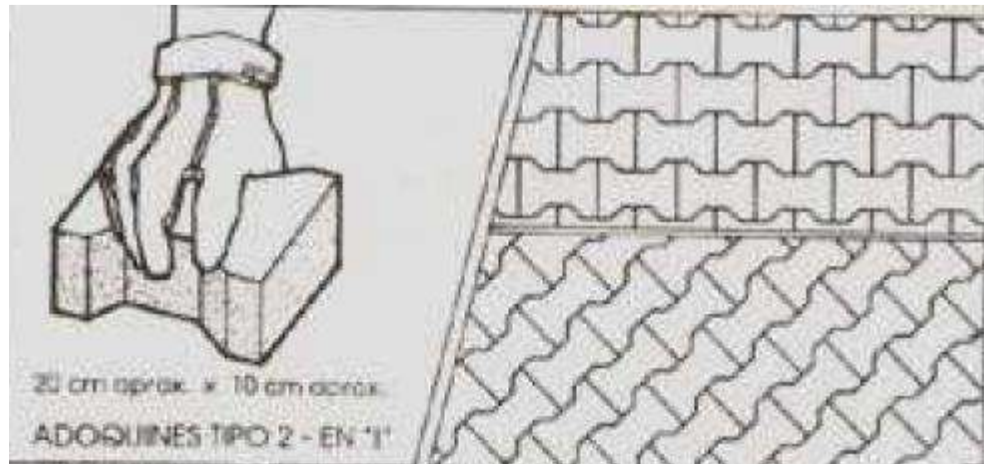
*Nota.* Patrón típico para adoquines tipo I. Fuente: Vásquez (2020).

#### b) Tipo II

Son los adoquines que se pueden tomar con una mano, sin embargo, no se pueden instalar con el patrón de espina de pescado debido a su geometría. Este tipo se debe colocar trabados entre sí (ver siguiente figura) y se debe procurar que su instalación debe ser en dirección perpendicular al tránsito (Vásquez, 2020).

## Figura 5

### *Adoquines tipo II*



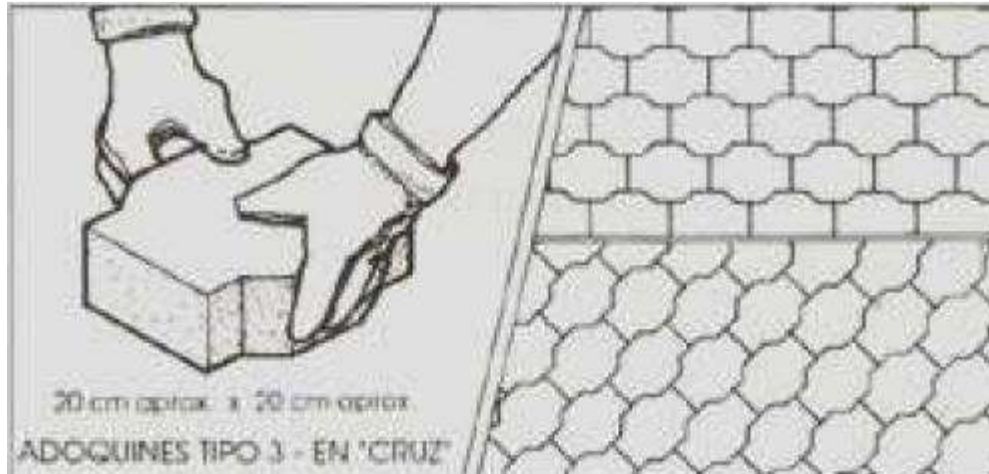
*Nota.* Patrón típico para adoquines tipo II. Fuente: Vásquez (2020).

### c) Tipo III

Son aquellos adoquines que no pueden sostenerse con facilidad con solo una mano, es así que por su peso deben sostenerse con las dos manos. Su instalación solo debe realizarse en forma de hileras. A este tipo pertenecen los adoquines con forma de cruz, trébol, etc. (Vásquez, 2020).

## Figura 6

### *Adoquines tipo III*



*Nota.* Patrón típico para adoquines tipo III. Fuente: Vásquez (2020).

Según la NTP 399.611 se tiene tres tipos de adoquines como se observa en la tabla 2:

- Tipo I: De uso peatonal. Su espesor puede ser 40 o 60 mm y una mínima resistencia de 280 kg/cm<sup>2</sup>.
- Tipo II: Para uso en tránsito ligero. Su espesor puede ser de 60, 80 o 100 mm y una mínima resistencia de 370, 330, 320 kg/cm<sup>2</sup> respectivamente.
- Tipo III: para uso Vehicular pesado, patios industriales o de contenedores. Su espesor sobrepasa los 80 mm y una resistencia mínima de 500 kg/cm<sup>2</sup>.

### ***2.1.5 Partes de un pavimento articulado***

Los pavimentos articulados están conformados por una capa de rodadura compuesta de adoquines, bloques de concreto prefabricado, con espesores similares y uniformes entre sí. Esta va sobre una carpeta delgada de arena, seguidamente esta se apoya sobre la base granular o en su defecto sobre la subrasante, en caso que la calidad del suelo sea óptima, también dependerá de la magnitud y frecuencia de las cargas (Sandoval, 2009).

### ***2.1.6 Comportamiento de los pavimentos articulados***

La manera en cómo están unidos los adoquines impide el movimiento vertical, horizontal y rotacional de algún elemento individual que componga la carpeta de rodadura, también llamado principio de la fricción y la trabazón entre ellos. Es decir, las fuerzas que se apliquen a esta, se desempeñan en conjunto, cuya área de acción va a depender de la forma y distribución de los adoquines. (Chango et al., 2006)

Bahamondes et al. (2013) indican que los adoquines, arena en las juntas y la cama de arena, provocan un efecto de trabazón mecánica, lo que causa la capacidad de disipar tensiones, transfiriendo la fuerza externa entre los adoquines laterales.

Shackel y Lim (2003) describen el desempeño de la trabazón mecánica, el efecto combinado de cuña y rotación que se produce entre unidades de adoquines al ser sometido a cargas. El efecto de cuña consiste en el empuje longitudinal entre adoquines continuos. El efecto de rotación, consiste en hacer girar los adoquines vecinos en referencia a uno o varios de sus ejes. El efecto de cuña se produce en adoquines rectangulares, y en adoquines de caras dentadas se produce el efecto combinado de cuña y rotación.

#### **2.1.7 Cálculo de ejes equivalentes (ESAL)**

La determinación de ESAL (Equivalent Simple Axial Load) proviene del resultado de un estudio de tráfico, la cual proporciona información del índice medio diario anual (IMDA) en tramos viales que requieren estudio.

### **2.2 Bases normativas**

- Manual de Carreteras “Especificaciones Técnicas Generales para Construcción”-EG-2013, Sección 440 Pavimento de adoquines de concreto o piedra.
- Manual de carreteras “Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos” Sección: Suelos y Pavimentos – 2014 del MTC, 10.9 DE LOS PAVIMENTOS DE BLOQUES INTERTRABADOS (ADOQUINES) DE CONCRETO DE CEMENTO PORTLAND.

- Norma técnica peruana NTP 399.611 2017 “UNIDADES DE ALBAÑILERÍA. Adoquines de concreto para pavimentos. Requisitos”

## **2.3 Definición de términos básicos**

### **2.3.1 *Pavimento***

Sánchez (2003) define al pavimento como una estructura de una capa o multicapa cuyos espesores y material que los componen puede variar según distintos factores, como el clima de la localidad y las cargas causadas por el flujo vehicular, con el objetivo de transmitir las cargas hasta la Subrasante sin provocar alguna excesiva deformación.

### **2.3.2 *Pavimento articulado***

Es el tipo de pavimento el cual está compuesto por adoquines de concreto en su carpeta de rodadura, además de la base y subbase, esta última en caso se requiera, y una capa de mejoramiento de la subrasante si fuera necesario (Sánchez, 2003).

### **2.3.3 *Adoquín de concreto***

Los adoquines son bloques de concreto simple cuyo proceso de fabricación es la vibro compactación, Tienen un buen desempeño ante las lluvias y son

económicos. Existen presentaciones en diferentes colores, son resistentes al desgaste, fáciles de instalar y dar mantenimiento (Concretos Supermix, 2022).

#### **2.3.4 Plástico**

El plástico es un material sólido sintético o semisintético que se caracterizan por su alta relación entre la resistencia y la densidad. Son aisladores térmicos y eléctricos resistentes al álcalis y disolventes (Quevedo y Guamán, 2013).

#### **2.3.5 PET**

Es un “polímero plástico que se obtiene mediante un proceso de polimerización de ácido tereftálico y monoetilenglicol, con un alto grado de cristalinidad y termoplástico en su comportamiento, lo cual lo hace apto para ser transformado mediante procesos de extrusión, inyección” (Quevedo & Guamán, 2013).

Sus principales propiedades son “alta estabilidad dimensional al calor, alta rigidez y dureza, alta resistencia al desgaste por fricción, buena resistencia química, buena resistencia al agrietamiento por esfuerzos, buenas propiedades de aislamiento eléctrico” (Quevedo & Guamán, 2013), entre otros. Asimismo, es buena barrera protectora del CO<sup>2</sup> y aceptable barrera a O<sup>2</sup> y humedad.

### ***2.3.6 Coeficiente estructural de capa***

Corredor (2008) afirma que el coeficiente estructural es una medida de la habilidad relativa de una unidad de espesor de un material/mezcla determinada, para servir como un componente estructural de un pavimento.

### ***2.3.7 Infraestructura vial***

Corresponde a la vía y cada elemento estructural que forma parte de las carreteras y caminos (MTC, 2006).

## **CAPÍTULO III: MARCO METODOLÓGICO**

### **3.1 Tipo de Investigación**

Aplicada, porque se enfoca en encontrar una opción alterna al uso de mezclas asfálticas para la construcción de las vías en la ciudad de Tacna, ejemplificándolo en la Av. Humboldt entre la Av. Municipal y la Av. Estanislao Córdor.

### **3.2 Nivel de Investigación**

Nivel de investigación experimental, porque busca producir cambios y modificaciones en el orden de lo establecido, en el presente proyecto se desea modificar los adoquines de concreto añadiendo PET reciclado y utilizarlos en el diseño de pavimentos en la Av. Humboldt (el área de estudio) y de esta manera ver la eficiencia que alcanza este nuevo sistema.

### **3.3 Población y Muestra de investigación**

#### **3.3.1 Población**

Distritos de Tacna en constante crecimiento y creación de vías, zonas urbanas en donde se requiera la construcción de avenidas y calles vecinales.

### **3.3.2 Muestra**

La muestra de estudio será la Av. Humboldt tramo Av. Municipal hasta la Av. Estanislao Córdor en el distrito de Gregorio Albarracín – Tacna. Longitud de vía 1 km.

## **3.4 Técnicas e Instrumentos para la recolección de datos**

### **3.4.1 Procedimiento para el estudio de tránsito**

Para obtener los ejes equivalentes al año de proyección de la Av. Humboldt, tramo: Av. Municipal – Av. Estanislao Córdor, distrito Gregorio Albarracín Lanchipa - Tacna, se deberá realizar el estudio de tránsito, para el cual se presenta el siguiente procedimiento:

Se identificará la ubicación de las estaciones de conteo vehicular, de tal manera se pueda contabilizar todo vehículo que transite por la Av. Humboldt, tramo: Av. Municipal – Av. Estanislao Córdor.

Se utilizarán 02 estaciones con las ubicaciones indicadas siguiente figura.

## Figura 7

*Tramo en estudio la Av. Humboldt.*



Nota. Vista satelital del tramo a estudiar. Fuente: Google Earth (2022)

Una vez identificadas las ubicaciones de las estaciones, se procede a organizar los días de conteo vehicular, entre las 7:00 am y las 8:00pm.

A partir de los resultados del conteo vehicular, se obtiene los volúmenes de tráfico que la carretera en estudio soporta, así como los tipos de vehículos que transitan y la variación diaria y horaria. Por tal motivo se realizará un conteo vehicular de acuerdo al tipo de vehículo con lo cual se determinará el índice medio diario (IMD) anual.

#### A. Determinación del IMD Anual:

Para convertir el volumen de tráfico semanal obtenido en campo, en Índice Medio Diario Anual (IMD), de las estaciones principales, se utilizó la siguiente fórmula:

$$IMDA = \frac{(VDL1 + VDL2 + VDL3 + VDL4 + VDL5 + VDsab + VDdom)}{7} \times F.C.E$$

Donde:

VDL1, VDL2, VDL3, VDL4, VDL5: Volúmenes de tráfico registrados en los días laborables

VDsab: Volumen de tráfico registrado sábado

VDdom: Volumen de tráfico registrado domingo

FCE: Factor de corrección estacional

IMDA: Índice Medio Diario Anual

Este trabajo se realiza completamente en gabinete. En el conteo vehicular, se anotaron los tipos de vehículos y su registro por hora y día, en ambos sentidos. Los datos fueron procesados en formato Excel.

#### 3.4.2 Procedimiento para el estudio de los agregados para elaborar adoquines de concreto

- Determinación del módulo de finura y coeficiente de uniformidad -ensayo granulométrico (Norma ASTM C 136, NTP 400.012):

En la normativa indica que el procedimiento consiste en obtener una muestra representativa de 5kg aproximadamente (o en su defecto una cantidad superior) la cual deberá ser secada al aire. Se tamizará la muestra mediante el vibrado y se pesarán las cantidades retenidas en cada malla o tamiz. Se procede a dibujar la curva granulométrica y finalmente se determina el módulo de finura y coeficiente de uniformidad.

- Contenido de humedad. (Norma ASTM C 70, NTP 339.185, 2013):

Se pesará la muestra sin alteraciones a su condición natural, luego se coloca al horno por 24 horas con una temperatura de  $100^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ . Finalmente se procede a determinar el contenido de humedad con la siguiente fórmula:

$$W\% = \frac{Ph - Ps}{Ps} \times 100$$

Donde:

W%: porcentaje de contenido de humedad

Ph: Peso de la muestra húmeda

Ps: Peso de la muestra seca

- Determinación del peso específico aparente y real del agregado grueso. Peso específico de masa. (Norma ASTM C 127 y ASTM C 128):

Consiste en tomar una muestra representativa de 5kg aproximadamente, se sumergirá la muestra por 24 horas. Luego se retirará la muestra, extenderá y se secará con un paño la superficie de las partículas. Se procede a pesar la muestra saturada. Se colocará la muestra en la canastilla metálica y dentro

del agua. Finalmente se procede a dejar secar la muestra en el horno a temperatura de  $100^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ , luego se enfría y se determina el peso seco a temperatura ambiente.

$$P_{em} = \frac{A}{B - C}$$

$$P_{mss} = \frac{B}{B - C}$$

$$P_{ea} = \frac{A}{A - C}$$

$$\%Abs = \frac{(B - A)}{A}$$

Donde:

A: peso en el aire, de la muestra seca al horno (g)

B: peso en el agua, de la muestra (g)

C: peso en el agua de la muestra (g)

- Determinación del peso volumétrico suelto y compactado del agregado grueso y vacío en los agregados. (ASTM C29 – NTP 400.017):

Este ensayo tiene dos métodos para determinar el peso suelto y compactado.

Peso volumétrico suelto Método 1: Se pesa el molde vacío y se mide el volumen del molde. Se vierte la muestra a una altura de 15cm sobre el borde del molde. Se enrasa la superficie. Finalmente se pesa la muestra más el molde.

$$PUS = \frac{W}{V}$$

Donde:

PUS: Peso unitario suelto (g/cm<sup>3</sup>)

W: Peso de la muestra (g)

V: Volumen del molde (cm<sup>3</sup>)

Peso volumétrico suelto Método 2: Se pesa el molde vacío y se mide el volumen del molde. Se vierte la muestra a una altura de 15cm sobre el borde del molde. Se enrasa la superficie, pesamos la muestra más el molde. Repetimos el procedimiento 3 veces. Pesamos el molde con agua llenado hasta el ras del molde.

$$PU = W_s \times f$$

$$f = \frac{1000}{W_a}$$

Donde:

W<sub>a</sub>: Peso del agua para llenar el recipiente

W<sub>s</sub>: Peso neto del agregado en el recipiente

Peso unitario compactado Método 1: Se pesa el molde vacío y se determina el volumen interno del molde. Se procede a echar el material en 3 capas, por

cada capa se debe compactar 25 veces con una varilla metálica lisa de ½".  
Luego se enraza la superficie. Finalmente se pesa la muestra y el molde.

$$PUC = \frac{\text{Peso de la muestra}}{\text{Volumen del molde}}$$

Donde:

PUC: Peso unitario compactado

Peso unitario compactado Método 2: Se pesa el molde vacío y se determina el volumen interno del molde. Se vierte la muestra en 3 capas y cada capa se deberá compactar con 25 golpes con una varilla de ½". Se pesa la muestra y el molde. Se pesa el molde enraizado con agua.

$$PU = W_s \times f$$

$$f = \frac{1000}{W_a}$$

Donde:

W<sub>a</sub>: Peso del agua para llenar el recipiente

W<sub>s</sub>: Peso neto del agregado en el recipiente

- Resistencia a la abrasión de los ángeles (ASTM C 131).

Este procedimiento consiste en preparar el material según la gradación que se va a utilizar. Se lava la muestra y se deja secar por 24 horas. Luego se debe conocer el peso inicial y después se procede a llevar el material a la

denominada máquina de los ángeles. Calibramos el equipo para 500 revoluciones, luego se tamiza la muestra por la malla N°12 y se pesa el material retenido, finalmente se determina el porcentaje de abrasión.

$$\%desgaste = \frac{P_{inicial} - P_{final}}{P_{inicial}} \times 100$$

- Gravedad específica y absorción de los agregados finos (MTC E 205, NTP 400.022):

En primer lugar, es necesario cuartear la muestra. Realizar el lavado de por lo menos 1 kg del material de muestra. Se debe sumergir el material en agua y dejar reposar durante al menos 24 horas. Luego verter la muestra (sin agua o drenada) con mucho cuidado sobre una bandeja y comenzar el proceso de secado con una suave corriente de aire caliente hasta que las partículas puedan fluir libremente. Luego se llena el molde tronco cónico en tres capas, compactando con una varilla metálica lisa con 25 golpes por capa.

En caso que aún hubiese humedad libre, el cono de agregado fino mantendrá su forma. De manera que se tendrá que continuar secando, revolver seguidamente y asegurarse que el cono se desmoronó al quitar el molde, lo cual indicará que el agregado fino llegó a la condición de superficie seca.

Introducimos una muestra de 500 g en el frasco, llenamos parcialmente con agua de  $23 \pm 2^\circ\text{C}$  hasta obtener los  $500\text{cm}^3$  y se agita el frasco para desaparecer la totalidad de las burbujas de aire. Seguidamente se coloca en

un baño de agua con Temperatura de  $23^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$  para ajustar la temperatura. Luego volvemos a llenar con agua hasta  $500\text{ cm}^3$ . Determinar el peso total del frasco. Finalmente, se retira cuidadosamente el agregado fino del frasco y se seca en el horno a  $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$  y se obtiene el peso seco.

$$P_{em} = \frac{W_o}{(V - V_a)} \times 100$$

$$P_{esss} = \frac{500}{(V - V_a)} \times 100$$

$$P_{ea} = \frac{W_o}{(V - V_a) - (500 - W_o)} \times 100$$

$$A_b = \frac{500 - W_o}{W_o} \times 100$$

Donde:

$P_{em}$ : Peso específico de masa

$P_{esss}$ : Peso específico de masa saturado con superficie seca

$P_{ea}$ : Peso específico aparente

$A_b$ : Absorción

$W_o$ : Peso en el aire de la muestra secada en el horno, g;

$V$ : Volumen del frasco en  $\text{cm}^3$

$V_a$ : Peso en gramos o volumen en  $\text{cm}^3$  de agua añadida al frasco.

### 3.4.3 Procedimiento par obtención del C.B.R. de subrasante

Para obtener el C.B.R. de la subrasante se deberá tomar las muestras del suelo de fundación del tramo de muestra, para lo cual se realizará calicatas in situ cada 500 metros (02 calicatas en el tramo total de la Av. Humboldt entre Av. Municipal y Av. Estanislao Córdor), donde se extraen las muestras de los diferentes estratos que contenga el suelo existente, para luego ser llevadas al laboratorio.

#### Figura 8

*Obtención de muestras de material del suelo de fundación existente mediante la perforación de una calicata in-situ*



Nota. La figura muestra la ubicación de la calicata C-01 en la intersección Av. Humboldt con Av. Alameda Ecológica.

## Figura 9

*Obtención de muestras de material del suelo de fundación existente mediante la perforación de una calicata in-situ*



*Nota.* La figura muestra la ubicación de la calicata C-02 en la intersección Av. Humboldt con Av. Expedición Libertadora.

El laboratorio a utilizar será Técnicos Consultores del Sur S.C.R.L., en donde se realizan los diferentes ensayos que requiera el material para obtener un índice de resistencia de los suelos denominado el valor de la relación de soporte, popularmente llamado CBR (California Bearing Ratio), del suelo de fundación que

será el C.B.R. de subrasante para efectos de determinación del C.B.R. para el diseño de pavimentos.

Se comienza a realizar el ensayo de Análisis Granulométrico de suelos por tamizado, con el procedimiento descrito en el Manual de ensayos de materiales MTC E 107 y según el apartado anterior. Con lo cual se obtiene la gradación del material y su clasificación.

Luego se realizará el ensayo Proctor modificado, para lo cual se establece el método de ensayo para la compactación del suelo utilizando una energía modificada ( $2\ 700\text{kN}\cdot\text{m}/\text{m}^3(56\ 000\ \text{pie}\cdot\text{lb}/\text{pie}^3)$ ), para lo cual el Manual de ensayos de materiales MTC E 115 (Proctor Modificado), proporciona 3 métodos (Método A, B y C) de acuerdo a la gradación antes obtenida, es decir cantidad de material grueso y fino existente en el suelo de fundación.

El proctor modificado, otorgará la máxima densidad seca en la humedad óptima del material, con esos datos, se procede a desarrollar el ensayo CBR de suelo en laboratorio para evaluar la resistencia potencial de la subrasante; se considerará el valor obtenido al 0.1” de penetración y el C.B.R. al 95%.

#### **3.4.4 Procedimiento para el diseño de mezclas (Método ACI)**

El diseño de mezclas del Comité 211 del American Concrete Institute (ACI) consiste en una serie de pasos:

- Selección de la resistencia a compresión promedio: En caso se tenga datos de 30 ensayos a más, se elige el mayor valor de las siguientes ecuaciones:

$$f'_{cr} = f'_c + 1,34s$$

$$f'_{cr} = f'_c + 2,33s - 35$$

Donde:

$f'_{cr}$ : Fuerza de compresión promedio requerida.

$f'_c$ : Fuerza de compresión de diseño.

$S_s$ : Desviación estándar.

$$S_s = \sqrt{\frac{(X_1 - \bar{X})^2 + (X_2 - \bar{X})^2 + (X_n - \bar{X})^2}{n - 1}}$$

Donde:

$S_s$ : Desviación estándar.

$n$ : Numero de ensayos.

$X_1, X_2 \dots X_n$ : Resultados de resistencia de muestras de ensayo individuales.

$\bar{X}$ : Promedio de todos los ensayos individuales de una serie.

Cuando no se tiene registro de ensayos a compresión que permita el cálculo de la desviación estándar, tomaremos como resistencia a la compresión promedio de la siguiente tabla:

**Tabla 4**

*Resistencia a la compresión promedio cuando no hay registro de ensayo.*

Resistencia a la compresión promedio	
$f_c$	$f_{cr}$
Menos de 210	$f_c+70$
210 a 350	$f_c+84$
Sobre 350	$f_c+98$

*Nota.* La tabla anterior es una adaptación de la norma ACI 211.

- Selección del asentamiento: Será de 0" a 1" consistencia seca en el caso de adoquines.
- Selección del tamaño máximo nominal del agregado: la norma NTP 400.037 indica que el Tamaño Máximo Nominal (TMN) es el menor tamiz de la serie de tamices utilizadas, en la cual se produjo el primer retenido.
- Estimación del contenido de agua y aire de la mezcla: la cantidad de agua por unidad de volumen de concreto requerida se puede calcular con la siguiente tabla:

**Tabla 5**

*Cantidad de agua en l/m<sup>3</sup> según el asentamiento para concretos*

Asentamiento	Agua en l/m <sup>3</sup> para los tamaños máx. nominales de agregado grueso y consistencia indicados							
	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	119
3" a 4"	228	216	205	193	181	169	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	119
3" a 4"	202	193	184	175	165	157	133	119
6" a 7"	216	205	197	184	174	166	154	...

*Nota.* La tabla anterior es una adaptación de la norma ACI 211.

- Selección de la relación agua-cemento: Mientras más elevada sea esta relación, la resistencia de diseño irá disminuyendo, es decir es inversamente proporcional.

### **Tabla 6**

*Relación de agua-cemento en concreto con y sin aire incorporado.*

f'cr (28 días)	Relación agua-cemento de diseño en peso	
	Concreto sin aire incorporado	Concreto con aire incorporado
150	0.80	0.71
200	0.70	0.61
250	0.62	0.53
300	0.55	0.46
350	0.48	0.40
400	0.43	...
450	0.38	...

*Nota.* La tabla anterior es una adaptación de la norma ACI 211.

- Determinación del factor cemento: conociendo el contenido de agua y la relación agua/cemento se puede determinar cuánto cemento emplear en una unidad de volumen de concreto, metro cúbico.
- Determinación del contenido de agregado grueso.
- Determinación de la suma de los volúmenes absolutos de cemento, agua de diseño, aire, y agregado grueso.
- Determinación del volumen absoluto y peso de agregado fino.
- Determinación de la cantidad de aditivo (sea el caso).
- Corrección de los valores de diseño por humedad del agregado.
- Valores de diseño corregidos por humedad.
- Determinación de la proporción en peso.
- Determinación de los pesos por tanda de un saco.

#### **3.4.5 Elaboración de adoquines de concreto con PET reciclado**

Primeramente se realizará el diseño de mezclas, el cual nos indicará las cantidades de cemento, agregados, agua de diseño y PET reciclado a emplear para alcanzar o superar la resistencia requerida en el diseño de pavimento. Luego de este paso, se procederá a realizar la mezcla homogénea, para después vacearlo al molde, se dejará 24 horas en el laboratorio de concreto, finalmente se procederá a desencofrar y curar dentro de un depósito con agua hasta la edad a la que será ensayada.

Cemento:

El tipo de cemento a utilizar para el diseño de todos los adoquines de concreto es el cemento gris, Cemento Portland Tipo IP, (Yura), el cual cumple los Requisitos de la (NTP 334.009) “Cemento Portland. Requisitos”, se utilizó dos bolsas de cemento de 42,5 Kg cada una, las cuales se preservaron cuidadosamente para que no sufrieran ninguna alteración del compuesto, se colocó sobre parihuelas para no exponer el producto al contacto con la humedad.

Agregados:

Los agregados forman parte importante de la estructura resistente del concreto, ocupando aproximadamente las 3/4 partes del volumen total de la mezcla, es así que su calidad incide de manera importante en el producto.

Por tal motivo, el conocer las propiedades de los agregados es un dato indispensable para el diseño de los adoquines. Para el presente trabajo de investigación se utilizó agregados de la Cantera Arunta, ubicada en el Distrito Gregorio Albarracín, de donde nos abasteceremos del agregado fino y agregado grueso.

Los ensayos realizados para conocer las características de los agregados utilizados, son:

- Análisis granulométrico: establecido en la norma NTP 400.012

- Peso específico y absorción Agregada Fino: establecido en la norma NTP 400.022
- Peso específico y absorción Agregada Grueso: establecido en la norma NTP 400.021
- Peso unitario: establecido en la norma NTP 400 017

#### Agua de Diseño:

Cumplirá con las especificaciones estipuladas en la norma NTP 339.088, se empleará en el diseño de mezcla y el curado de los adoquines. Tanto la relación a/c como la proporción de agua a usar, se obtienen del diseño de mezcla el cual se dedujo en el método ACI.

#### PET reciclado:

El PET reciclado se añadirá con las proporciones indicadas de 05, 10 y 15%, de tal manera que se llegue a la resistencia requerida para cumplir con el diseño de pavimento. El PET se obtendrá del plástico en todas sus formas que se pueda reciclar.

Al PET reciclado se le cortará la fibra en pequeños fragmentos, luego se lavará la materia y se dejará secar para luego ser añadido a la mezcla de concreto.

### **3.4.6 *Análisis de datos***

#### **3.4.6.1 Determinación del ESAL**

La determinación de ESAL (Equivalent Simple Axial Load) proviene del resultado de un estudio de tráfico, y a través de este se obtiene el índice medio diario anual (IMDA) para el tramo en estudio. Además, el Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC) puede brindar dicha información, proveniente de los contratos de concesiones viales, estaciones de peaje y de pesaje de la misma jurisdicción. La información levantada o proporcionada por el MTC o la concesión vial correspondiente servirá como base para el estudio de la proyección de la demanda para el periodo de análisis y para establecer el número de Ejes Equivalentes (EE) de diseño para el pavimento (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2014).

Según el Manual de Carreteras: Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos Sección suelos y pavimentos, indica que para obtener el ESAL es necesario determinar lo siguiente:

a) Factor direccional o factor carril:

Es la relación que representa al número de vehículos pesados que pasan en una dirección, o también llamado sentido de tráfico, este se definirá según el conteo de tráfico.

El factor de distribución carril expresado como una relación, que corresponde al carril que recibe el mayor número de EE.

**Tabla 7**

*Factores de Distribución Direccional y de Carril para determinar el Tránsito en el Carril de Diseño*

Número de calzadas	Número de sentidos	Número de carriles por sentido	Factor direccional (Fd)	Factor carril (Fc)	Factor ponderado (Fd x Fc para carril de diseño)
1 calzada (para MDa total de la calzada)	1 sentido	1	1,00	1,00	1,00
	1 sentido	2	1,00	0,80	0,80
	1 sentido	3	1,00	0,60	0,60
	1 sentido	4	1,00	0,50	0,50
	2 sentidos	1	0,50	1,00	0,50
	2 sentidos	2	0,50	0,80	0,40
2 calzadas con separador central (para MDa total de las dos calzadas)	2 sentidos	1	0,50	1,00	0,50
	2 sentidos	2	0,50	0,80	0,40
	2 sentidos	3	0,50	0,60	0,30
	2 sentidos	4	0,50	0,50	0,25

*Nota.* Elaboración propia en base al Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2014)

b) Cálculo de tasas de crecimiento y proyección

Se calcula mediante la fórmula de progresión geométrica: una para el componente del tránsito de vehículos de pasajeros y otra para el componente del tránsito de vehículos de carga.

$$T_n = T_o(1 + r)^{n-1}$$

Donde:

T<sub>n</sub>: Tránsito proyectado al año “n” en veh/día

$T_o$ : Tránsito actual (año base o) en veh/día

n: Número de años del periodo de diseño



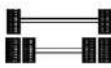
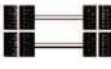
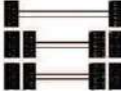

r: Tasa anual de crecimiento del tránsito

c) Número de repeticiones de ejes equivalentes:

Según la guía AASHTO 93 se tiene las siguientes configuraciones de ejes:

**Tabla 8**

*Configuración de ejes*

Conjunto de ejes (s)	Nomenclatura	Nº de neumáticos	Gráfico
EJE SIMPLE (con rueda simple)	1RS	02	
EJE SIMPLE (Con Rueda Doble)	1RD	04	
EJE TANDEM (1 Eje Rueda Simple + 1 Eje Rueda Doble)	1RS + 1RD	06	
EJE TANDEM (2 Ejes Rueda Doble)	2RD	08	
EJE TRIDEM (1 Rueda Simple + 2 Ejes Rueda Doble)	1RS + 2RD	10	
EJE TRIDEM (3 Ejes Rueda Doble)	3 <sup>RD</sup>	12	

*Nota.* RS (rueda simple), RD (rueda doble). Fuente: Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2014).

Para el cálculo de los Ejes Equivalentes (EE) será necesario utilizar las relaciones simplificadas expresadas a continuación, que resulta de la correlación de las tablas del apéndice D de la guía AASHTO 1993:

**Tabla 9**

*Relación de Cargas por Eje para determinar Ejes Equivalentes (EE) Para Afirmados, Pavimentos Flexibles y Semirrígidos*

Tipo de eje	Eje equivalente
Eje Simple de ruedas simples (EE <sub>S1</sub> )	EE <sub>S1</sub> = [ P / 6.6 ] <sup>4.0</sup>
Eje Simple de ruedas dobles (EE <sub>S2</sub> )	EE <sub>S2</sub> = [ P / 8.2 ] <sup>4.0</sup>
Eje Tandem (1 eje ruedas dobles + 1 eje rueda simple) (EE <sub>TA1</sub> )	EE <sub>TA1</sub> = [ P / 14.8 ] <sup>4.0</sup>
Eje Tandem (2 ejes de ruedas dobles) (EE <sub>TA2</sub> )	EE <sub>TA2</sub> = [ P / 15.1 ] <sup>4.0</sup>
Ejes Tridem (2 ejes ruedas dobles + 1 eje rueda simple) (EE <sub>TR1</sub> )	EE <sub>TR1</sub> = [ P / 20.7 ] <sup>3.9</sup>
Ejes Tridem (3 ejes de ruedas dobles) (EE <sub>TR2</sub> )	EE <sub>TR2</sub> = [ P / 21.8 ] <sup>3.9</sup>

P = peso real por eje en toneladas

*Nota.* Elaboración propia en base al MTC (2014).

Para calcular el Número de Repeticiones de Ejes Equivalentes de 8,2 tn, se empleará la formula expresada a continuación, para cada tipo de vehículo:

$$N_{rep\ de\ EE_{8,2tn}} = \sum [EE_{día\ carril} \times F_{ca} \times 365]$$

Donde:

**Tabla 10***Parámetros para determinar el valor de EE*

Parámetros	Descripción
Nrep de EE 8,2t	Número de Repeticiones de Ejes Equivalentes de 8.2 tn
EEdía-carril	<p>EEdía-carril = Ejes Equivalentes por cada tipo de vehículo pesado, por día para el carril de diseño. Resulta del IMD por cada tipo de vehículo pesado, por el Factor Direccional, por el Factor Carril de diseño, por el Factor Vehículo Pesado del tipo seleccionado y por el Factor de Presión de neumáticos. Para cada tipo de vehículo pesado, se aplica la siguiente relación:</p> $EEdía-carril = IMD_{pi} \times F_d \times F_c \times F_{vpi} \times F_{pi}$ <p>Donde:</p> <p>IMD<sub>pi</sub>: corresponde al Índice Medio Diario según tipo de vehículo pesado seleccionado (i)</p> <p>F<sub>d</sub>: Factor Direccional, según tabla 1</p> <p>F<sub>c</sub>: Factor Carril de diseño, según tabla 1.</p> <p>F<sub>vpi</sub>: Factor vehículo pesado del tipo seleccionado (i) calculado según su composición de ejes. Representa el número de ejes equivalentes promedio por tipo de vehículo pesado (bus o camión), y el promedio se obtiene dividiendo el total de ejes equivalentes (EE) de un determinado tipo de vehículo pesado entre el número total del tipo de vehículo pesado seleccionado.</p> <p>F<sub>pi</sub>: Factor de Presión de neumáticos</p>
Fca	Factor de crecimiento acumulado por tipo de vehículo pesado
365	Número de días del año

$\Sigma$  Sumatoria de Ejes Equivalentes de todos los tipos de vehículo pesado, por día para el carril de diseño por Factor de crecimiento acumulado por 365 días del año.

---

*Nota.* Elaboración propia en base al Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2014).

#### **3.4.6.2 Determinación de CBR de diseño**

Para la determinación del C.B.R. de diseño, se empleará el procedimiento estadístico(percentiles) según lo indicado en el Instituto del Asfalto. Este método clasifica el tráfico proyectado (diseño) respecto a los datos resultantes de los ensayos de laboratorio.

#### **Figura 10**

*Ensayo C.B.R. de subrasante en laboratorio*



*Nota.* La figura muestra el procedimiento de golpes para elaborar la briqueta que luego pasa a saturar por 5 días, para ser ensayada a penetración.

### **3.4.6.3 Determinación del número estructural**

La American Association of State Highway Transportation Officials (1993) indica que para realizar el diseño de pavimento y obtener el número estructural (SN), se requieren una serie de datos adicionales al ESAL al año proyectado y el C.B.R. de diseño, dichos datos se encuentran en función de las características de la vía a construir.

a) Módulo Resiliente:

El Módulo de Resiliencia es la magnitud de rigidez del suelo de subrasante. De acuerdo a lo recomendado por el MEPDG (Mechanistic Empirical Pavement Design Guide), se utilizará la ecuación que correlaciona con el CBR:

$$3\ 000 \times \text{CBR}^{0.65} = M_r$$

b) Confiabilidad (R):

El criterio de confiabilidad (%R), incorporado por el método AASHTO, calcula el comportamiento de una estructura durante su periodo de diseño previsto.

Según la guía AASHTO, el desempeño del pavimento con el tráfico puede considerarse que sigue una ley de distribución normal. De manera que se puede aplicar la estadística para obtener una confiabilidad determinada como 90% o 95%, lo que significaría que el resto del tramo (10% o 5%) presentarán un índice de serviciabilidad menor al esperado (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2014)

**Tabla 11**

*Niveles de confiabilidad recomendados por el AASHTO*

<i>Tipo de camino</i>	<i>Confiabilidad recomendada</i>	
	<i>Zona urbana</i>	<i>Zona rural</i>
<i>Rutas interestatales y autopistas</i>	85-99.9	80-99.9
<i>Arterias principales</i>	80-99	75-99
<i>Colectoras</i>	80-95	75-95
<i>Locales</i>	50-80	50-80

*Nota.* Guía AASHTO Diseño de estructura de pavimento 1993

c) Desviación Normal Estándar ( $Z_r$ ):

El coeficiente estadístico de Desviación Estándar Normal ( $Z_r$ ) representa el valor de la confiabilidad seleccionada, para un conjunto de datos en una distribución normal.

**Tabla 12***Relación de confiabilidad y el valor de Zr*

<i>Confiabilidad R(%)</i>	<i>Desviación normal estándar Zr</i>
50	0.000
60	-0.253
70	-0.524
75	-0.674
80	-0.841
85	-1.037
90	-1.282
95	-1.645
99.9	-3.090

*Nota.* Guía AASHTO Diseño de estructura de pavimento 1993

d) Desviación estándar combinada (So):

“Es un valor que toma en cuenta la variabilidad esperada de la predicción del tránsito y de los otros factores que afectan el comportamiento del pavimento” (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2014).

**Tabla 13***Valores de So recomendados por el AASHTO*

<i>Proyecto de pavimento</i>	<i>S<sub>o</sub></i>	
	<i>Flexible</i>	<i>Rígido</i>
	<i>0.40 – 0.50</i>	<i>0.30 – 0.40</i>
<i>Construcción nueva</i>	0.45	0.35
<i>Sobrecapas</i>	0.50	0.40

*Nota.* Guía AASHTO Diseño de estructura de pavimento 1993

e) Índice de Serviciabilidad:

El Índice de Serviciabilidad es la calidad de transitabilidad el cual el usuario percibe cuando circula por la vía. Esta varía en una escala que va desde 0, la peor comodidad, hasta el 5, la mejor comodidad (difícil de alcanzar). (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2014)

Generalmente se inicia con una serviciabilidad de 4.0 a 4.2 (vía en buen estado) y termina con un valor entre 1.5 y 2.5 hasta la falla funcional del pavimento. (AASHTO, 1993)

- Serviciabilidad inicial ( $P_i$ ): La Serviciabilidad Inicial ( $P_i$ ) es el estado de una vía que acaba de construirse.
- Serviciabilidad final o terminal ( $P_t$ ): La Serviciabilidad Terminal ( $P_t$ ) es el estado de una vía que necesita ser rehabilitada o reconstruida.
- Variación de Serviciabilidad ( $\Delta PSI$ ): El ( $\Delta PSI$ ) es la diferencia entre la Serviciabilidad Inicial y Terminal determinada para el proyecto a desarrollarse.

f) Número estructural (SN):

Para el cálculo del SN se deberán ingresar los valores antes expuestos en la siguiente fórmula:

$$\log_{10}(W18) = Z_R \times S_0 + 9,36 \times \log_{10}(SN + 1) - 0,20 + \frac{\log_{10}\left(\frac{\Delta PSI}{4,2 - 1,5}\right)}{0,40 + \frac{1094}{(SN + 1)^{5,19}}} + 2,32 \times \log_{10}(M_R) - 8,07$$

Obteniendo el SN se podrá determinar las capas estructurales y sus respectivos espesores en el pavimento a diseñar, para eso se necesitará calcular el índice de drenaje y el índice de capa para cada capa estructural propuesta.

g) Coeficiente de Drenaje:

**Tabla 14**

Coeficiente de drenaje en base a la calidad de drenaje

<i>Calidad de Drenaje</i>	<i>Tiempo de Eliminación del Agua en</i>
<i>Excelente</i>	2 Horas
<i>Bueno</i>	1 Día
<i>Regular</i>	1 Semana
<i>Pobre</i>	1 Mes
<i>Malo</i>	El Agua no Drena

*Nota.* Guía AASHTO Diseño de estructura de pavimento 1993

**Tabla 15**

*Tiempo de la estructura expuesta al contacto húmedo*

	<i>0%</i>	<i>1%</i>	<i>1%</i>	<i>5%</i>	<i>5%</i>	<i>25%</i>	<i>25% a más</i>
Excelente	1.40	1.35	1.35	1.30	1.30	1.20	1.20
Bueno	1.35	1.25	1.25	1.15	1.15	1.00	1.00
Regular	1.25	1.15	1.15	1.05	1.00	0.80	0.80
Pobre	1.15	1.05	1.05	0.80	0.80	0.60	0.60
Malo	1.05	0.95	0.95	0.75	0.75	0.40	0.40

*Nota.* Guía AASHTO Diseño de estructura de pavimento 1993

Debido al tiempo de exposición de agua que sería de 25% y a la calidad de drenaje que tendrá la zona (no se considera drenaje pluvial) se estima una calidad de drenaje buena, con lo cual se obtiene el valor de los coeficientes de drenaje para carpeta asfáltica y base granular de 1,00.

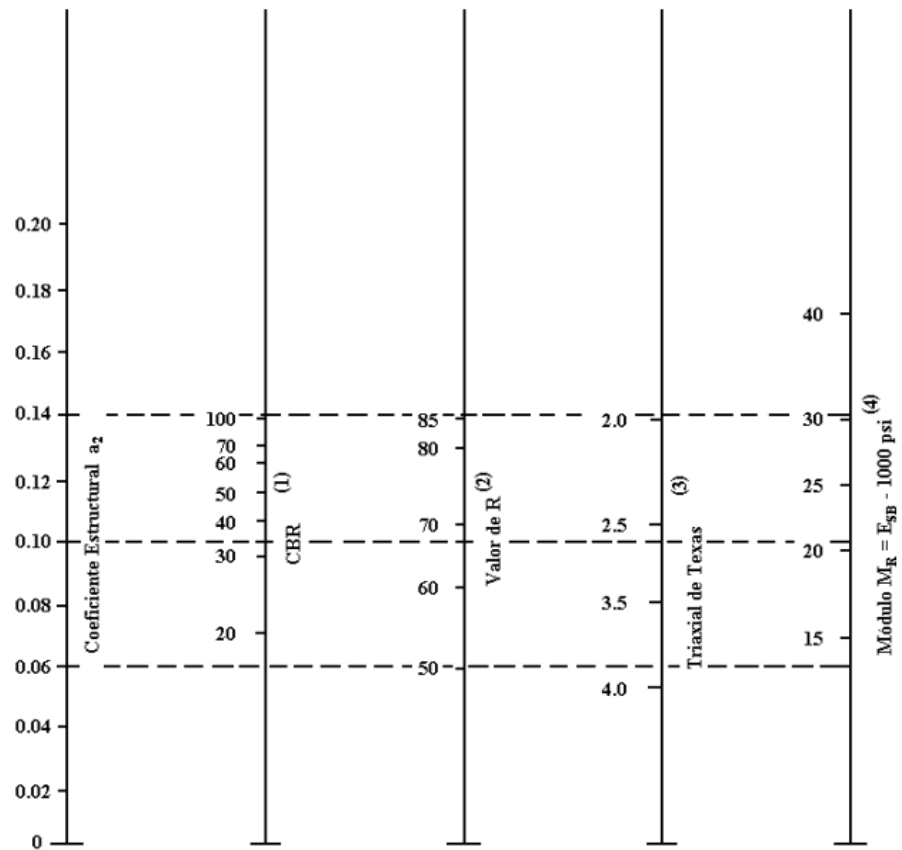
h) Coeficiente estructural de capa:

Para el coeficiente estructural del adoquín se utiliza el valor de 0.44, empleado en el ejercicio de diseño de pavimento de adoquín por el método AASHTO 93

Para el coeficiente estructural de la carpeta asfáltica se toma el valor de 0.32 ya que es el mínimo valor requerido que alcanza la mezcla asfáltica en frío, el cual es aplicado en la ciudad de Tacna.

### **Figura 11**

*Relación entre el coeficiente estructural para base granular y distintos parámetros resistentes*

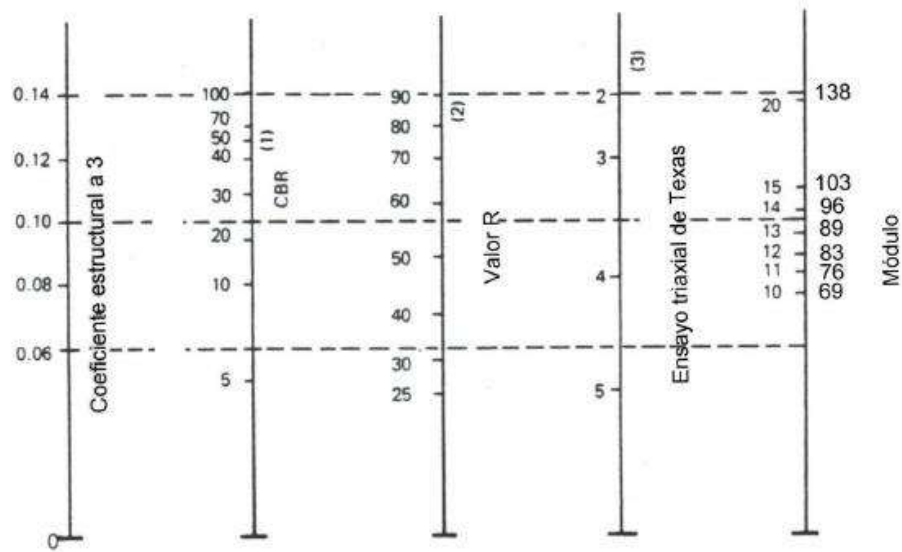


*Nota.* La figura muestra el ábaco que determina en base al valor del C.B.R. de la base granular el coeficiente estructural de capa que tendrá para el diseño de pavimento.

En el presente caso, debido al tránsito pesado se requiere un C.B.R. de 100%, por lo que el coeficiente estructural, será de 0,14.

**Figura 12**

*Relación entre el coeficiente estructural para subbase granular y distintos parámetros resistentes*



*Nota.* La figura muestra el ábaco que determina en base al valor del C.B.R. de la subbase granular el coeficiente estructural de capa que tendrá para el diseño de pavimento.

En el presente caso, debido al tránsito pesado se requiere un C.B.R. de 40% para la subbase (tomada en cuenta en el diseño de pavimento flexible) por lo que el coeficiente estructural, será de 0,12

## **CAPÍTULO IV: DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN**

### **4.1 Desarrollo del diseño de pavimento**

Ejes Equivalentes Acumulados (ESAL): Se cursó un documento al representante legal del Consorcio Panamericana, Alan Salas Caballero, consorcio que estuvo encargado de la supervisión de la obra: MEJORAMIENTO DE LA AVENIDA MUNICIPAL, ENTRE EL TRAMO DE LA CALLE INCA GARCILAZO DE LA VEGA - AVENIDA PANAMERICANA SUR, DISTRITO DE GREGORIO ALBARRACIN LANCHIPA, PROVINCIA DE TACNA – TACNA. (se anexó el documento cursado).

El representante legal, en respuesta, nos remitió el ESAL calculado con el estudio de tránsito hecho en la Av. Municipal, en el mismo tramo que se está estudiando en la presente tesis, el estudio se proyectó a un periodo de vida útil hasta el 2034, dando un ESAL de 1 498 310,00.

C.B.R. de diseño: Con el estudio de suelos realizado en las 02 calicatas del tramo se obtuvo C.B.R. de la subrasante de la siguiente manera:

- Calicata 01: Un valor de C.B.R. de 30% al 0.1” de penetración.
- Calicata 02: Un valor de C.B.R. de 26% al 0.1” de penetración.

Teniendo estos datos, hallamos el C.B.R. de diseño, en base a los lineamientos que nos da el Instituto del Asfalto que recomienda valores para que el 60, 75 y 87.5% de los valores individuales de C.B.R. sea igual o mayores que el mismo, tomando el criterio directo del ESAL.

**Tabla 16***Valor de Diseño del Percentil*

Nivel de tráfico (ESAL)	Percentil de diseño (%)
Menor a $10^4$	60
Entre $10^4$ y $10^6$	75
Mayor a $10^6$	87,5

*Nota.* Obtenido de Instituto del asfalto Thickness design – Asphalt pavements for highways and streets Manual Series No 1. Novena edición (Revisión) como se citó en Padilla y Pinto (2019).

El ESAL del presente diseño de pavimento es de 1 498 310,00. Por lo cual, se considerará seleccionar el 87.5%.

Se toman los valores de C.B.R. de subrasante obtenidos en el estudio de suelos, luego se ordenarán de menor a mayor, para de esta manera considerar el número de valores iguales o mayores de los C.B.R., lo que nos dará siempre un primer valor de 100% para el menor C.B.R. de subrasante.

**Tabla 17***Valores iguales o mayores en % del C.B.R. vs C.B.R.*

C.B.R.	Número de valores iguales o mayores	% de valores iguales o mayores
26	2	$2/2 \times 100 = 100\%$
30	1	$1/2 \times 100 = 50\%$

*Nota.* Elaboración propia.

Con esta tabla podemos ver que el C.B.R. 26 tiene un porcentaje de 100%, mientras que el C.B.R. 30 tiene un porcentaje de 50%; ahora bien, se usará la tabla 11 se indicó el C.B.R. se determinará con el valor igual o mayor de 87.5%, lo cual, mediante la interpolación matemática, se obtiene un valor de C.B.R. de diseño de 27%.

Determinados los valores más determinantes en el diseño de pavimento ESAL y C.B.R. de diseño, se procede a elegir los demás valores que se ingresarán en la fórmula del número estructural (SN).

Para elegir los demás valores para el diseño de pavimento se utilizarán los criterios expuestos en la metodología de la investigación de la presente tesis, obteniendo lo siguiente:

- ESAL de diseño: 1 498 310,00
- CBR diseño: 27%
- Confiabilidad: 90%
- Desviación: -1.282
- Serv. inicial (Po): 4.00
- Serv. final (Pt): 2.50
- Delta PSI: 1.50
- So: 0.40

Se determinaron todos los valores necesarios para el diseño de pavimento, por lo que se procede a ingresarlos a la hoja electrónica de Microsoft Excel.

**Tabla 18***Diseño de pavimento semirrígido con adoquines.*

Diseño de pavimento						
Diseño de espesores de Pavimento de acuerdo a: 1993 AASHTO Guide for Design of Pavements Structures						
Tesis:	USO DE ADOQUINES DE CONCRETO CON PET RECICLADO PARA MEJORAMIENTO DE LA INFRAESTRUCTURA VIAL URBANO EN LA CIUDAD DE TACNA, 2021					
Tesistas:	Bach. Renzo Luque Llanos - Bach. Lesly Nina Apaza					
Avenida:	Av. Humboldt tramo tramo Av. Municipal hasta la Av. Estanislao Córdor					
Diseño de Pavimento semirrígido						
Número Estructural	2.279538208			Módulo Resiliente (Psi)	25,556.	87
Design ESALs	1,498,310.00			Serviciabilidad Inicial	4.00	
Confiabilidad	90%			Serviciabilidad Final	2.50	
Desviación Estandar	-1.282					
Diseño de Espesores de Pavimento						
CAPA DE MATERIAL	Coficiente de Capa (a)	Coficient e de Drenaje (m)	ESPESO R (Pulg)	Numero Estructura l de Capa (SN)	ESPESO R (cm)	Numer o Estruct ural de Capa (SN)
Adoquín	0.44	1	3.150	1.386	8	3.520
Base Granular	0.14	1	7.874	1.1	20	2.794
				2.486		6.314

*Nota.* Extraído del diseño de pavimento en Excel. Fuente: Elaboración propia.

#### **4.2 Desarrollo de la elaboración de adoquines de concreto con PET reciclado al 5%, 10% y 15%**

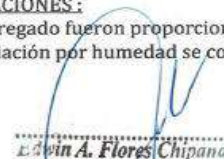

Teniendo en cuenta el coeficiente estructural de 0.44 tomado para el diseño de pavimento, en laboratorio se realiza el diseño de mezcla, para lo cual se adquieren los materiales necesarios como: arena, cemento, piedra de ½”, y PET reciclado, que son entregados al laboratorio.

Se realiza un diseño normal sin considerar el PET, debido a que el PET únicamente se reemplazará en porcentajes de 5%, 10% y 15% de su cantidad total de agregado fino.

El diseño deberá garantizar una resistencia a la compresión de  $f'c=420\text{kg/cm}^2$ .

**Figura 13**

*Diseño de dosificación de mezcla de concreto  $f'c=420\text{kg/cm}^2$ .*

DISEÑO DE DOSIFICACION DE MEZCLA DE CONCRETO					
$f'c= 420 \text{ Kg/cm}^2$ - METODO ACL.					
<b>PROYECTO</b> : "USO DE ADOQUINES DE CONCRETO CON PET RECICLADO PARA MEJORAMIENTO DE LA					
<b>DE TESIS</b> INFRAESTRUCTURA VIAL URBANO EN LA CIUDAD DE TACNA, 2021."					
<b>UBICACIÓN</b> : DISTRITO DE TACNA - PROVINCIA TACNA - DEPARTAMENTO TACNA.					
<b>TESISTAS</b> : EST. LESLY CLARA NINA APAZA / EST. RENZO GUSTAVO LUQUE LLANOS					
<b>MUESTRA</b> : AGREGADOS PARA CONCRETO PROCEDENTES DE LA CANTERA ARUNTA					
<b>FECHA</b> : MAYO DEL 2022					
CONSTANTES FISICAS		AGREGADO GRUESO		AGREGADO FINO	
Peso específico	gr/cc	2.671		2.651	
Peso unit.suelto / varillado	Kg/m3	1378	1543	1670	
Tamaño máximo		19,05 mm		-	
Modulo de fineza		-		2.9	
Humedad Absorción	%	0.89		1.47	
Humedad Natural	%	0.87		1.83	
Cemento Portland TIPO IP YURA		P.e. =	2.85	gr/cm3	
<b>CONSIDERACIONES :</b>		Slump	8 @ 10 cm		
		Agua	205 Kg/m3		
		Aire atrapado	2.00 %		
		Relación agua/cemento	0.33		
		Vol. Agregado grueso	0.58 m3		
MATERIALES PARA 1m3/CONCRETO		PESO (Kg)		VOLUMEN ABS. (m3)	
Agua		205.00 Kg.		0.205 m3	
Cemento		621.21 Kg.		0.218 m3	
Aire		-		0.020 m3	
Piedra		894.94 Kg.		0.335 m3	
Arena Gruesa		588.52 Kg.		0.222 m3	
CORRECCION POR HUMEDAD Y ABSORCION					
MATERIALES		PESO (Kg)		VOLUMEN APAR. (m3)	
Agua		204.00 Kg.		0.204 m3	
Cemento bls 14.62		621.21 Kg.		0.414 m3	
Piedra		894.79 Kg.		0.649 m3	
Arena Gruesa		591.17 Kg.		0.354 m3	
DOSIFICACION		CEMENTO	ARENA	PIEDRA	AGUA
En peso		1	0.95	1.44	0.33
En volumen		1	0.86	1.57	0.49 pie3
Tanda 1 bolsa de cemento		42.50	40.38	61.20	14.03 Kg
<b>OBSERVACIONES :</b>					
1.- Los agregado fueron proporcionados por el solicitante.					
2.- La variación por humedad se corregirá en Obra mediante el ensayo de Revenimiento					
 Edwin A. Flores Chipana Técnico Laboratorista		 Andy José Rivera Sagastegui INGENIERO CIVIL			

*Nota.* La elaboración del diseño de mezcla de adoquín de concreto fue hecha en el laboratorio C.F.C. técnicos, ingenieros y arquitectos E.I.R.L.

Del diseño anterior, se tomará la dosificación en peso, para realizar el reemplazo de agregado fino por PET reciclado, en los porcentajes antes mencionados, para evaluar las características físico-mecánicas que puedan verse afectadas por la inclusión del PET.

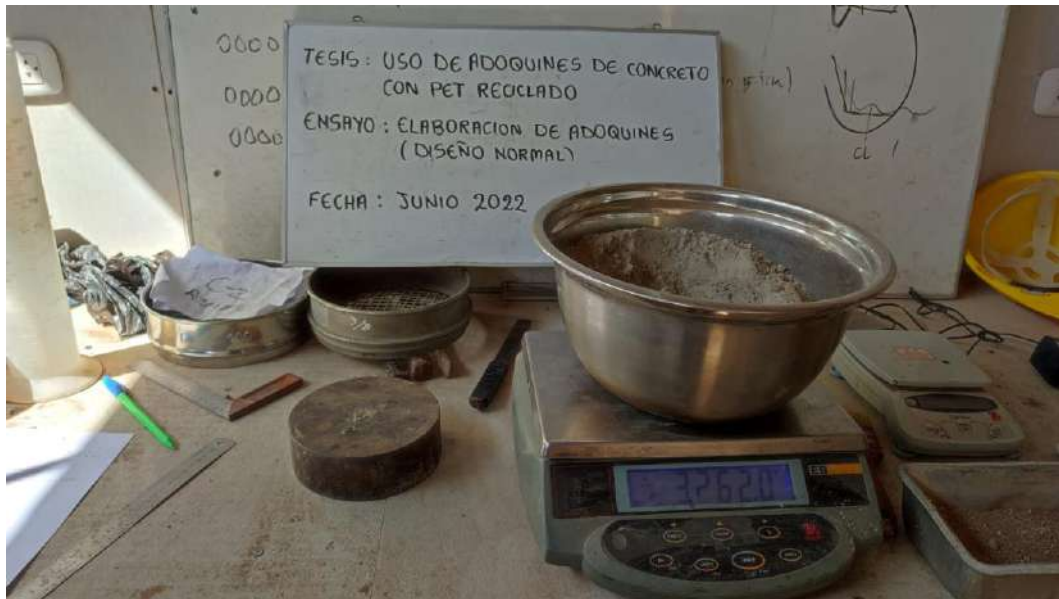
La dosificación en peso para obtener adoquines de concreto con  $420\text{kg/cm}^2$  nos pide:

- 1 bolsa de cemento - 40,38kg de arena – 61,20kg de piedra – 14,03kg de agua.

Se requiere una balanza calibrada, con la cual se pesarán los materiales en base a la dosificación antes mencionada.

#### **Figura 14**

*Pesaje de los materiales que conforman el adoquín de concreto.*



*Nota.* Elaboración propia.

Luego del pesaje de los agregados, se procede a realizar la mezcla, que puede ser en trompo, carmix, mixer de concreto, etc. En el presente caso se realizó de manera artesanal utilizando una carretilla, debido a que las cantidades eran menores para hacer 08 adoquines para la rotura en las fechas establecidas hasta llegar a los 28 días.

**Figura 15**

*Mezcla de agregados para conformación de mezcla de concreto.*



*Nota.* Elaboración propia.

Luego del proceso de preparación de mezcla de concreto, se coloca la mezcla en los moldes con las dimensiones previamente determinadas, en el presente caso serán adoquines rectangulares de 10x20x8cm, dentro de los moldes pasan por un proceso de vibrado, el cual en este caso será manualmente.

Una vez fraguada la mezcla de los adoquines, se retiran de los moldes, se les colocará la fecha de realización, se sumergirán en agua como parte del proceso de curado y el tipo de adoquín para su posterior rotura.

### Figura 16

*Adoquines de concreto sin PET reciclado*



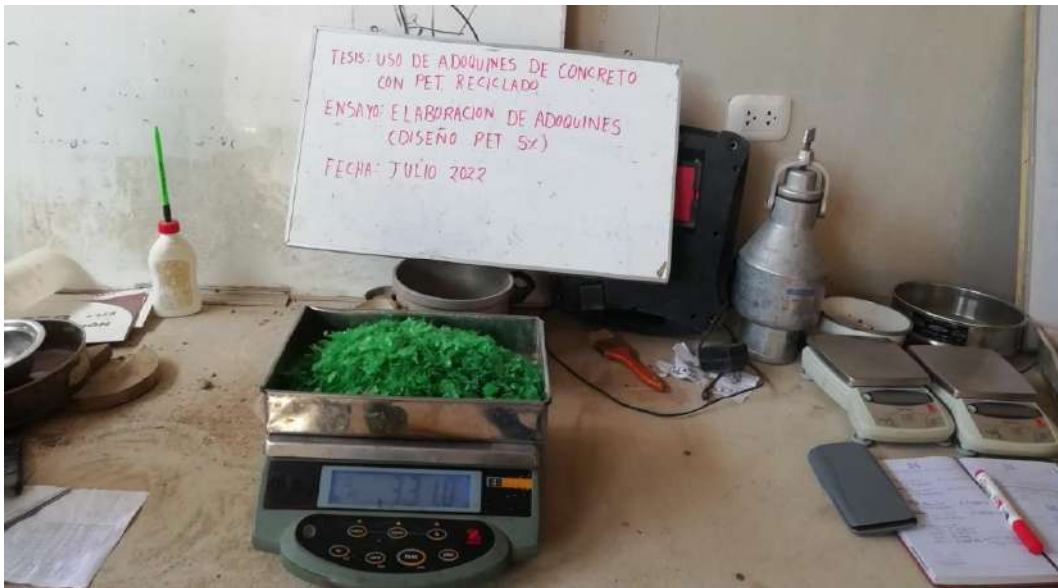
*Nota.* Elaboración propia.

Una vez elaborados los adoquines en base al diseño de mezclas de concreto  $f'c=420\text{kg/cm}^2$ , se procede a elaborar los adoquines con PET reciclado.

Para esto se tomará las dosificaciones de 5%, 10% y 15%, se recuerda que esa dosificación es en relación con el agregado fino, es decir, si el diseño de mezcla indicara 100kg de agregado fino, se reemplazaría 5% de esa cantidad, sin tomar en consideración el agregado grueso, cemento y agua.

### **Figura 17**

*Pesaje del PET reciclado al 5% para agregar dentro del diseño de mezcla.*



*Nota.* Elaboración propia.

La mezcla de concreto con PET reciclado se realiza de la misma manera como se realizó la mezcla anterior (sin PET reciclado), visualmente se ve la diferencia en cuanto a textura de la mezcla, lo cual nos advierte que los resultados se verán alterados.

**Figura 18**

*Mezcla de los agregados, cemento, agua y PET, según pesos de la dosificación.*



*Nota.* Elaboración propia.

Una vez elaborada la mezcla de concreto, se vaciará en los moldes correspondientes, en cada molde se separarán las muestras de acuerdo al porcentaje de PET reciclado que se haya añadido a la mezcla de concreto. Luego se dejarán en reposo en un balde con agua como proceso de curado durante el tiempo necesario (28 días calendario) antes de realizar las roturas correspondientes en la prensa hidráulica para la verificación de resistencia a la compresión.

**Figura 19**

*Adoquines elaborados con 10% de PET reciclado.*



*Nota.* Elaboración propia.

## Figura 20

*Adoquines elaborados con 15% de PET reciclado.*



*Nota.* Elaboración propia.

A los 28 días, se realiza el ensayo de verificación de resistencia a la compresión mediante la utilización de una prensa hidráulica, la cual da los resultados hasta el momento del fallo del adoquín en kgf, mediante la conversión de unidades se determina la resistencia en  $\text{kg/cm}^2$ , para la verificación del cumplimiento del diseño de mezclas utilizado.

Así también, se verifica mediante este ensayo las propiedades físico-mecánicas de los adoquines elaborados con PET reciclado a 5%, 10% y 15%.

**Figura 21**

*Ensayo de compresión de adoquines elaborados con 15% de PET reciclado.*



*Nota.* Elaboración propia.

**Figura 22**

*Ensayo de compresión de adoquines elaborados con 15% de PET reciclado.*



*Nota.* Elaboración propia.

Se ensayó la resistencia a la compresión dando los siguientes resultados:

**Tabla 19**

*Rotura de adoquines de concreto.*

Nº de Prob.	Descripción	F' c- Esp. Kg/cm <sup>2</sup>	Fecha de Rotura	Edad (días)	Area cm <sup>2</sup>	Lectura Kg.-F	Resist. kg./cm <sup>2</sup>
1	M. 01	420	JULIO	28	200	87010	435.05
2	M. 02	420	JULIO	28	200	88250	441.25
3	M. 03	420	JULIO	28	200	92240	461.2

*Nota.* Las muestras fueron realizadas en las instalaciones del laboratorio C.F.C. para hacer uso de las balanzas y demás herramientas del laboratorio. Fuente: Propia.

Como se puede apreciar, los resultados salieron positivos, a pesar de las limitaciones al elaborar los adoquines de concreto, lo que nos demuestra que la elaboración de adoquines con PET reciclado debería dar resultados precisos a la realidad.

Para la verificación de las propiedades físico-mecánicas de los adoquines con PET reciclado, se reemplazó parte del agregado fino por el PET molido, el cual mediante el pesaje se consiguió las proporciones del 05, 10 y 15%; lo que fue elaborado en distintas mezclas de concreto para luego ser ensayadas en verificación de resistencia a la compresión.

Los resultados de la resistencia a la compresión de los adoquines con 05, 10 y 15% de PET, fueron los siguientes:

**Tabla 20**

*Rotura de adoquines de concreto con PET reciclado.*

Nº de Prob.	DESCRIPCION	F' c-Esp. Kg/cm <sup>2</sup>	Fecha de Rotura	Edad (días)	Area cm <sup>2</sup>	Lectura Kg.-F	Resist. kg./cm <sup>2</sup>
1	5% PET (Muestra 1)	420	AGOSTO	28	200	84390	<b>421.95</b>
2	5% PET (Muestra 2)	420	AGOSTO	28	200	86210	<b>431.05</b>
3	5% PET (Muestra 3)	420	AGOSTO	28	200	83180	<b>415.9</b>
4	10% PET (Muestra 1)	420	JULIO	28	200	73420	<b>367.1</b>
5	10% PET (Muestra 2)	420	JULIO	28	200	79040	<b>395.2</b>
6	10% PET (Muestra 3)	420	JULIO	28	200	81430	<b>407.15</b>
7	15% PET (Muestra 1)	420	AGOSTO	28	200	78240	<b>391.2</b>
8	15% PET (Muestra 2)	420	AGOSTO	28	200	77430	<b>387.15</b>
9	15% PET (Muestra 3)	420	AGOSTO	28	200	77210	<b>386.05</b>

*Nota.* Las muestras fueron realizadas en las instalaciones del laboratorio C.F.C. para hacer uso de las balanzas y demás herramientas del laboratorio. Fuente: Laboratorio C.F.C. técnicos, ingenieros y arquitectos E.I.R.L.

En base a los resultados, podemos apreciar que los adoquines de concreto con reemplazo de 5% de PET molido, superan la resistencia a la compresión de 420kg/cm<sup>2</sup> requerida para conformar la superficie de rodadura propuesta para la Av. Humboldt en el tramo Av. Municipal hasta la Av. Estanislao Córdor.

Por otro lado, los adoquines de concreto con reemplazo de 10% y 15% de PET molido, no superan la resistencia a la compresión de 420kg/cm<sup>2</sup> indicada en el diseño de mezcla de concreto para poder conformar la superficie de rodadura de la Av. Humboldt en el tramo Av. Municipal y la Av. Estanislao Córdor.

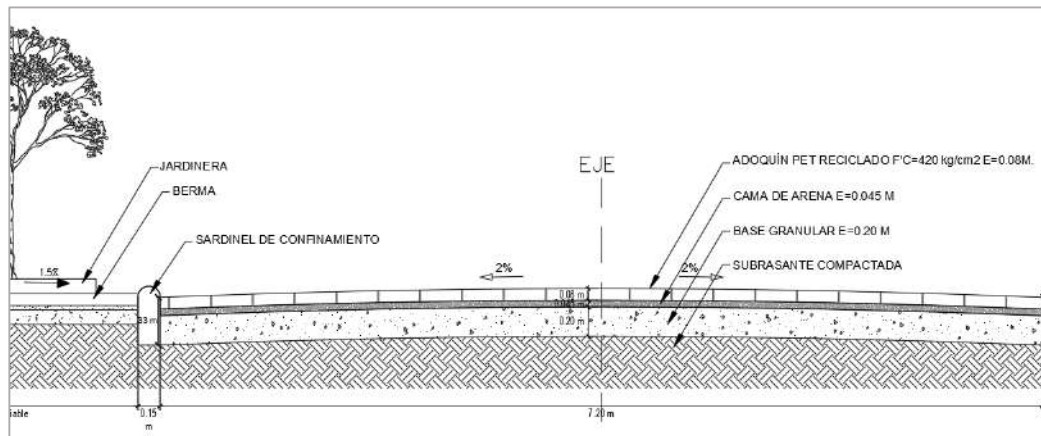
Las propiedades físico mecánicas se ven negativamente alteradas cuando la cantidad de PET reciclado reemplazado por el agregado fino son del 10% y 15%, lo cual no lo hace ser aplicable para la elaboración de adoquines para la superficie de rodadura de una avenida de tránsito pesado.

Sin embargo, los adoquines de concreto con reemplazo de 5% de PET molido, son aplicables para la superficie de rodadura de avenida de tránsito pesado como la Av. Humboldt en el tramo Av. Municipal hasta la Av. Estanislao Córdor.

Considerando que se está dando un ancho de vía de 7,20m, y la longitud total del tramo material de estudio de 1km. El espesor total del pavimento se toma para los volúmenes de corte totales.

### Figura 23

*Diseño de Pavimento articulado con adoquines de concreto propuesto.*



Fuente: Elaboración Propia

### 4.3 Desarrollo del Presupuesto del adoquinado con PET reciclado

En vista que solo el adoquín con 05% de PET alcanza la resistencia de diseño, se procede a la elaboración del presupuesto de un pavimento de adoquín con 05% de PET reciclado, lo cual se realizará en base a un presupuesto de pavimento de adoquín convencional.

Los datos “base” que servirán para la elaboración del presupuesto será el presupuesto de la obra: “Mejoramiento del servicio de movilidad urbana en la

avenida Villa Hermosa tramo calle J.M. Cuadros - terminal del Río Seco, distrito de Cerro Colorado - Arequipa – Arequipa”, el cual tiene las siguientes partidas de adoquín para calzada:

05.01.01 Material para base granular en calzada

05.01.03 Carguío y transporte de base granular y/o subbase granular

05.01.04 Riego, extendido y compactación 100% de base granular en calzada E=15cm.

05.03 Adoquinado en calzada

05.03.01 Cama de arena E=0.045m para adoquines

05.03.02 Acarreo horizontal de adoquines (720 und/parihuela)

05.03.03 Suministro e instalación de adoquines de concreto 10x20x8cm gris 561 kg/cm<sup>2</sup> Tipo III

## Figura 24

*Presupuesto de material granular clasificado.*

05	PAVIMENTO - CALZADA					
05.01	MATERIAL GRANULAR CLASIFICADO					
05.01.01	MATERIAL PARA BASE GRANULAR EN CALZADA	M3	5,322.41	66.35	353,141.90	
05.01.02	MATERIAL PARA SUB-BASE GRANULAR EN CALZADA	M3	7,096.55	58.12	412,451.49	
05.01.03	CARGUIO Y TRANSPORTE DE BASE GRANULAR Y/O SU	M3	12,418.95	10.22	126,921.67	
05.01.04	RIEGO, EXTENDIDO Y COMPACTACION 100% DE BASE	M2	28,386.18	2.54	72,100.90	
05.01.05	RIEGO, EXTENDIDO Y COMPACTACION 95% DE SUB-B/	M2	28,386.18	2.54	72,100.90	

*Nota.* La figura anterior es un extracto de la propuesta económica realizada por el Consorcio Vial Villa Hermosa para la ejecución de la Av. Villa Hermosa ubicada en Arequipa, en ella se observa las subpartidas que se requieren para conformar la

capa de rodadura a base de adoquín convencional; la columna 5 corresponde al costo unitario de cada subpartida. Fuente: Consorcio Vial Villa Hermosa (2022).

**Figura 25**

*Presupuesto de adoquinado de calzada con adoquín de concreto.*

05.03 ADOQUINADO DE CALZADA						
05.03.01	CAMA DE ARENA E=0.045 M. PARA ADOQUINES	M2	28,386.17	4.67	132,563.41	
05.03.02	ACARREO HORIZONTAL DE ADOQUINES (720 UND/PAR	M2	28,386.17	3.40	96,512.98	
05.03.03	SUMINISTRO E INSTALACION DE ADOQUINES DE CON	M2	28,386.17	74.43	2,112,782.63	
05.03.04	COMPACTACION INICIAL DE SUPERFICIE ADOQUINADA	M2	28,386.17	4.46	126,602.32	
05.03.05	SELLO EN SUPERFICIE ADOQUINADA Y COMPACTACIO	M2	28,386.17	6.34	179,968.32	

*Nota.* La figura anterior es un extracto de la propuesta económica realizada por el Consorcio Vial Villa Hermosa para la ejecución de la Av. Villa Hermosa ubicada en Arequipa, en ella se observa las subpartidas que se requieren para conformar la capa de rodadura a base de adoquín convencional; la columna 5 corresponde al costo unitario de cada subpartida. Fuente: Consorcio Vial Villa Hermosa (2022).

**Figura 26**

*Análisis de costo unitario 05.03.01 Cama de arena E=0.045m. para adoquines.*

Partida	05.03.01	CAMA DE ARENA E=0.045 M. PARA ADOQUINES			Rend:	250.0000	M2/DIA
	Código	Descripción Insumo	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio	Parcial
		<b>Mano de Obra</b>					
	47 00006	CAPATAZ	HH	0.150	0.0048	25.81	0.12
	47 00007	OPERARIO	HH	2.000	0.0640	23.46	1.50
	47 00009	PEON	HH	1.000	0.0320	16.78	0.54
							<b>2.16</b>
		<b>Materiales</b>					
	04 00029	ARENA GRUESA	M3		0.0470	52.06	2.45
							<b>2.45</b>
		<b>Equipo</b>					
	37 00004	HERRAMIENTAS MANUALES	%MO		3.0000	2.16	0.06
							<b>0.06</b>
							<b>Costo Unitario por M2 : 4.67</b>

*Nota.* La figura anterior describe los recursos necesarios para conformar la cama de arena requerida previo a la colocación de adoquines. Fuente: Consorcio Vial Villa Hermosa (2022).

### **Figura 27**

*Análisis de costo unitario 05.03.02 Acarreo horizontal de adoquines (720 und/parihuela).*

Partida	05.03.02	ACARREO HORIZONTAL DE ADOQUINES (720 UND/PARIHUELA)				Rend:	50.0000 M2/DIA
Código	Descripción Insumo	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio	Parcial	
	<b>Mano de Obra</b>						
47 00006	CAPATAZ	HH	0.150	0.0240	25.81	0.62	
47 00009	PEON	HH	1.000	0.1600	16.78	2.68	
						<b>3.30</b>	
	<b>Equipo</b>						
37 00004	HERRAMIENTAS MANUALES	%MO		3.0000	3.30	0.10	
						<b>0.10</b>	
					<b>Costo Unitario por M2 :</b>	<b>3.40</b>	

*Nota.* Esta partida comprende solo el traslado desde el punto de acopio o descarga hasta el punto donde serán instalados. Fuente: Consorcio Vial Villa Hermosa (2022).

### **Figura 28**

*Análisis de costo unitario 05.03.03 Suministro e instalación de adoquines de concreto 10x20x8cm gris 561 kg/cm<sup>2</sup>.*

Partida	05.03.03	SUMINISTRO E INSTALACION DE ADOQUINES DE CONCRETO 10x20x8CM GRIS 561 KG/CM2 TIPO III			Rend:	50.0000 M2/DIA
Código	Descripción Insumo	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio	Parcial
<b>Mano de Obra</b>						
47 00006	CAPATAZ	HH	0.150	0.0240	25.81	0.62
47 00007	OPERARIO	HH	2.000	0.3200	23.46	7.51
47 00009	PEON	HH	2.000	0.3200	16.78	5.37
						13.50
<b>Materiales</b>						
17 08077	ADOQUINES DE CONCRETO DE 10X20X8CM GRIS F'c=561 KG/CM2 TIPO III	UND		50.0000	1.18	59.00
						59.00
<b>Equipo</b>						
37 03904	CORTADORA DE DISCO 9"	HM	1.000	0.1600	9.50	1.52
37 00004	HERRAMIENTAS MANUALES	%MO		3.0000	13.50	0.41
						1.93
<b>Costo Unitario por M2 :</b>						<b>74.43</b>

*Nota.* Esta partida comprende la adquisición o costo del insumo adoquín, así como el costo para la instalación. Fuente: Consorcio Vial Villa Hermosa (2022).

## Figura 29

*Análisis de costo unitario 05.03.04 Compactación inicial de superficie adoquinada.*

Partida	05.03.04	COMPACTACION INICIAL DE SUPERFICIE ADOQUINADA			Rend:	100.0000 M2/DIA
Código	Descripción Insumo	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio	Parcial
<b>Mano de Obra</b>						
47 00006	CAPATAZ	HH	0.150	0.0120	25.81	0.31
47 00008	OFICIAL	HH	1.000	0.0800	18.56	1.48
47 00009	PEON	HH	1.000	0.0800	16.78	1.34
						3.13
<b>Equipo</b>						
37 00004	HERRAMIENTAS MANUALES	%MO		3.0000	3.13	0.09
49 07598	COMPACTADOR VIBR. TIPO PLANCHA 9.00 HP	hm	1.000	0.0800	15.50	1.24
						1.33
<b>Costo Unitario por M2 :</b>						<b>4.46</b>

*Nota.* Esta partida comprende la compactación luego de la instalación de adoquines con compactador tipo plancha. Fuente: Consorcio Vial Villa Hermosa (2022).

**Figura 30**

*Análisis de costo unitario 05.03.05 Sello en superficie adoquinada y compactación final.*

Partida	05.03.05 SELLO EN SUPERFICIE ADOQUINADA Y COMPACTACION FINAL					Rend:	100.0000 M2/DIA
Código	Descripción Insumo	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio	Parcial	
<b>Mano de Obra</b>							
47 00006	CAPATAZ	HH	0.150	0.0120	25.81	0.31	
47 00007	OPERARIO	HH	1.000	0.0800	23.46	1.88	
47 00008	OFICIAL	HH	1.000	0.0800	18.56	1.48	
						<b>3.67</b>	
<b>Materiales</b>							
04 00033	ARENA FINA	M3		0.0200	66.10	1.32	
						<b>1.32</b>	
<b>Equipo</b>							
37 00004	HERRAMIENTAS MANUALES	%MO		3.0000	3.67	0.11	
49 07598	COMPACTADOR VIBR. TIPO PLANCHA 9.00 HP	hm	1.000	0.0800	15.50	1.24	
						<b>1.35</b>	
<b>Costo Unitario por M2 :</b>						<b>6.34</b>	

*Nota.* Esta partida comprende el sello de los espacios entre adoquín-adoquín con arena fina. Fuente: Consorcio Vial Villa Hermosa (2022).

En las figuras anteriores se observa los recursos requeridos para la conformación de la capa de rodadura de adoquín de concreto.

Los costos unitarios de las partidas 05.03.01, 05.03.02, 05.03.04 y 05.03.05 las mantendremos debido a que sus recursos correspondientes no sufrirán variación al incorporarle el adoquín PET reciclado. La partida 05.03.03 Suministro e instalación de adoquines de concreto 10x20x8cm gris 561 kg/cm<sup>2</sup> se modificará para obtener un costo unitario con adoquín de PET reciclado:

**Figura 31**

*Dosificación para 1m<sup>3</sup> de concreto para adoquín, en peso y volumen.*

MATERIALES PARA 1m <sup>3</sup> /CONCRETO		PESO (Kg)	VOLUMEN ABS. (m3)
Agua		205.00 Kg.	0.205 m3
Cemento		621.21 Kg.	0.218 m3
Aire		-	0.020 m3
Piedra		894.94 Kg.	0.335 m3
Arena Gruesa		588.52 Kg.	0.222 m3

CORRECCION POR HUMEDAD Y ABSORCION			
MATERIALES	VOL	PESO (Kg)	VOLUMEN APAR. (m3)
Agua		204.00 Kg.	0.204 m3
Cemento bls	14.62	621.21 Kg.	0.414 m3
Piedra		894.79 Kg.	0.649 m3
Arena Gruesa		591.17 Kg.	0.354 m3

*Nota.* La figura anterior muestra las cantidades por 1m<sup>3</sup> de concreto para adoquín tanto en peso como en volumen corregidos. Fuente: Laboratorio CFC TÉCNICOS, INGENIEROS Y ARQUITECTOS E.I.R.L.

Para elaborar el presupuesto de un pavimento de adoquín se realizará el Análisis de Costos Unitarios (ACU) de la partida *Suministro e instalación de adoquines de concreto 10x20x8cm 420 kg/cm<sup>2</sup> con 5% PET Tipo III*. El cual tendrá la estructura de costos de la partida 05.03.03:



**Tabla 22**

Dosificación en kilogramos por 0.0016 m<sup>3</sup> de concreto.

Dosificación por 0.0016 m <sup>3</sup> de concreto (volumen de un adoquín de 20x10x8cm)			
cemento	arena gruesa	piedra	agua
0.9939	0.9459	1.4317	0.3264
	Total		3.6979

*Nota.* Se calcula la cantidad de materiales para 0.0016m<sup>3</sup> de concreto, pues ese es el volumen de concreto que se utiliza para elaborar un adoquín de concreto de 20x10x8cm. Los resultados se obtuvieron a partir de la dosificación por 1m<sup>3</sup> en kilogramos.

Es necesario determinar en peso la cantidad de PET para ingresarlo en el costo unitario del adoquín. Para ello, calculamos el 5% del peso de la arena gruesa (05% de 0.9459kg) el cual es 0.0473 kg. El precio del PET se ha despreciado ya que en este estudio se considera como material excedente o producto de la contaminación, el cual busca ser reducido o minimizado.

Posteriormente, la cantidad de arena gruesa a ingresar en el ACU será la diferencia en volumen: 0.0005m<sup>3</sup>.

Finalmente, la subpartida tiene un costo de 0.96 soles por unidad de adoquín de concreto.

**Figura 33**

*Estructura de análisis de costo unitario para adoquín de concreto  $f'c=420 \text{ kg/cm}^2$  con 5% PET reciclado.*

Sub Partida	A.1	ADOQUIN DE CONCRETO CON 5% PET RECICLADO 10x20x8CM 420 KG/CM2 TIPO III			Rend:	5,000.00	und/DIA
Código	Descripción Insumo	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio	Parcial	
<b>Mano de Obra</b>							
47 00007	OPERARIO	HH	6.000	0.0096	23.46	0.23	
47 00009	PEON	HH	6.000	0.0096	16.78	0.16	
							<b>0.39</b>
<b>Materiales</b>							
21 00003	CEMENTO PORTLAND TIPO IP (42.5KG)	BOL		0.0234	19.80	0.46	
04 00029	ARENA GRUESA	M3		0.0005	52.06	0.03	
05 07562	PIEDRA CHANCADA DE 1/2" - 3/4"	M3		0.0010	65.55	0.07	
05 07560	AGUA PARA LA CONSTRUCCION	M3		0.0003	5.50	0.00	
	PET RECICLADO	KG		0.0473	-	-	
							<b>0.56</b>
<b>Equipo</b>							
37 00004	HERRAMIENTAS MANUALES	%MO		3.0000	0.39	0.01	
							<b>0.01</b>
							<b>0.96</b>
<b>Costo Unitario por UND :</b>							<b>0.96</b>

*Nota.* Las cantidades de los insumos se ha realizado de acuerdo al diseño de mezcla.

Fuente: Elaboración propia.

**Figura 34**

*Estructura de análisis de costo unitario para Suministro e Instalación de adoquines de concreto 10x20x8CM con 5% PET 420KG/CM2 TIPO III.*

Partida	A	SUMINISTRO E INSTALACION DE ADOQUINES DE CONCRETO 10x20x8CM CON 5% PET 420KG/CM2 TIPO III			Rend:	50.00	M2/DIA
Código	Descripción Insumo	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio	Parcial	
<b>Mano de Obra</b>							
47 00006	CAPATAZ	HH	0.150	0.0240	25.81	0.62	
47 00007	OPERARIO	HH	2.000	0.3200	23.46	7.51	
47 00009	PEON	HH	2.000	0.3200	16.78	5.37	
							<b>13.50</b>
<b>Equipo</b>							
37 03904	CORTADORA DE DISCO 9"	HM	1.000	0.1600	9.50	1.52	
37 00004	HERRAMIENTAS MANUALES	%MO		3.0000	13.50	0.40	
							<b>1.92</b>
<b>Subpartida</b>							
17 07561	ADOQUIN DE CONCRETO CON 5% PET RECICLADO 10x20x8CM 42	UND		50.0000	0.96	47.94	
							<b>47.94</b>
<b>Costo Unitario por M2 :</b>							<b>63.36</b>

*Nota.* El insumo adoquín se ha tratado como subpartida con ACU propio. Fuente:

Elaboración propia.

Se determinará el presupuesto de la capa de rodadura a base de adoquines de concreto por metro cuadrado.

### Figura 35

*Presupuesto de la capa de rodadura a base de adoquines de concreto con 5% de PET, por metro cuadrado.*

Descripción	Unidad	Metrado	Precio	Parcial	Sub Total	Total
<b>ADOQUINADO DE CALZADA</b>					82.23	103.91
CAMA DE ARENA E=0.045M PARA ADOQUINES	M2	1.00	4.67	4.67		
ACARREO HORIZONTAL DE ADOQUINES (720UND/PARIHUELA)	M2	1.00	3.40	3.40		
SUMINISTRO E INSTALACION DE ADOQUINES DE CONCRETO 10x20x8CM con 5% PET 420 KG/CM2 TIPO III	M2	1.00	63.36	63.36		
COMPACTACION INICIAL DE SUPERFICE ADOQUINADA	M2	1.00	4.46	4.46		
SELLO EN SUPERFICIE ADOQUINADA Y COMPACTACION FINAL	M2	1.00	6.34	6.34		
<b>MATERIAL GRANULAR CLASIFICADO</b>					21.68	
MATERIAL PARA BASE GRANULAR EN CALZADA	M3	0.25	66.35	16.59		
CARGUÍO Y TRANSPORTE DE BASE GRANULAR	M3	0.25	10.22	2.56		
RIEGO, EXTENDIDO Y COMPACTACIÓN DE BASE GRANULAR EN CALZADA	M2	1.00	2.54	2.54		
<b>COSTO DIRECTO</b>						<b>103.91</b>
<i>Son: CIENTO TRES CON 91/100 SOLES</i>						

*Nota.* La estructura de presupuesto tipo fue realizado con los precios “base” del presupuesto de la obra Av. Villa Hermosa-Cerro Colorado-Arequipa-Arequipa.

Fuente: Elaboración propia.

Se realizó el análisis de costos de un adoquín sin incorporarle PET. El volumen de arena gruesa pasó de 0.0005 a 0.0006, alcanzando un precio parcial de 0.03 soles, precio que no varía cuando se reemplaza el 5% de PET por arena gruesa.

**Figura 36**

*Análisis de costo unitario para adoquín de concreto  $f'c=420 \text{ kg/cm}^2$  (sin PET).*

Sub Partida A.1		ADOQUIN DE CONCRETO 10x20x8CM 420 KG/CM2 TIPO III			Rend: 5,000.00 und/DIA	
Código	Descripción Insumo	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio	Parcial
<b>Mano de Obra</b>						
47 00007	OPERARIO	HH	6.000	0.0096	23.46	0.23
47 00009	PEON	HH	6.000	0.0096	16.78	0.16
<b>0.39</b>						
<b>Materiales</b>						
21 00003	CEMENTO PORTLAND TIPO IP (42.5KG)	BOL		0.0234	19.80	0.46
04 00029	ARENA GRUESA	M3		0.0006	52.06	0.03
05 07562	PIEDRA CHANCADA DE 1/2" - 3/4"	M3		0.0010	65.55	0.07
05 07560	AGUA PARA LA CONSTRUCCION	M3		0.0003	5.50	0.00
<b>0.56</b>						
<b>Equipo</b>						
37 00004	HERRAMIENTAS MANUALES	%MO		3.0000	0.39	0.01
<b>0.01</b>						
<b>Costo Unitario por UND :</b>						<b>0.96</b>

*Nota.* Se observa que la variación de la cantidad de arena gruesa no influye en el precio parcial. Fuente: Elaboración propia.

El precio unitario de la unidad de adoquín (con o sin PET) se mantiene en 0.96 soles por lo que el presupuesto de la capa de rodadura a base de adoquines de concreto por metro cuadrado se mantiene en 103.91 soles.

### **Comparación con un pavimento flexible**

En verificación del costo que resulta necesario para ejecutar una vía adoquinada, se comparará el precio de la superficie adoquinada con el precio de una avenida con mezcla asfáltica en frío convencional, tal como se ejecutan las obras normalmente en el distrito de Gregorio Albarracín.



### Figura 38

*Presupuesto de la capa de rodadura de pavimento asfáltico.*

<i>Descripción</i>	<i>Unidad</i>	<i>Metrado</i>	<i>Precio</i>	<i>Parcial</i>	<i>Sub Total</i>	<i>Total</i>
<b>PAVIMENTO ASFÁLTICO</b>					38.87	77.64
IMPRIMACIÓN CON MC-30 (INC. BARRIDO)	M2	1.00	5.89	5.89		
ARENADO DE SUPERFICE ASFÁLTICA	M2	1.00	1.94	1.94		
LIMPIEZA DE VÍA PREVIO A COLOCACIÓN DE CARPETA	M2	1.00	1.60	1.60		
CARPETA ASFÁLTICA E=2"	M2	1.00	29.44	29.44		
<b>MATERIAL GRANULAR CLASIFICADO</b>					38.77	
MATERIAL PARA BASE GRANULAR EN CALZADA	M3	0.25	66.35	16.59		
CARGUÍO Y TRANSPORTE DE BASE GRANULAR	M3	0.25	10.22	2.56		
RIEGO, EXTENDIDO Y COMPACTACIÓN DE BASE GRANULAR EN CALZADA	M2	1.00	2.54	2.54		
MATERIAL PARA BASE GRANULAR EN CALZADA	M3	0.19	66.35	12.61		
CARGUÍO Y TRANSPORTE DE BASE GRANULAR	M3	0.19	10.22	1.94		
RIEGO, EXTENDIDO Y COMPACTACIÓN DE BASE GRANULAR EN CALZADA	M2	1.00	2.54	2.54		
<b>COSTO DIRECTO</b>						<b>77.64</b>
<i>Son: SETENTA Y SIETE CON 64/100 SOLES</i>						

Fuente: Elaboración propia

Considerando que se está tomando un ancho de vía de 7,20m, y la longitud total del tramo material de estudio de 1km, procedemos a calcular un presupuesto total del kilómetro de vía con un pavimento con adoquines de concreto, un pavimento con adoquines de concreto con 05% de PET reciclado y un pavimento asfáltico. El espesor total del pavimento se toma para los volúmenes de corte totales.

Así también se considerarán los mismos metrados y precios para la determinación de los presupuestos:

**Figura 39**

*Presupuesto de pavimento con superficie de rodadura adoquinada*

<b>PRESUPUESTO TOTAL N°01: PAVIMENTO CON ADOQUINES DE CONCRETO</b>					
<b>MOVIMIENTO DE TIERRAS</b>					259,768.80
CORTE DE MATERIAL CON MAQUINARIA HASTA SUBRASANTE	M3	2,340.00	9.87	23,095.80	
ESCARIFICADO, CONFORMACION Y COMPACTACIÓN DE SUBRASANTE	M2	7,200.00	6.87	49,464.00	
ELIMINACION DE MATERIAL C/CARG FRONTAL Y VOLQUETE	M3	2,925.00	13.64	39,897.00	
BASE GRANULAR E=0.20 M	M2	7,200.00	20.46	147,312.00	
<b>ADOQUINADO DE CALZADA</b>					592,056.00
CAMA DE ARENA E=0.45M PARA ADOQUINES	M2	7,200.00	4.67	33,624.00	
ACARREO HORIZONTAL DE ADOQUINES (720 UND/PARIHUELA)	M2	7,200.00	3.40	24,480.00	
SUMINISTRO E INSTALACIÓN DE ADOQUINES DE CONCRETO 10x20x8CM	M2	7,200.00	63.36	456,192.00	
COMPACTACIÓN INICIAL DE SUPERFICIE ADOQUINADA	M2	7,200.00	4.46	32,112.00	
SELLO EN SUPERFICIE ADOQUINADA Y COMPACTACIÓN FINAL	M2	7,200.00	6.34	45,648.00	
<b>TOTAL SIN IGV</b>					<b>S/ 851,824.80</b>

Fuente: Elaboración propia

**Figura 40**

*Presupuesto de pavimento con superficie de rodadura adoquinada con 5% de PET*

<b>PRESUPUESTO TOTAL N°02: PAVIMENTO CON ADOQUINES DE CONCRETO CON 5% DE PET RECICLADO</b>					
<b>MOVIMIENTO DE TIERRAS</b>					259,768.80
CORTE DE MATERIAL CON MAQUINARIA HASTA SUBRASANTE	M3	2,340.00	9.87	23,095.80	
ESCARIFICADO, CONFORMACION Y COMPACTACIÓN DE SUBRASANTE	M2	7,200.00	6.87	49,464.00	
ELIMINACION DE MATERIAL C/CARG FRONTAL Y VOLQUETE	M3	2,925.00	13.64	39,897.00	
BASE GRANULAR E=0.20 M	M2	7,200.00	20.46	147,312.00	
<b>ADOQUINADO DE CALZADA</b>					592,056.00
CAMA DE ARENA E=0.45M PARA ADOQUINES	M2	7,200.00	4.67	33,624.00	
ACARREO HORIZONTAL DE ADOQUINES (720 UND/PARIHUELA)	M2	7,200.00	3.40	24,480.00	
SUMINISTRO E INSTALACIÓN DE ADOQUINES DE CONCRETO 10x20x8CM	M2	7,200.00	63.36	456,192.00	
COMPACTACIÓN INICIAL DE SUPERFICIE ADOQUINADA	M2	7,200.00	4.46	32,112.00	
SELLO EN SUPERFICIE ADOQUINADA Y COMPACTACIÓN FINAL	M2	7,200.00	6.34	45,648.00	
<b>TOTAL SIN IGV</b>					<b>S/ 851,824.80</b>

Fuente: Elaboración propia

## Figura 41

*Presupuesto de pavimento con superficie de carpeta asfáltica.*

PRESUPUESTO TOTAL N°03: PAVIMENTO ASFÁLTICO					
<b>MOVIMIENTO DE TIERRAS</b>					423,555.84
CORTE DE MATERIAL CON MAQUINARIA HASTA SUBRASANTE	M3	2,952.00	9.87	29,136.24	
ESCARIFICADO, CONFORMACION Y COMPACTACIÓN DE SUBRASANTE	M2	7,200.00	6.87	49,464.00	
ELIMINACION DE MATERIAL C/CARG FRONTAL Y VOLQUETE	M3	3,690.00	13.64	50,331.60	
BASE GRANULAR E=0.20 M	M2	7,200.00	20.46	147,312.00	
SUBBASE GRANULAR E=0.20 M	M2	7,200.00	20.46	147,312.00	
<b>PAVIMENTO ASFÁLTICO</b>					279,864.00
IMPRIMACIÓN CON MC-30 (INC. BARRIDO)	M2	7,200.00	5.89	42,408.00	
ARENADO DE SUPERFICIE ASFÁLTICA	M2	7,200.00	1.94	13,968.00	
LIMPIEZA DE VIA PREVIO A COLOCACIÓN DE CARPETA	M2	7,200.00	1.60	11,520.00	
CARPETA ASFÁLTICA E=2"	M2	7,200.00	29.44	211,968.00	
				<b>TOTAL SIN IGV</b>	<b>S/ 703,419.84</b>

Fuente: Elaboración propia

## CAPÍTULO V: DISCUSIÓN DE RESULTADOS

### 5.1 Análisis del diseño de pavimento

En la presente tesis, se conformó la estructura del pavimento de la Av. Humboldt en el tramo Av. Municipal y la Av. Estanislao Córdor. En base al número estructural requerido que arrojó el diseño de pavimento, se propuso un paquete estructural con superficie de rodadura de adoquines de concreto, resultando lo siguiente:

**Tabla 23**

*Capas estructurales de pavimento semirrígido.*

Capa estructural	Espesor en (cm)
Adoquín de concreto	8,00
Base Granular	20,00

*Nota.* Superficie de rodadura con adoquines de concreto. Fuente: Elaboración propia.

El cálculo del diseño de pavimento realizado, garantiza el uso de adoquines de concreto como la superficie de rodadura, que permite el tránsito pesado durante el periodo de vida útil proyectado (año 2034).

El número estructural requerido en el diseño de pavimento es de 2,28, mientras que las capas estructurales propuestas dan un SN calculado de:

**Tabla 24**

*Número estructural calculado para capas estructurales del pavimento.*

<i>Capa de material</i>	<i>Coefficiente de Capa (a)</i>	<i>Coefficiente de Drenaje (m)</i>	<i>Espesor (Pulg)</i>	<i>Numero Estructural de Capa (SN)</i>
Adoquín	0,44	1	3,15	1,386
Base Granular	0,14	1	7,874	1.1

Fuente: Elaboración propia.

Como se puede apreciar en la tabla anterior, el número estructural de capa de la superficie de rodadura con adoquín de concreto tiene gran incidencia. Por otro lado, el SN calculado da un total de 2,49, que es mayor al SN requerido para soportar las cargas móviles por tránsito vehicular durante el periodo de vida proyectado al año 2034.

## **5.2 Adición de PET reciclado en 5%, 10% y 15%, a los adoquines de concreto**

Los adoquines de concreto de diseño normal y con PET reciclado al 5%, 10% y 15% fueron dosificados y ensayados de acuerdo a lo que indicaba el diseño de mezcla elaborado por el laboratorio C.F.C. técnicos, ingenieros y arquitectos E.I.R.L.

De los resultados se obtuvieron que solo el adoquín con 5% de PET reciclado cumple con la resistencia requerida para el diseño del pavimento

calculado, por lo que se descarta el uso de los adoquines de concreto con 10% y 15% de PET para el diseño de pavimento del presente proyecto.

En el proyecto de investigación denominado “Efecto de las Partículas de Tereftalato de Polietileno Reciclado en la Resistencia a la Compresión y Desgaste de Adoquines de Concreto”, podemos apreciar que hacen verificaciones físico mecánicas de adoquines preparados con tereftalato de polietileno reciclado, en donde sus resultados los llevaron a corroborar que la adición del material antes mencionado a los adoquines de concreto en una proporción del 3%, mejora las características físico-mecánicas en un 1,1% a los 28 días, ya que la resistencia a la compresión resultó ser mayor a la esperada, se realizó un diseño de mezcla de 320kg/cm<sup>2</sup>, el resultado del adoquín de concreto simple obtuvo una resistencia a la compresión a los 28 días de 321,60 kg/cm<sup>2</sup>, mientras que el adoquín de concreto con adición 3% de tereftalato de polietileno obtuvo una resistencia a la compresión de 343,11 kg/cm<sup>2</sup>.

Al respecto debemos señalar que dicho ensayo se propuso para una resistencia a la compresión más baja, la cual no es viable para aplicar en el tramo ensayado. Adicionalmente el porcentaje ensayado fue menor en relación a los porcentajes ensayados en la presente investigación. Sin embargo, podemos corroborar que el plástico reciclado en pequeñas cantidades, sí permite conservar las propiedades físico-mecánicas en los adoquines de concreto simple.

### 5.3 Análisis económico de precios unitarios

Los resultados obtenidos de la construcción del costo unitario de *Suministro e instalación de adoquines de concreto 10x20x8cm 420 kg/cm<sup>2</sup> con 5% PET Tipo III* es el siguiente:

**Tabla 25**

*Resultado de costo unitario Suministro e instalación de adoquines de concreto 10x20x8cm 420 kg/cm<sup>2</sup> con 5% PET Tipo III.*

Partida	A	Suministro e instalación de adoquines de concreto 10x20x8cm 420 kg/cm <sup>2</sup> con 5% PET Tipo III.				
Rendimiento	m <sup>2</sup> /día	50	Eq.	50	Costo unitario directo por: m <sup>2</sup>	63.36

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla anterior se tiene que el costo calculado es de S/ 63,36 por metro cuadrado de instalación de adoquines con un rendimiento de 50 metros cuadrados por día. Este precio unitario no incluye el Impuesto General a las Ventas (IGV).

El rendimiento se tomó con referencia de los ACUs del Expediente Técnico original de la obra: “Mejoramiento del servicio de movilidad urbana en la avenida Villa Hermosa tramo calle J.M. Cuadros - terminal del Río Seco, distrito de Cerro Colorado - Arequipa – Arequipa”, y se creó una sub partida para la elaboración del adoquín en base a las dosificaciones obtenidas.

Los análisis de costos unitarios se construyen a base de la experiencia y mediciones en campo para determinar el costo real, es así que los análisis de precios pueden variar una vez que se haya aplicado la teoría y ensayos explicados en los capítulos anteriores. Como bien se conoce, el presente proyecto es un prototipo que teóricamente ha demostrado que puede ser aplicado en una construcción.

Si se desea conocer la diferencia o comparación económica del costo de un pavimento de adoquín versus el costo de un pavimento asfáltico es necesario estudiar el proceso de construcción y rendimiento del otro tipo de pavimento para luego construir un nuevo ACU con los materiales, equipos, herramientas y mano de obra, insertando los mismos precios de los insumos de la base de datos utilizada en este proyecto. Si se desea comparar el costo de la elaboración de un adoquín con PET versus un adoquín sin PET, teniendo en cuenta las mismas cantidades con excepción de la cantidad del agregado fino ya que este insumo es el directamente afectado con el porcentaje de adición de PET, resulta que el adoquín con PET cuesta más que el adoquín sin PET; esto se debe a que el PET adquirido en esta localidad tiene un precio exageradamente elevado, por lo que inferimos que el precio no es una muestra significativa del precio real y por cantidad (o por mayor); y no será el mismo si se adquiere en grandes cantidades para la elaboración de adoquines en forma industrial que en forma artesanal (como se elaboraron en esta tesis).

**Figura 42** Comparación de Presupuestos.

<b>PRESUPUESTO TOTAL</b>		
<b>PAVIMENTO CON ADOQUINES DE CONCRETO</b>	<b>ADOQUINES DE CONCRETO CON 05% DE PET</b>	<b>PAVIMENTO ASFÁLTICO</b>
<b>S/ 851,824.80</b>	<b>S/ 851,824.80</b>	<b>S/ 703,419.84</b>

Fuente: Elaboración propia.

En la figura 42, se observa una comparación de los presupuestos calculados para el tramo del proyecto: con un Pavimento con adoquines de concreto, con un Pavimento con adoquines de concreto con 5% de PET, y con un Pavimento Asfáltico.

Se obtuvo que la diferencia del precio entre el Pavimento con Adoquines de concreto y el Pavimento con adoquines de concreto con 05% de PET son prácticamente despreciables.

Al compararlo con el presupuesto de un Pavimento asfáltico, se obtuvo que el Pavimento Asfáltico es más económico, sin embargo, la diferencia principal del pavimento de adoquín con PET versus otros tipos de pavimentos, radica en que el adoquín con PET es ecoamigable y su aplicación en vías urbanas permite desinstalarlos con facilidad para posteriormente realizar construcciones por debajo del pavimento como son renovaciones de redes de agua potable, alcantarillado, red de fibra óptica, gas, entre otros, un beneficio que los pavimentos asfálticos o de concreto no poseen.

La instalación de adoquines no requiere de equipos o maquinarias, pero se puede agregar, como lo realizan en otros países para maximizar la producción y generar mayores utilidades, sin embargo, es opcional.

En resumen, la única diferencia para este caso de análisis se basa en la reutilización del plástico PET y la cantidad a reemplazar del agregado fino por PET.

Es importante contar con toda la mano de obra y/o equipo necesario para lograr los rendimientos con los cuales se calculó el costo unitario ya que si alguno de estos equipos presenta fallas o ausencia no se llegará a conseguir las utilidades deseadas.

Como se observa en la figura 35 se construyó un sub presupuesto o extracto de presupuesto del costo de construcción de un pavimento de adoquín con PET 5% es cual es de 103,91 soles por metro cuadrado de estructura de pavimento. Se consideró una base granular convencional de 0,20 m de espesor como se indicó en la simulación del diseño de pavimento (capítulo anterior) y para el cálculo del volumen por 1m<sup>2</sup> de pavimento se aplicó un 1,25 de esponjamiento ya que la base granular al ser adquirida presenta un estado natural esponjado y luego de colocado en campo es compactado volviendo a una unidad de volumen. El costo no incluye IGV.

El presupuesto de la figura 40 solo se enfoca a las partidas conformantes del pavimento de este trabajo de investigación: base granular y adoquinado, para su ejecución en campo. Es posible que para otros suelos se requiera de una sub base y

bastará con añadir al diseño pavimento y crear un análisis de costos unitarios para dicha capa e incorporarlos al presupuesto. En construcciones en general, se requiere de varias actividades y partidas para llevar a cabo un proyecto, las cuales no están consideradas en el presupuesto anterior. Asimismo, para tener un presupuesto preciso, es necesario determinar los objetivos y/o metas físicas (metrados) del proyecto en específico.

Comparando el pavimento articulado versus el pavimento flexible, en la figura 41, se aprecia que a pesar que el pavimento flexible requiere una capa estructural adicional de subbase, sigue siendo más económico que el pavimento con superficie de rodadura adoquinada, lo cual puede ser un factor principal por el cual en la ciudad de Tacna no se ejecutan vías con adoquines (por su elevado costo), sin embargo, se debería considerar que el mantenimiento a las vías con superficie adoquinadas es menos frecuente que el mantenimiento sobre los pavimentos flexibles. Considerando este punto adicional, se considera viable la ejecución de pavimentos semirrígidos (adoquinados con PET 5%) en vías colectoras.

En el proyecto de investigación denominado “ADOQUÍN AVANZADO, UN PROTOTIPO DE PAVIMENTO ARTICULADO PARA VÍAS DE ALTO FLUJO VEHICULAR”, postulan elaborar un adoquín articulado que soporte cargas de un alto flujo vehicular, se caracterizó en ver el aspecto económico, debido a que la conclusión de esta investigación fue que la propuesta de adoquín para alto flujo vehicular satisfacen los requisitos estructurales necesarios para la infraestructura

vial de la ciudad de Girardot, se demuestra que el presupuesto de la pavimentación tradicional supera en un alto porcentaje a la pavimentación con este adoquín.

En nuestro análisis de precios, obtuvimos que efectivamente el adoquín con PET reciclado, disminuye en precio comparando con un adoquín de concreto simple, sin embargo, esta reducción es mínima casi imperceptible debido a que solo es un reemplazo de agregado en 5%, manteniendo todas las demás cantidades y precios.

## **CAPÍTULO VI: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

### **6.1 CONCLUSIONES**

1. El uso de adoquines de concreto con PET reciclado mejora la infraestructura vial urbano en la Avenida Humboldt, tramo: Av. Municipal – Av. Estanislao Córdor, distrito Gregorio Albarracín Lanchipa, provincia de Tacna, región Tacna. Aumentando las capacidades estructurales, posee unas capacidades mejores de mantenimiento pues pueden ser reemplazados con facilidad. Además, generan menor impacto ambiental porque se estaría reutilizando el PET para la elaboración de los adoquines de concreto y no se realizan procesos químicos para la elaboración de la carpeta de rodadura en comparación con el pavimento asfáltico.
2. El pavimento de adoquín de concreto con PET reciclado estará compuesto por las siguientes capas: una carpeta de rodadura de 8cm de espesor constituida por adoquines de concreto con PET al 05%, de dimensiones 10x20x8cm, una cama de arena de 4.5cm, una capa de base granular de 20cm constituido por un material que alcance un CBR de 100% y la subrasante la cual según los resultados de los ensayos de laboratorio está compuesta por grava mal graduada con poco fino alcanzando un CBR de 30%. Se obtuvo un número estructural (SN) requerido de 2.28 y un SN calculado de 2,49, el cual es mayor al SN

requerido (2,28). Eso garantiza la resistencia a las posibles fallas estructurales al soportar las cargas móviles en el transcurso del periodo de diseño.

3. Luego de realizar la rotura de las muestras de adoquines de concreto con PET al 05%, 10% y 15%; podemos concluir que solo el diseño con PET reciclado al 5% cumple las propiedades físico mecánicas alcanzando una resistencia de  $423\text{kg/cm}^2$  el cual garantiza el cumplimiento del diseño estructural.
4. De los resultados obtenidos en el análisis de costos, el presupuesto para la aplicación del diseño de pavimento propuesto es de S/103,91 por metro cuadrado de pavimento y el costo de la unidad de adoquín con PET incorporado es de S/ 0,96 soles. Se concluye que el costo del pavimento de adoquín con PET reciclado resultó ser menor al del pavimento de adoquín de concreto simple, pero esta diferencia es muy reducida; además, se determinó que su costo es más elevado que el de un pavimento flexible, a pesar que esta última posee una capa más en su diseño estructural, sin embargo, hay que resaltar que el adoquín con PET reciclado es ecoamigable y su aplicación en vías urbanas permite desinstalarlos con facilidad para posteriormente realizar construcciones por debajo del pavimento como son renovaciones de redes de agua potable, alcantarillado, red de fibra óptica, gas, entre otros, un beneficio que los pavimentos asfálticos o de concreto no poseen, por lo que el costo del mantenimiento de una vía con adoquines de concreto es menor y su tiempo de vida útil es mayor.

## 6.2 RECOMENDACIONES

1. Se recomienda el uso de adoquines de concreto con PET reciclado al 05% para la superficie de rodadura, ya que se demostró que el pavimento semirrígido es capaz de soportar las cargas móviles a las que sería sometido hasta el 2 034 en la Av. Humboldt en el tramo Av. Municipal y la Av. Estanislao Cándor, provincia de Tacna, región Tacna, además que se debe tomar en cuenta que el mantenimiento a las vías con superficie adoquinada es menos frecuente que el mantenimiento sobre los pavimentos flexibles y su tiempo de vida útil es mayor.
2. Se sugiere adquirir el PET reciclado en grandes cantidades, debido a que en esta localidad el precio es mayor si se adquiere en menores proporciones, lo cual afectaría significativamente el cumplimiento del presupuesto.
3. Se propone a futuras investigaciones diseñar adoquines de concreto con un mayor porcentaje de PET reciclado, lo cual sería para un tránsito peatonal o liviano, con lo cual se tendría un mayor aprovechamiento de este material reutilizable.
4. En adición, el adoquín de concreto con PET reciclado es ecoamigable ya que se está reutilizando el PET, es por esto que se recomienda promover el uso de materiales reciclados en rehabilitaciones urbanas o rurales ya que esto representa menor impacto ambiental ocasionado por las obras.

## BIBLIOGRAFÍA

- American Association of state Highway Transportation Officials. (1993). *Guide for desing of pavement structures*. Washington D.C.
- Angarita, D., & Lizarazo, O. (2018). *Análisis del comportamiento mecánico de adoquines de concreto con adición de fibra de acero de llantas recicladas*. [Trabajo de grado para obtención de título profesional, Universidad de la Salle]. Archivo digital. Obtenido de [https://ciencia.lasalle.edu.co/ing\\_civil/390](https://ciencia.lasalle.edu.co/ing_civil/390)
- Araujo, A., Soler, L. R., & Palazzi, S. (2013, del 3 al 4 de octubre). Diagnóstico de la situación actual del manejo, uso y vertido de los RCD en el municipio de San Miguel de Tucumán [conferencia]. *IX Jornada de ciencia y tecnología de facultades de ingeniería del NOA*. Santiago del Estero, Argentina. Obtenido de <http://docplayer.es/143214052-Diagnostico-de-la-situacion-actual-del-manejo-uso-y-vertido-de-los-rcd-en-el-municipio-de-san-miguel-de-tucuman.html>
- Bahamondes, R., Echaveguren, T., & Vargas, S. (2013). Análisis de métodos de diseño de pavimentos de adoquines de hormigón. *Revista de la construcción*, 12(3), 17-26. Obtenido de <https://scielo.conicyt.cl/pdf/rconst/v12n3/art02.pdf>

- Caicedo, C. (2016). *Diseño de un pavimento articulado con adoquines compuestos por reciclados de concreto como agregado fino y cenizas provenientes del bagazo de la caña de azúcar como reemplazo parcial del cemento Portland*. [Proyecto de grado para obtención de título profesional, Pontificia Universidad Javeriana Cali]. Archivo digital. Obtenido de <http://vitela.javerianacali.edu.co/handle/11522/8072?show=full>
- Cespedes, A. (2019). *Proceso de producción y colocación de mezcla asfáltica en caliente empleando una planta de asfalto móvil*. [Trabajo para obtención de título profesional, Universidad de Piura]. Archivo digital. Obtenido de [https://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/11042/4265/TSP\\_ICI\\_016.pdf](https://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/11042/4265/TSP_ICI_016.pdf)
- Chango, A., Zambrano, L., Loayza, X., & Santos, E. (2006). Diseño de pavimentos articulados para el proyecto sector 3 en la ciudad de Guayquil, con la aplicación del programa PAVEMENTSOFT. *Revista Politécnica*, 5(2), 50-62.
- Concretos Supermix. (2022). *ADOQUINES*. Obtenido de <https://www.supermix.com.pe/adoquines/#:~:text=Los%20adoquines%20son%20piezas%20de,mejor%20comportamiento%20ante%20las%20lluvias>
- Consortio Vial Villa Hermosa. (2022). *Contratación para la ejecución de la obra: "Mejoramiento del servicio de movilidad urbana en la avenida Villa*

*Hermosa tramo calle J.M. Cuadros - Terminal del Río Seco, Distrito de Cerro Colorado - Arequipa - Arequipa". Arequipa.*

Corredor, G. (2008). Experimento Vial de la AASHO y las Guías de Diseño AASHTO. *Maestría en vías terrestres-Módulo III-Diseño de pavimentos I.*

Obtenido de <https://sjnavarro.files.wordpress.com/2008/08/aashto-931.pdf>

Eden agua pura. (2019). Obtenido de Los 7 tipos de plásticos presentes en nuestro día a día: <https://www.edenagua.com/los-7-tipos-de-plasticos-presentes-en-nuestro-dia-a-dia/>

Esteban, K. (2018). *Reaprovechamiento de los residuos de construcción y demolición, como agregado reciclado para la elaboración de adoquines.*

[Tesis para obtener el título profesional, Universidad César Vallejo].

Archivo digital. Obtenido de

<https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/28021>

Estrada, F. (2017). *Uso de material reciclado de tereftalato de polietileno, pet, como agregado fino para mezclas de concreto, para la elaboración de*

*adoquines.* [Trabajo para obtención de título profesional, Universidad de

San Carlos de Guatemala]. Archivo digital. Obtenido de

<http://biblioteca.ingenieria.usac.edu.gt/>

Gamez, E. (2020). *Desarrollo de prototipo de adoquín de concreto con adición de polietileno de alta densidad para pavimentos con bajos volúmenes de*

*tránsito.* [Trabajo de grado para obtención de maestría en ingeniería,

Universidad de Magdalena]. Archivo digital. Obtenido de <http://repositorio.unimagdalena.edu.co/jspui/handle/123456789/6124>

Hernández, Y. (2018). *Pavimentos de adoquines de concreto una solución ambiental en la construcción de la infraestructura vial colombiana*. [Trabajo de grado para obtención de título de especialista, Universidad Militar Nueva Granada]. Archivo digital. Obtenido de <https://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/handle/10654/17882/Hern%C3%A1ndezC%C3%A9pedaYomaraBeatriz2018.pdf?sequence=2&isAllowed=y>

Instituto Nacional de Calidad. (2017). *Norma Técnica Peruana NTP 399.611 "Unidades de albañilería. Adoquines de concreto para pavimentos. Requisitos"*.

Instituto Nacional de Estadística e Informática. (2021). *Flujo vehicular por unidades de peaje*. Obtenido de <https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/boletines/07-informe-tecnico-flujo-vehicular-may-2021.pdf>

Ledezma, F., & Yauri, W. (2017). *Diseño de mezcla del concreto para elaboración de adoquines con material reciclado de neumáticos en la provincia de Huancavelica*. [Tesis para obtención de título profesional, Universidad Nacional de Huancavelica]. Archivo digital. Obtenido de <http://repositorio.unh.edu.pe/handle/UNH/1800>

- López, F. (2008). *Influencia de la variación de los parámetros de dosificación y fabricación de hormigón reciclado estructural sobre sus propiedades físicas y mecánicas*. [Tesis doctoral, Universidad de Oviedo]. Archivo digital. Obtenido de <http://hdl.handle.net/10803/11104>
- Martínez, M., Marchetto, V., & Lozano, E. (2018). Plástico (PET) de reciclaje molido usado en adoquines de concreto. *Revista estudiantil URU*, (9), 57-61.
- Melgar, W. (2019). *Implementación de gestión del tiempo para controlar retrasos en obras de saneamiento por administración directa del municipio distrital de Ascensión*. [Tesis para obtención de título profesional, Universidad Nacional de Huancavelica]. Archivo digital. Obtenido de <http://repositorio.unh.edu.pe/handle/UNH/2972>
- Meza, Y. (2018). “*Propiedades Físico – Mecánicas de adoquines elaborados con plástico reciclado para pavimento peatonal en el Centro Comercial Tambo Plaza, Lurín - 2017*”. [Tesis para obtención de título profesional, Universidad César Vallejo]. Archivo digital. Obtenido de <https://hdl.handle.net/20.500.12692/26903>
- Meza, Y. (2018). *Propiedades físico-mecánicas de adoquines elaborados con plástico reciclado para pavimento peatonal en el centro comercial Tambo Plaza, Lurín-2017*. [Tesis para obtención de título profesional, Universidad César Vallejo]. Archivo digital.

Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2013). *Manual de Carreteras Especificaciones Técnicas Generales para construcción EG-2013*.

Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2014). *Manual de Carreteras Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos, Sección Suelos y Pavimentos*.

Ministerio de transportes y comunicaciones. (2006). *Reglamento Nacional de Gestión de Infraestructura Vial*. Obtenido de <https://www.proviasdes.gob.pe/Normas/Proyecto.pdf>

Navas, A., & Rincón, C. (2020). *Adoquín avanzado, un prototipo de pavimento articulado para vías de alto flujo vehicular*. [Trabajo para obtención de título profesional, Universidad Piloto de Colombia]. Archivo digital. Obtenido de <http://repository.unipiloto.edu.co/bitstream/handle/20.500.12277/7757/Proyecto%20de%20grado%20%28ADOQUIN%20AVANZADO%20CUN%20PROTOTIPO%20DE%20PAVIMENTO%20ARTICULADO%20PARA%20VIAS%20DE%20ALTO%20FLUJO%20VEHICULAR%29.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Ocaranza, S., Sánchez, R., & Anaya, H. (2013, 3 y 4 de octubre). Uso de material granular reciclado provenientes de residuos de construcción y demolición (RCD) en bases y subbases para pavimentos flexibles [conferencia]. *IX Jornada de ciencia y tecnología de facultades de ingeniería civil del NOA*. Santiago del Estero, Argentina. Obtenido de

<https://fcf.unse.edu.ar/archivos/publicaciones/codinoa-2013/trabajos/tecnologicas/49-ocaranza.pdf>

Padilla, A., & Pinto, R. (2019). *Análisis de distintas metodologías de CBR de diseño para el cálculo de espesores en pavimentos flexibles*. [Trabajo de grado, Universidad de la Costa]. Archivo digital. Obtenido de [https://repositorio.cuc.edu.co/bitstream/handle/11323/5090/AN%C3%81LISIS%20DE%20LAS%20DISTINTAS%20METODOLOG%C3%8DAS%20DE%20CBR%20DE%20DISE%C3%91O%20PARA%20EL%20CALCULO%20DE%20ESPESORES%20EN%20PAVIMENTOS%](https://repositorio.cuc.edu.co/bitstream/handle/11323/5090/AN%C3%81LISIS%20DE%20LAS%20DISTINTAS%20METODOLOG%C3%8DAS%20DE%20CBR%20DE%20DISE%C3%91O%20PARA%20EL%20CALCULO%20DE%20ESPESORES%20EN%20PAVIMENTOS%20)

Plastic oceans. (2021). *Conceptos básicos sobre 7 tipos comunes de plástico*. Obtenido de <https://plasticoceans.org/7-tipos-de-plastico-mas-comunes/>

Quevedo, S., & Guamán, C. (2013). *Proyecto de factibilidad para la producción de eco-adoquines peatonales mediante la reutilización de desechos plásticos (PET)*. [Tesis para obtención de título profesional, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo]. Archivo digital. Obtenido de <http://dspace.espoch.edu.ec/bitstream/123456789/3029/1/85T00293.pdf>

Ramirez, L., Orjuela, A., & Angulo, G. (2020). Propuesta de adoquines hechos a base de caucho reciclado. *Revista Sostenibilidad, Tecnología y Humanismo*, 11(1), 44-53.

Rey, E. (2018). *Propiedades físico – mecánicas de adoquines con polipropileno y caucho al 10% y 15% de reemplazo del agregado grueso, para su*

*utilización en tránsito liviano en pavimentos articulados*. [Tesis para obtención de título profesional, Univesidad Privada del Norte]. Archivo digital. Obtenido de <https://repositorio.upn.edu.pe/bitstream/handle/11537/13848/Rey%20Angulo%20Erick%20Daniel.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Rodríguez, O., & Villarreal, L. (2020). *Efecto de las partículas de tereftalato de polietileno reciclado en la resistencia a la compresión y desgaste de adoquines de concreto*. [Tesis para obtención de título profesional, Universidad César Vallejo]. Archivo digital. Obtenido de <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/47210>

Sánchez, X. (2003). *Diseño de pavimentos articulados para tráfico medio y alto*. [Trabajo para obtención de título profesiona. Universidad de los Andes]. Archivo digital. Obtenido de <https://repositorio.uniandes.edu.co/bitstream/handle/1992/20919/u245809.pdf>

Sandoval, S. (27 de abril de 2009). Obras civiles. *Pavimentos articulados*. Obtenido de <http://udesobrasciviles.blogspot.com/2009/04/pavimentos-articulados.html>

Santiago, A., Santamaría, M. d., Contreras, G., Guerrero, V., & Hernández, A. (2015). Diseño y elaboración de adoquines de PET reciclado. *Ideas en ciencia*, 24(44), 7-18.

- Shackel, B., & Lim, D. (2003, del 12 al 15 de octubre). Mechanisms of paver interlock [conferencia]. *7th International Conference on Concrete Block Paving*. Sun City, Suth Africa.
- Techisal. (2022). *Obras de saneamiento*. Obtenido de <https://www.techisal.com/servicios/obras-de-saneamiento/>
- Tecnología de los plásticos. (2011). *Proceso del reciclaje del PET*. Obtenido de <https://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com/2011/05/proceso-de-reciclaje-del-pet.html>
- Tocto, N. (2020). *Análisis de ciclo de vida comparativo del adoquín para pavimento peatonal reciclado versus el convencional*. [Tesis para obtención de título profesional, Pontificia Universidad Católica del Perú]. Archivo digital. Obtenido de <https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/20.500.12404/17418>
- Vargas, P. (2017). *Modelación de adoquines de material reciclado pet como elemento de rodadura en vías de bajo tráfico*. [Trabajo de grado para obtención de título profesional, Universidad de los Andes]. Archivo digital. Obtenido de <https://repositorio.uniandes.edu.co/handle/1992/19088?show=full>
- Vásquez, M. (2020). *Adoquines de concreto tipo II en vías urbanas, utilizando escombros de construcción y aditivos acelerantes*. Huánuco: [Tesis de

pregrado, Universidad Nacional Hermilio Valdizán]. Archivo digital.

Obtenido de <http://repositorio.unheval.edu.pe/handle/UNHEVAL/6054>

Xinyi, W., Seong Chin, C., & Xia, J. (2019). Material characterization for sustainable concrete pavement blocks. *MDPI*, 9(6), 1-15.  
doi:<https://doi.org/10.3390/app9061197>

Zorío, V. (1987). Breve historia de las carreteras. *Revista de obras públicas*, 27-38.

Obtenido de [http://ropdigital.ciccp.es/pdf/publico/1987/1987\\_enero\\_3254\\_04.pdf](http://ropdigital.ciccp.es/pdf/publico/1987/1987_enero_3254_04.pdf)

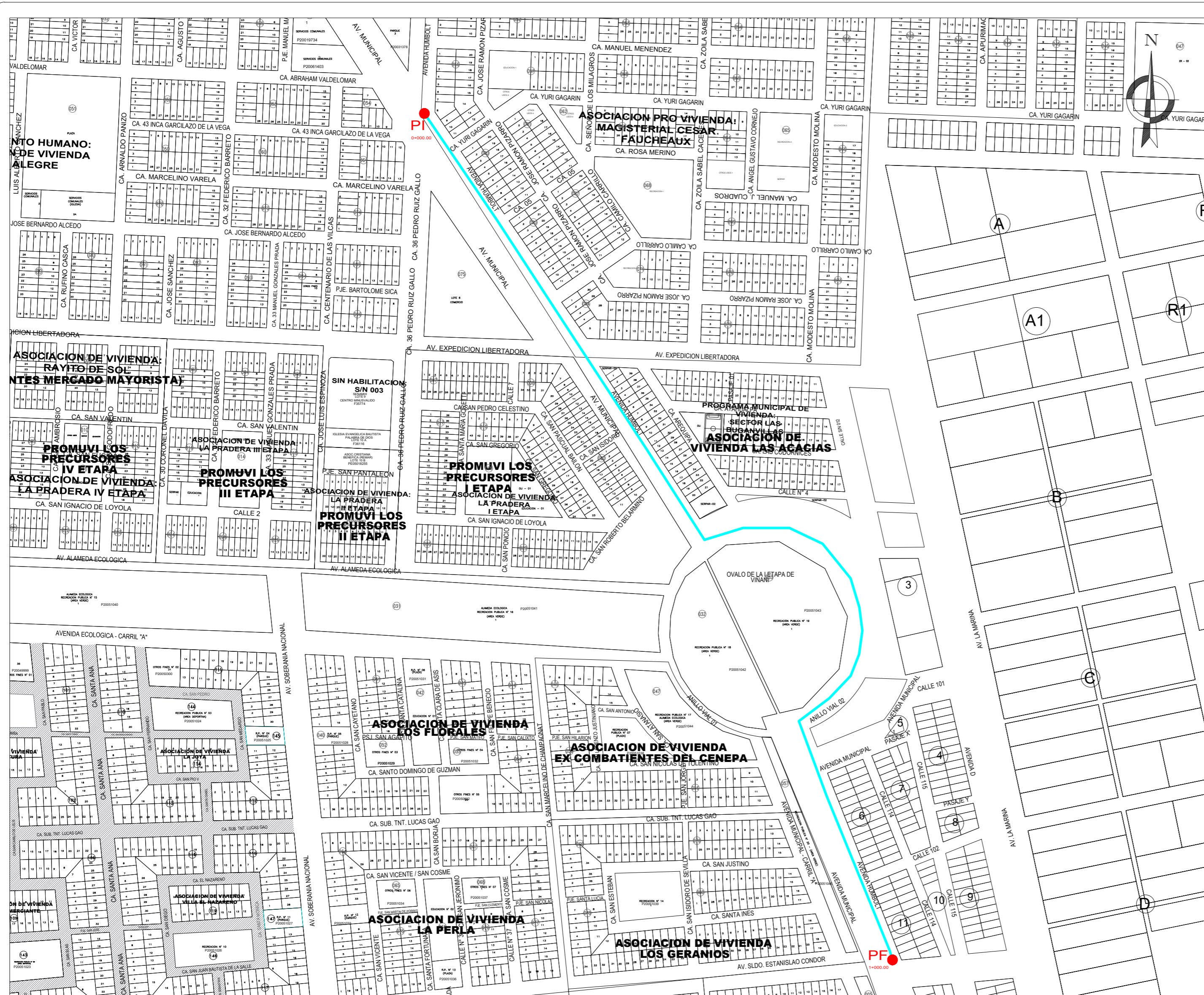
## **ANEXOS**

Anexo 1: Plano de ubicación y detalle

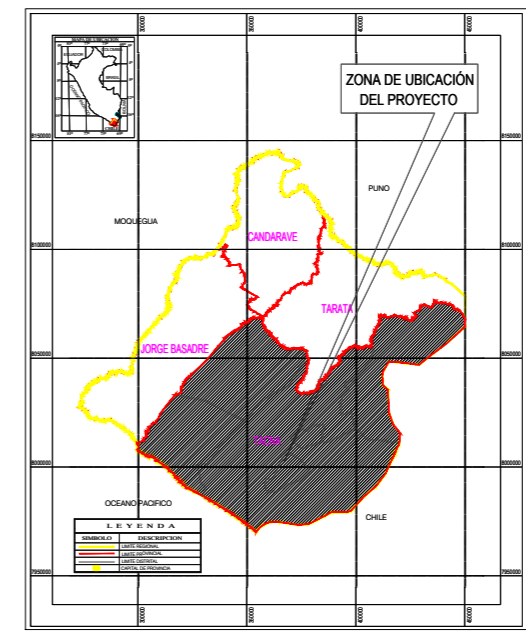
Anexo 2: Cartas presentadas

Anexo 3: Ensayos de Laboratorio

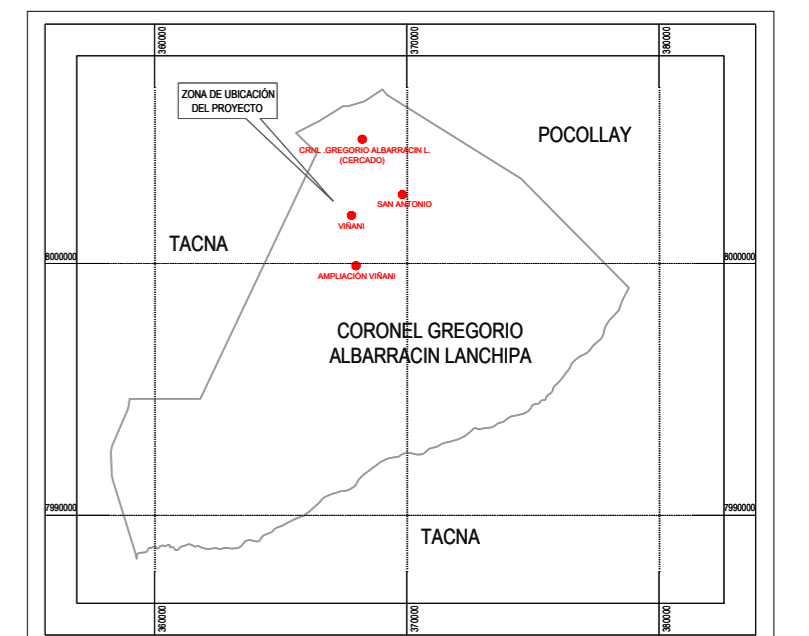
ANEXO 01  
PLANO DE UBICACIÓN  
Y DE DETALLE



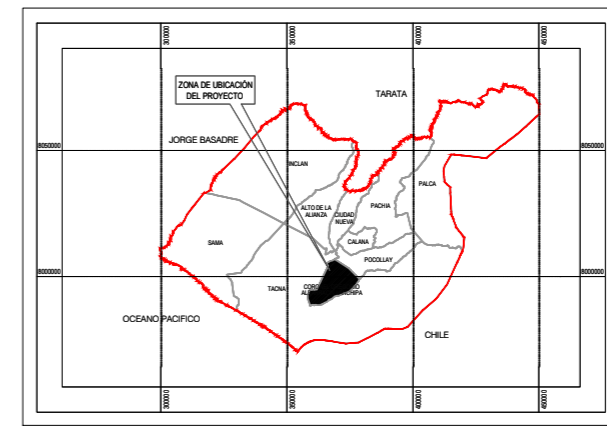
**AV. HUMBOLDT, TRAMO AV. MUNICIPAL - AV. ESTANISLAO CONDOR**  
 ESC. 1/3000



**DEPARTAMENTO DE TACNA**



**DIST. DE CRNL. GREGORIO ALBARRACIN**



**PROVINCIA DE TACNA**



**VISTA SATELITAL**  
 ESC: 1/500

**LEYENDA:**

- TRAMO DE ESTUDIO:
- PUNTO DE INICIO DEL TRAMO: **PI**
- PUNTO FINAL DEL TRAMO: **PF**



UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN  
 FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL, ARQUITECTURA Y GEOTECNIA  
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

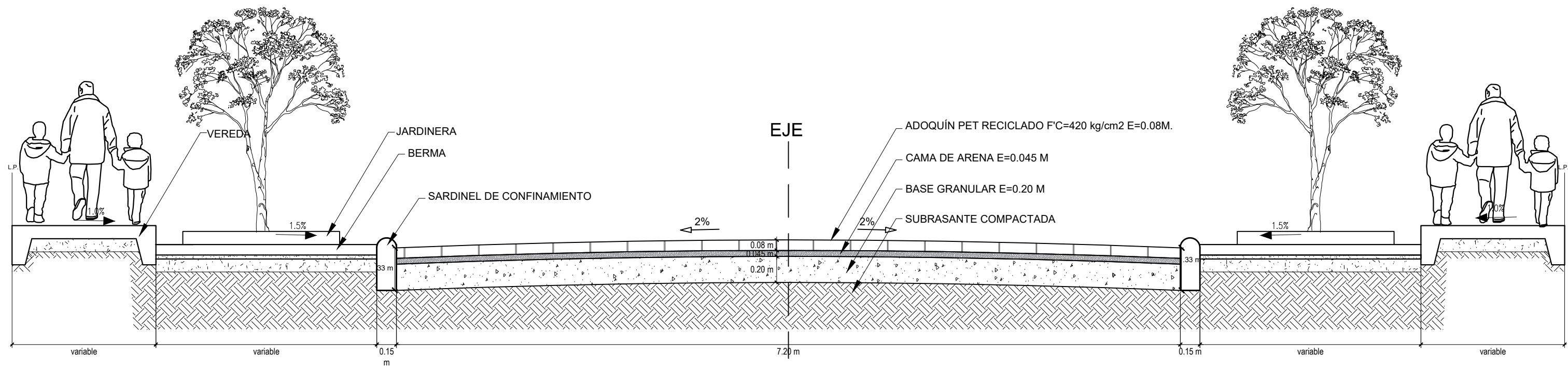
TESIS: "USO DE ADOQUINES DE CONCRETO CON PET RECICLADO PARA MEJORAMIENTO DE LA INFRAESTRUCTURA VIAL URBANO EN LA AVENIDA HUMBOLDT, TRAMO: AV. MUNICIPAL - AV. ESTANISLAO CONDOR, DISTRITO GREGORIO ALBARRACÍN LANCHIPA - TACNA, 2021"

UBICACION:  
 DEPARTAMENTO : TACNA  
 PROVINCIA : TACNA  
 DISTRITO: CRNL. GREGORIO ALBARRACIN

PLANO:  
**PLANO DE UBICACIÓN**

TESISTAS: **Bach. Lesly Clara Nina Apaza**  
**Bach. Renzo Gustavo Luque Llanos**  
 FECHA: **Noviembre 2022**  
 ESCALA: **Indicada**

PLANO:  
**U-01**

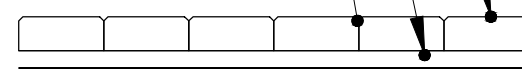


### DETALLE TÍPICO DE PAVIMENTO

ESC=1/30

Adoquin Rectangular color gris  $f'c=420\text{kg/cm}^2$  de  $10 \times 20 \times 8$  cm, con PET reciclado al 5% de reemplazo del A.F.

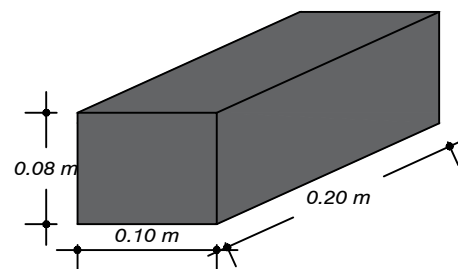
Cama de Arena Gruesa  $E=4.5$  cm.  
Fragua - arena fina seca



Base Granular CBR 100%  
 $E=0.20$  m.

Sub - Rasante (Clasificación GP)  
Compactado al 90% min

0.08 m  
0.045 m  
0.20 m



### DETALLE PAVIMENTO - CALZADA

ESC=1/25

### DETALLE DE UNIDAD DE ADOQUIN

#### CON PET RECICLADO

ESC=1/15

### ESPECIFICACIONES TECNICAS

#### MATERIALES

Se usarán adoquines de concreto vibro-compactado, asegurando que pueda resistir tránsito vehicular pesado

#### CALIDAD DE LOS MATERIALES

Los adoquines a utilizar deberán tener las siguientes características:

- Dimensiones : 10 cm x 20 cm x 8 cm
- Resistencia a la compresión :  $f'c = 420 \text{ kg/cm}^2$
- Color : Gris

#### CONTROL DE CALIDAD

Los adoquines deberán de cumplir con lo establecido en las siguientes normas:

- Norma Técnica Peruana 399-611-2010
- Norma Técnica Peruana 399-604-2002



UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL, ARQUITECTURA Y GEOTECNIA  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

TESIS: "USO DE ADOQUINES DE CONCRETO CON PET RECICLADO PARA MEJORAMIENTO DE LA INFRAESTRUCTURA VIAL URBANO EN LA AVENIDA HUMBOLDT, TRAMO: AV. MUNICIPAL - AV. ESTANISLAO CÓNDROR, DISTRITO GREGORIO ALBARRACÍN LANCHIPA - TACNA, 2021"

UBICACION:  
DEPARTAMENTO : TACNA  
PROVINCIA : TACNA  
DISTRITO: CRNL. GREGORIO ALBARRACIN

PLANO:  
DETALLE DE PAVIMENTO  
TÍPICO

TESISTAS: Bach. Lesly Clara Nina Apaza  
Bach. Renzo Gustavo Luque Llanos  
FECHA: Noviembre 2022  
ESCALA: Indicada

PLANO:  
DE-01

ANEXO 02  
CARTAS PRESENTADAS

Tacna, 07 de marzo del 2022

**CARTA N° 001-2022-LCNA-RGLL**

Estimado:

Sr. REPRESENTANTE LEGAL DEL CONSORCIO PANAMERICANA

ASUNTO : SOLICITO INFORMACIÓN DEL EXPEDIENTE TÉCNICO DE LA OBRA “MEJORAMIENTO DE LA AVENIDA MUNICIPAL, ENTRE EL TRAMO DE LA CALLE INCA GARCILAZO DE LA VEGA- AVENIDA PANAMERICANA SUR, DISTRITO DE GREGORIO ALBARRACIN LA, PROVINCIA DE TACNA – TACNA” CON FINES EDUCATIVOS

---

Presente.-

Nosotros Lesly Clara Nina Apaza y Renzo Gustavo Luque Llanos, egresados de la escuela profesional de ingeniería civil de la Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann, tenemos el agrado dirigirnos a usted para saludarlo y a la vez solicitarle apoyo para la elaboración de nuestra tesis brindándonos información del **estudio de tráfico (cálculo de ejes equivalentes ESAL)** que se realizó en la Av. Municipal, ya que su representada supervisó la ejecución de la obra “MEJORAMIENTO DE LA AVENIDA MUNICIPAL, ENTRE EL TRAMO DE LA CALLE INCA GARCILAZO DE LA VEGA- AVENIDA PANAMERICANA SUR, DISTRITO DE GREGORIO ALBARRACIN LA, PROVINCIA DE TACNA – TACNA”.

Dicha obra se ejecutó dentro del área de intervención de nuestro proyecto de tesis, por lo que nos es posible reutilizar las estaciones de conteo y por lo tanto el ESAL del expediente técnico que se utilizó para realizar el diseño de pavimento. Así también, solicitamos de ser posible la clasificación de la avenida antes mencionada.

Estaremos a espera de su respuesta, sin otro particular, me despido cordialmente de usted, atentamente



.....  
RENZO GUSTAVO LUQUE LLANOS  
DNI: 75665992



.....  
LESLY CLARA NINA APAZA  
DNI: 76186701

TACNA, 14 DE MARZO DEL 2022.

Carta N° 001-2022/CONSORCIO-PANAMERICANA/

SEÑORES:

RENZO GUSTAVO LUQUE LLANOS.

LESLY CLARA NINA APAZA.

ASUNTO : RESPUESTA A LO SOLICITADO.

REFERENCIA : CARTA N° 001-2022-LCNA-RGLL

De mi mayor consideración:

Es muy grato dirigirme a Usted para saludarlo y a la vez informarles que de acuerdo al documento de la referencia, se remite el estudio de tráfico (**cálculo de ejes equivalentes ESAL**) correspondiente a la supervisión de la obra: **"MEJORAMIENTO DE LA AVENIDA MUNICIPAL, ENTRE EL TRAMO DE LA CALLE INCA GARCILAZO DE LA VEGA-AVENIDA PANAMERICANA SUR, DISTRITO DE GREGORIO ALBARRACIN, PROVINCIA DE TACNA – TACNA"**; asimismo indicamos que la clasificación de la vía es colectora, por lo cual recomendamos tenerlo en cuenta para los fines educativos propuestos.

Sin otro particular, aprovecho la oportunidad para expresarle las muestras de mi especial consideración y estima.

Atentamente.

CONSORCIO PANAMERICANA

ALAN REYNALDO SALAS CABALLERO  
REPRESENTANTE LEGAL

C.c.Arch.

## DISEÑO ESTRUCTURAL DE PAVIMENTOS FLEXIBLES METODO AASHTO 1993

PROYECTO: MEJORAMIENTO DE LA AVENIDA MUNICIPAL, ENTRE EL TRAMO DE LA CALLE INCA GARCILAZO DE LA VEGA- AVENIDA PANAMERICANA SUR, DISTRITO DE GREGORIO ALBARRACIN LA, PROVINCIA DE TACNA - TACNA

### EVALUACION DEL FLUJO VEHICULAR PARA EL CÁLCULO ESAL

DATOS DEL TRAFICO	
Periodo de diseño=	20 años
Tasa de crecimiento para los 3 primeros años=	7.0 %
Tasa de crecimiento después de los 3 años=	22.0 %

AÑO 0	TRAFICO ACTUAL ( NORMAL + ATRAIDO)										TRAFICO PROMEDIO DIARIO ANUAL T.P.D.A
	Composicion Vehicular										
	AUTOMOVIL	CAMONETAS	MINIBUS	BUS MEDIANO	BUS GRANDE	CAMION MEDIANO	CAMION (3 EJE)	CAMION SEMI REMOLQUE	CAMION REMOLQUE	otros	
Total	359	181	789	0	0	83	0	0	0	262	1674
Porcentaje	21.45%	10.81%	47.13%	0.00%	0.00%	4.96%	0.00%	0.00%	0.00%	15.65%	100.00%

AÑO	TRAFICO TOTAL ( NORMAL + GENERADO)										TRAFICO PROMEDIO DIARIO ANUAL T.P.D.A
	Composicion Vehicular										
	AUTOMOVIL	CAMONETAS	MINIBUS	BUS MEDIANO	BUS GRANDE	CAMION MEDIANO	CAMION (3 EJE)	CAMION SEMI REMOLQUE	CAMION REMOLQUE	Otros	
2012	359	181	789	0	0	83	0	0	0	262	1674
2013	384	194	844	0	0	89	0	0	0	280	1791
2014	411	207	903	0	0	95	0	0	0	300	1917
2015	440	222	967	0	0	102	0	0	0	321	2051
2016	537	271	1179	0	0	124	0	0	0	392	2502
2017	655	330	1439	0	0	151	0	0	0	478	3052
2018	799	403	1755	0	0	185	0	0	0	583	3724
2019	974	491	2141	0	0	225	0	0	0	711	4543
2020	1189	599	2612	0	0	275	0	0	0	867	5543
2021	1450	731	3187	0	0	335	0	0	0	1058	6762
2022	1769	892	3888	0	0	409	0	0	0	1291	8249
2023	2158	1088	4744	0	0	499	0	0	0	1575	10064
2024	2633	1328	5787	0	0	609	0	0	0	1922	12278
2025	3213	1620	7060	0	0	743	0	0	0	2345	14980
2026	3919	1976	8614	0	0	906	0	0	0	2860	18275
2027	4781	2411	10509	0	0	1105	0	0	0	3490	22296
2028	5833	2941	12821	0	0	1349	0	0	0	4257	27201
2029	7117	3588	15641	0	0	1645	0	0	0	5194	33185
2030	8682	4378	19082	0	0	2007	0	0	0	6337	40486
2031	10593	5341	23280	0	0	2449	0	0	0	7731	49393
2032	12923	6515	28402	0	0	2988	0	0	0	9431	60259
2033	15766	7949	34650	0	0	3645	0	0	0	11506	73516
2034	19235	9698	42273	0	0	4447	0	0	0	14037	89690
Total	104665	52770	230031	0	0	24198	0	0	0	76385	488050
Porcentaje	21.45%	10.81%	47.13%	0.00%	0.00%	4.96%	0.00%	0.00%	0.00%	15.65%	100%

TIPO DE VEHICULO	COEF. DE EJES EQUIVAL	COMPOS DEL	FACTOR EQUIVALENTE
VEHICULOS LIVIANOS	0.00032	21.45%	6.863E-05
CAMIONETAS	0.0042	10.81%	0.0004541
MINIBUS	0.0078	47.13%	0.0036763
BUS MEDIANO	1.5193	0.00%	0
BUS GRANDE	0.9229	0.00%	0
CAMION MEDIANO	0.1614	4.96%	0.0080025
CAMION GRANDE (3 EJES)	1.7406	0.00%	0
CAMION CON SEMIREMOLQUE	2.3139	0.00%	0
CAMION CON REMOLQUE	3.019	0.00%	0
otro	0.0291	15.65%	0.0045545
<b>TOTAL</b>		<b>100.00%</b>	<b>0.0167561</b>

CONSORCIO PANAMERICANA

ALAN REYNALDO SALAS CABALLERO  
REPRESENTANTE LEGAL

AÑO	TRAFICO PROMEDIO DIARIO ANUAL T.P.D.A	FACTOR DE EQUIVALENCIA	DIAS AL AÑO	FACTOR DE TRAFICO POR CARRIL	TRAFICO PROMEDIO DIARIO ANUAL T.P.D.A
2012	1674	0.01676	365	0.50	5,119
2013	1791	0.01676	365	0.50	5,477
2014	1917	0.01676	365	0.50	5,861
2015	2051	0.01676	365	0.50	6,271
2016	2502	0.01676	365	0.50	7,651
2017	3052	0.01676	365	0.50	9,334
2018	3724	0.01676	365	0.50	11,387
2019	4543	0.01676	365	0.50	13,893
2020	5543	0.01676	365	0.50	16,949
2021	6762	0.01676	365	0.50	20,678
2022	8249	0.01676	365	0.50	25,227
2023	10064	0.01676	365	0.50	30,777
2024	12278	0.01676	365	0.50	37,547
2025	14980	0.01676	365	0.50	45,808
2026	18275	0.01676	365	0.50	55,886
2027	22296	0.01676	365	0.50	68,180
2028	27201	0.01676	365	0.50	83,180
2029	33185	0.01676	365	0.50	101,480
2030	40486	0.01676	365	0.50	123,805
2031	49393	0.01676	365	0.50	151,043
2032	60259	0.01676	365	0.50	184,272
2033	73516	0.01676	365	0.50	224,812
2034	89690	0.01676	365	0.50	274,270
<b>Total</b>	<b>488050</b>				<b>1,498,310</b>

A partir de aquí se suma

ESALs

**DISEÑO DE LA ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO**

DATOS DE LA SUB RASANTE	
CBR=	62.6 %

1.- CALCULO DEL MODULO RESILIENTE		
DATOS		
W18 =	1.50E+06	N (ESALs)
Zr =	-1.282	Para 90.00 %
So =	0.49	
PSI =	4.2	
PSF =	2.5	
Mr =	93900.00	psi

%Confiabilidad	Zr
50	0.000
60	-0.253
70	-0.524
75	-0.674
80	-0.841
85	-1.037
90	-1.282
91	-1.340
92	-1.405
93	-1.476
94	-1.555
95	-1.645
96	-1.751
97	-1.881
98	-2.054
99.99	-3.750

**2.- CALCULO NUMERO ESTRUCTURAL**

Cálculo por aproximaciones:

LOG W18 = N =	6.18	LOG10((PSF-PSI)/(4.2-1	-0.20
Zr + So =	-0.63	(SN+1)^5.19	94.04
(SN+1) =	2.40	1094/(SN+1)^5.19	11.63
LOG (SN+1) =	0.38	0.4*1094/(SN+1)^5.19	12.03
PSF - PSI =	1.70	LOG MR	4.97
4.2-1.5 =	2.70		
Para SN =	1.40	6.18E+00	SE IGUALA CON 6.18E+00
SN =	1.40	putg	
SN ASUM =	3.56	cm	

**ESPESOR DE PAVIMENTO**

Estructura	K	COEF. DRENAJE	ESPESOR(cm)	SN CALCUL (cm)
Capa Asfáltica	0.44	1.00	5.00	2.20
Base	0.14	1.00	10.00	1.40
Sub-base	0.13	1.00	0.00	0.00
Espesor Total:			15.00	3.60

Datos Fig.5.18 pág. 110, AASHTO 93		
T. Suelo	C.B.R.	Mr(psi)
A-1-a	80%	30,000
A-1-b	40%	14,000
Sub rasante	9.0%	13,500

correcto SN calculado es 2 que SN asumido

**SECCION - TIPO DE PAVIMENTO PROYECTADO**

Capa Asfáltica	5.00
Base Granular ( CBR ≥ 80%)	15.00
Subbase Granular (CBR ≥ 40%)	0.00

20.00 NOTA: Por razones constructivas se plantea una base granular de 15 cm

Sub rasante, CBR ≥ 9,0%  
// = // /

== // = |

ALAN REYNALDO SALAS CABALLERO  
REPRESENTANTE LEGAL

## CÁLCULO DEL TRANSITO FUTURO

### 1.- TRANSITO FUTURO

$$TF = TA + IT$$

Donde :      TA=    Tránsito actual  
                  IT=    Incremento del tránsito

TA: Es el tránsito actual y se compone del tránsito actual propiamente dicho y el tránsito atraído, como el tránsito actual es nulo, se hicieron los aforos en las avenidas que confluyen en la Av. Municipal, porque se asume que luego de asfaltada la vía, los vehículos que actualmente las transitan serán atraídas a la vía en estudio, (tránsito atraído)

El incremento del tránsito se calcula con la fórmula sgte:  $IT = CNT + TG + TD$

Donde:      CNT=    Crecimiento normal del tránsito (2% de TA en la prov. de Tacna, según MTC)  
                  TG=    Tránsito generado (15% de TA, se empieza a dar después de 3 años de ejecución)  
                  TD=    Tránsito desarrollado (5% de TA)

**Nota:** Este cálculo se realiza por tratarse de un mejoramiento de vía.

### 1.a- TRANSITO ACTUAL

#### CÁLCULO DEL TRANSITO ATRAÍDO EN EL TRAMO 1

#### AFORO DE FLUJO VEHICULAR - ESTACION DE CONTEO 01 (AV. ECOLOGICA)

HORA	MOTO TAXI	AUTOS	CAMIONETAS COMBIS	BUS	CAMION 2 EJES	CAMION 3 EJES
06:00-07:00	7	10	5	20	0	0
07:01-08:00	5	8	4	20	3	0
08:01-09:00	3	7	3	21	4	0
09:01-10:00	4	6	3	20	4	0
10:01-11:00	3	7	4	21	5	0
11:01-12:00	4	12	3	21	3	0
12:01-13:00	4	13	3	21	2	0
13:01-14:00	5	11	4	20	3	0
14:01-15:00	6	8	4	21	2	0
15:01-16:00	5	9	4	20	3	0
16:01-17:00	3	7	3	20	2	0
17:01-18:00	4	6	3	20	1	0
18:01-19:00	3	7	4	21	2	0
19:01-20:00	5	6	5	20	0	0
20:01-21:00	7	4	5	19	0	0
21:01-22:00	2	2	4	18	0	0
<b>TOTAL</b>	<b>70</b>	<b>123</b>	<b>61</b>	<b>323</b>	<b>34</b>	<b>0</b>
<b>TOTAL DIA</b>	<b>611</b>					

**CALCULO DEL TRANSITO ATRAIDO EN EL TRAMO 2**

**AFORO DE FLUJO VEHICULAR - ESTACION DE CONTEO 02 (AV. LA CULTURA)**

HORA	MOTO TAXI	AUTOS	CAMIONETAS COMBIS	BUS	CAMION 2 EJES	CAMION 3 EJES
06:00-07:00	7	10	5	28	0	0
07:01-08:00	5	8	7	29	2	0
08:01-09:00	3	7	5	29	0	0
09:01-10:00	4	6	5	30	3	0
10:01-11:00	4	8	9	30	2	0
11:01-12:00	4	12	8	30	2	0
12:01-13:00	4	13	7	30	2	0
13:01-14:00	5	11	5	29	3	0
14:01-15:00	6	8	4	28	0	0
15:01-16:00	5	9	5	30	3	0
16:01-17:00	8	10	4	29	2	0
17:01-18:00	7	11	3	30	1	0
18:01-19:00	6	8	4	30	2	0
19:01-20:00	5	9	5	29	0	0
20:01-21:00	7	5	5	28	0	0
21:01-22:00	2	2	4	27	0	0
<b>TOTAL</b>	<b>82</b>	<b>137</b>	<b>85</b>	<b>466</b>	<b>22</b>	<b>0</b>
<b>TOTAL DIA</b>	<b>792</b>					

**CALCULO DEL TRANSITO ATRAIDO EN EL TRAMO 3**

**AFORO DE FLUJO VEHICULAR - ESTACION DE CONTEO 03 (AV. LOS POETAS)**

HORA	MOTO TAXI	AUTOS	CAMIONETAS COMBIS	BUS	CAMION 2 EJES	CAMION 3 EJES
06:00-07:00	7	8	2	0	0	0
07:01-08:00	7	8	3	0	1	0
08:01-09:00	9	6	3	0	3	0
09:01-10:00	11	8	3	0	3	0
10:01-11:00	10	5	3	0	4	0
11:01-12:00	9	7	2	0	2	0
12:01-13:00	10	6	2	0	1	0
13:01-14:00	11	7	3	0	3	0
14:01-15:00	9	11	3	0	2	0
15:01-16:00	8	5	3	0	1	0
16:01-17:00	8	6	1	0	2	0
17:01-18:00	4	6	2	0	1	0
18:01-19:00	4	6	2	0	2	0
19:01-20:00	2	5	1	0	2	0
20:01-21:00	1	4	1	0	0	0
21:01-22:00	0	1	1	0	0	0
<b>TOTAL</b>	<b>110</b>	<b>99</b>	<b>35</b>	<b>0</b>	<b>27</b>	<b>0</b>
<b>TOTAL DIA</b>	<b>271</b>					

**CALCULO DEL TRANSITO TOTAL ATRAIDO EN LOS 3 TRAMOS**

AÑO 0	MOTO TAXI	AUTOS	CAMIONETAS COMBIS	BUS	CAMION 2 EJES	CAMION 3 EJES
CANT.	262	359	181	789	83	0

Luego el tránsito actual será igual a:

TA=	0 + 1674
-----	----------

TA=	1674	ó	IMDA
-----	------	---	------

Nota: se está considerando que el proyecto atraerá a la totalidad de vehículos de estas avenidas, ya que existen otras que la interceptan y no se están tomando en cuenta.

**1.b- TRANSITO FUTURO**

$$TF = FP(TA)$$

**2.- FACTOR DE PROYECCION DEL TRANSITO FUTURO**

$$FP = \frac{TA + CNT + TG + TD}{TA}$$

$$= 1 + \frac{CNT}{TA} + \frac{TG}{TA} + \frac{TD}{TA}$$

FACTOR DE PROYECCION DE TRANSITO PARA LOS TRES PRIMEROS AÑOS LUEGO DE CONCLUIDA LA EJECUCION

$$FP = 0.07$$

FACTOR DE PROYECCION A USARSE A PARTIR DEL 3ER AÑO:

$$FP = 0.22$$

ANEXO 03

ENSAYOS DE LABORATORIO

## ANALISIS GRANULOMETRICO POR TAMIZADO

NORMA MTC E107-1999 - ASTM D 422

**TESIS** : "USO DE ADOQUINES DE CONCRETO CON PET RECICLADO PARA MEJORAMIENTO DE LA INFRAESTRUCTURA VIAL URBANO EN LA CIUDAD DE TACNA, 2021"

**UBICACIÓN** : DISTRITO CRNEL. GREGORIO ALBARRACIN LANCHIPA - TACNA.

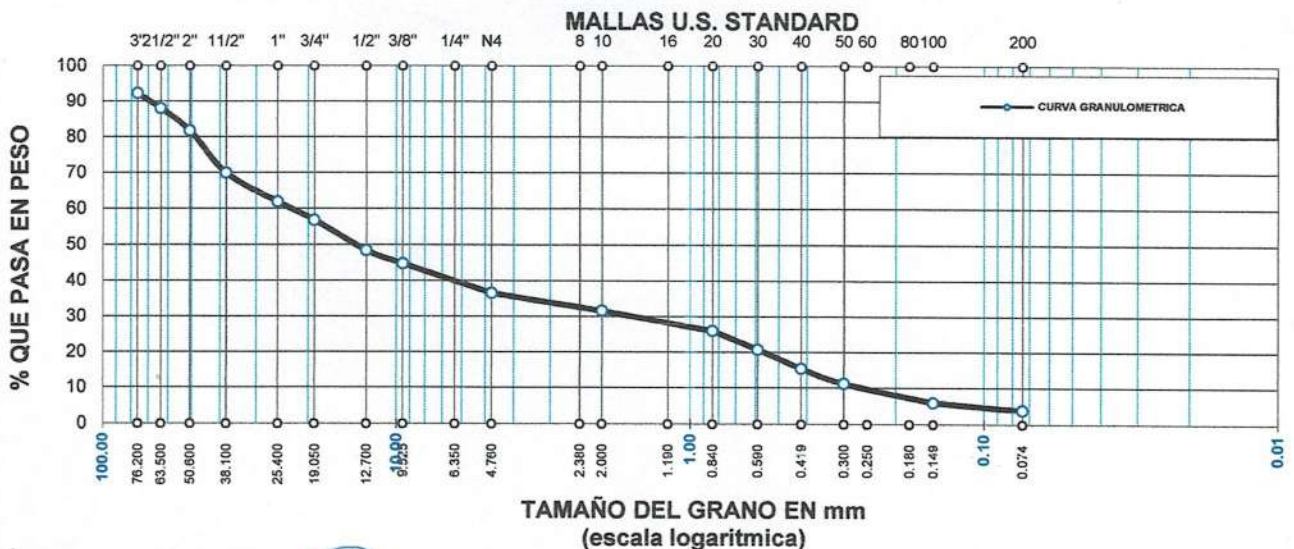
**SOLICITANTE** : EST. LESLY CLARA NINA APAZA / EST. RENZO GUSTAVO LUQUE LLANOS

**MUESTRA** : TERRENO NATURAL - CALICATA 01 - AV. HUMBOLT CON AV. ALAMEDA ECOLOGICA

**FECHA** : ENERO DEL 2022

TAMICES ASTM	ABERTURA mm	PESO RETENIDO	%RETENIDO PARCIAL	%RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA	ESPECIF.	DESCRIPCION DE LA MUESTRA
3"	76.200	1552.00	7.77	7.77	92.23		<b>MUESTRA 01</b> <b>LIMITES DE CONSISTENCIA</b> L.L. N.P. L.P. N.P. I.P. N.P.  D60 23.01 CU 87 D30 1.84 CC 0.6 D10 0.26 % DE GRAVA 63.42 % DE ARENA 32.74 % DE FINOS 3.85 Clasificación S.U.C.S. GP Clasificación AASHTO A-1-a (0) Peso de la Muestra: 19979.2 gr. <b>OBSERVACIONES:</b> La muestra consiste de Gravas mal graduadas con pocos finos no plásticos.
2 1/2"	63.500	859.00	4.30	12.07	87.93		
2"	50.600	1246.00	6.24	18.30	81.70		
1 1/2"	38.100	2358.00	11.80	30.11	69.89		
1"	25.400	1594.00	7.98	38.08	61.92		
3/4"	19.050	1015.00	5.08	43.16	56.84		
1/2"	12.700	1679.00	8.40	51.57	48.43		
3/8"	9.525	729.00	3.65	55.22	44.78		
1/4"	6.350						
No4	4.760	1638.00	8.20	63.42	36.58		
No8	2.380						
No10	2.000	995.53	4.98	68.40	31.60		
No16	1.190						
No20	0.840	1113.76	5.57	73.97	26.03		
No30	0.590	1046.37	5.24	79.21	20.79		
No40	0.419	1071.20	5.36	84.57	15.43		
No 50	0.300	841.82	4.21	88.79	11.21		
No60	0.250						
No80	0.180						
No100	0.149	1047.55	5.24	94.03	5.97		
No200	0.074	424.46	2.12	96.15	3.85		
<b>BASE</b>		768.52	3.85	100.00	0.00		
<b>TOTAL</b>		19979.20	100.00				
<b>% PERDIDA</b>							

### CURVA GRANULOMETRICA



Edwin A. Flores Chipana  
Técnico Laboratorista  
Suelos Concretos y Pavimentos

José Rivera Sagastegui  
INGENIERO CIVIL  
CIP 75160

## ENSAYO DE COMPACTACION

### PROCTOR MODIFICADO NORMA ASTM D 1557 - METODO C

**TESIS** : "USO DE ADOQUINES DE CONCRETO CON PET RECICLADO PARA MEJORAMIENTO DE LA INFRAESTRUCTURA VIAL URBANO EN LA CIUDAD DE TACNA, 2021"

**UBICACIÓN** : DISTRITO CRNEL. GREGORIO ALBARRACIN LANCHIPA - TACNA.

**SOLICITANTE** : EST. LESLY CLARA NINA APAZA / EST. RENZO GUSTAVO LUQUE LLANOS

**MUESTRA** : TERRENO NATURAL - CALICATA 01 - AV. HUMBOLT CON AV. ALAMEDA ECOLOGICA

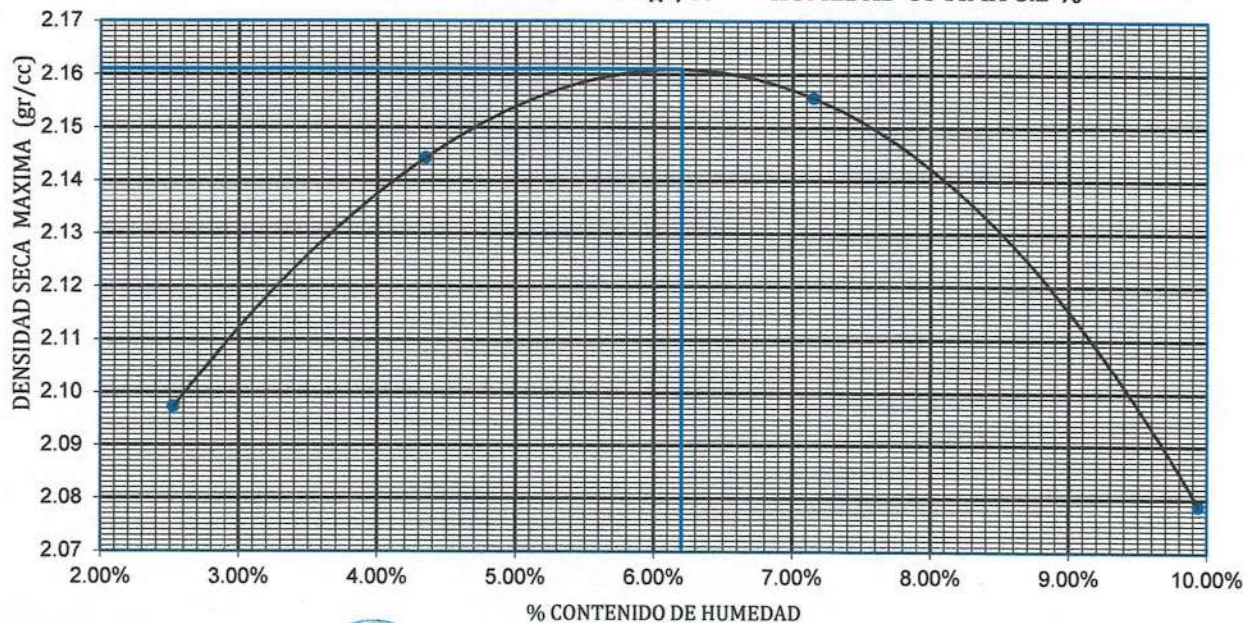
**FECHA** : ENERO DEL 2022

<b>MOLDE No</b>	1	<b>VOLUMEN DEL MOLDE</b>	2118.8 cc
<b>No DE CAPAS</b>	5	<b>GOLPES POR CAPA</b>	56

Peso Suelo Humedo + Molde	gr.	9676	9861	10014	9962
Peso del Molde	gr.	5120	5120	5120	5120
Peso del Suelo Humedo	gr/cc	4556	4741	4894	4842
Densidad del Suelo Humedo	gr/cc	2.150	2.238	2.310	2.285

Capsula No	No	1	2	3	4
Suelo Humedo + Tara	gr.	312.50	326.30	329.50	180.30
Peso del Suelo Seco +Tara	gr.	304.80	312.70	307.50	164.00
Peso del Agua	gr.	7.70	13.60	22.00	16.30
Peso de la Tara	gr.	0.00	0.00	0.00	0.00
Peso del Suelo Seco	gr.	304.80	312.70	307.50	164.00
% de Humedad	%	2.53%	4.35%	7.15%	9.94%
<b>Promedio de Humedad</b>	%	2.53%	4.35%	7.15%	9.94%
<b>Densidad del Suelo Seco</b>	%	2.097	2.144	2.156	2.079

**DENSIDAD SECA MAXIMA: 2.161 gr/cc - HUMEDAD OPTIMA 6.2 %**



**Observaciones :**

*Edwin A. Flores Chipana*  
Técnico Laboratorista  
Suelos Concretos y Pavimentos

*Andy José Rivera Sagastegui*  
INGENIERO CIVIL  
CIP.75160

## ENSAYO DE CBR.

METODO ASTM D - 1883

**TESIS** : "USO DE ADOQUINES DE CONCRETO CON PET RECICLADO PARA MEJORAMIENTO DE LA INFRAESTRUCTURA VIAL URBANO EN LA CIUDAD DE TACNA, 2021"

**UBICACIÓN** : DISTRITO CRNEL. GREGORIO ALBARRACIN LANCHIPA - TACNA.

**SOLICITANTE** : EST. LESLY CLARA NINA APAZA / EST. RENZO GUSTAVO LUQUE LLANOS

**MUESTRA** : TERRENO NATURAL - CALICATA 01 - AV. HUMBOLT CON AV. ALAMEDA ECOLOGICA

**FECHA** : ENERO DEL 2022


MOLDE Nro.	1		2		3	
Nro. GOLPES POR CAPA	10		26		55	
COND. DE LA MUESTRA	SATURADA		SATURADA		SATURADA	
Peso molde + suelo humedo	13140		13538		13745	
Peso del Molde	8399		8484		8485	
Peso del Suelo humedo	4741		5054		5260	
Volumen del Suelo	2286		2286		2286	
Densidad humeda	2.07		2.21		2.30	
% de humedad	6.31		6.36		6.29	
Densidad seca	1.951		2.078		2.164	
Tara Nro.	T-3		T-2		T-3	
Tara + suelo humedo	522.6		540.2		513.7	
Tara + suelo seco	491.6		507.9		483.3	
Peso del agua	31.0		32.3		30.4	
Peso de tara	0.0		0.0		0.0	
Peso del suelo seco	491.6		507.9		483.3	
% de humedad	6.31		6.36		6.29	

## EXPANSION

DIAS	HORAS	LECTURA DIAL	EXPANSION		LECTURA DIAL	EXPANSION		LECTURA DIAL	EXPANSION	
			mm.	%		mm.	%		mm.	%
0	0	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000	0.00
1	24	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000	0.00
2	48	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000	0.00
3	72	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000	0.00
4	96	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000	0.00

## PENETRACION

PENETRACION		MOLDE Nro:			MOLDE Nro:			MOLDE Nro:		
		LECTURA DIAL	CORRECCION		LECTURA DIAL	CORRECCION		LECTURA DIAL	CORRECCION	
mm.	pulg.	DIAL	Libras	lbs/Pg2	DIAL	Libras	lbs/Pg2	DIAL	Libras	lbs/Pg2
0	0.000	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0.64	0.025	39	86	29	68	150	50	92	203	68
1.27	0.050	118	260	87	155	342	114	286	631	210
1.91	0.075	176	388	129	331	730	243	473	1043	348
2.54	0.100	243	536	179	436	961	320	692	1526	509
5.08	0.200	596	1314	438	913	2013	671	1278	2817	939
7.62	0.300	798	1759	586	1134	2500	833	1683	3710	1237
10.16	0.400									
12.70	0.500									

  
Edwin A. Flores Chipana  
Técnico Laboratorista  
Suelos Concretos y Pavimentos

  
José Rivera Sagastegui  
INGENIERO CIVIL  
CIP 75160

## GRAFICO PENETRACION DE CBR

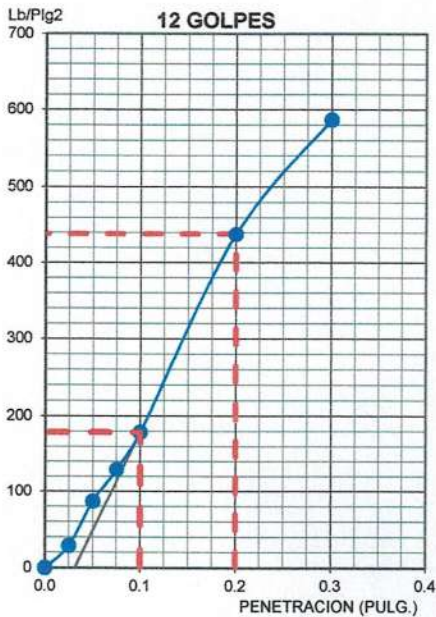
**TESIS** : "USO DE ADOQUINES DE CONCRETO CON PET RECICLADO PARA MEJORAMIENTO DE LA INFRAESTRUCTURA VIAL URBANO EN LA CIUDAD DE TACNA, 2021"

**UBICACIÓN** : DISTRITO CRNEL. GREGORIO ALBARRACIN LANCHIPA - TACNA.

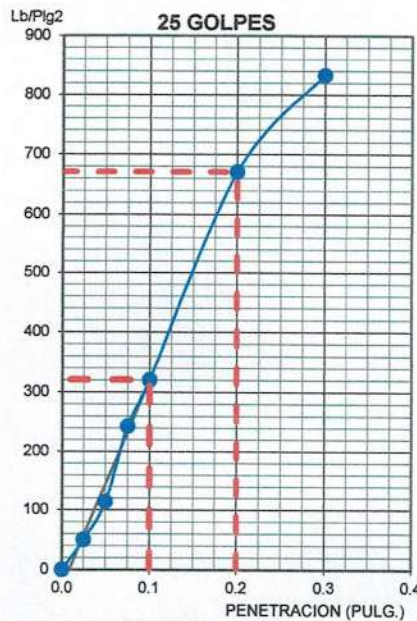
**SOLICITANTE** : EST. LESLY CLARA NINA APAZA / EST. RENZO GUSTAVO LUQUE LLANOS

**MUESTRA** : TERRENO NATURAL - CALICATA 01 - AV. HUMBOLT CON AV. ALAMEDA ECOLOGICA

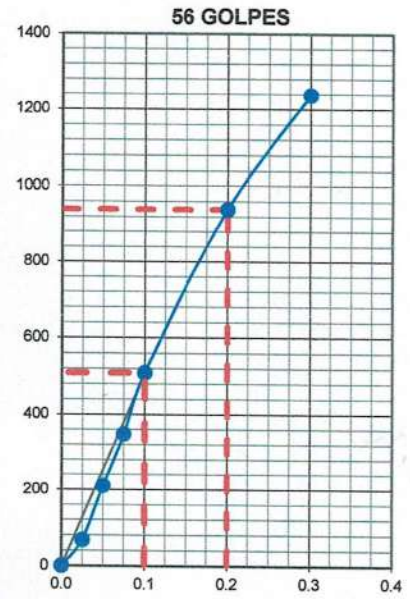
**FECHA** : ENERO DEL 2022



0.1"(%)= 17.86  
0.2"(%)= 32.28

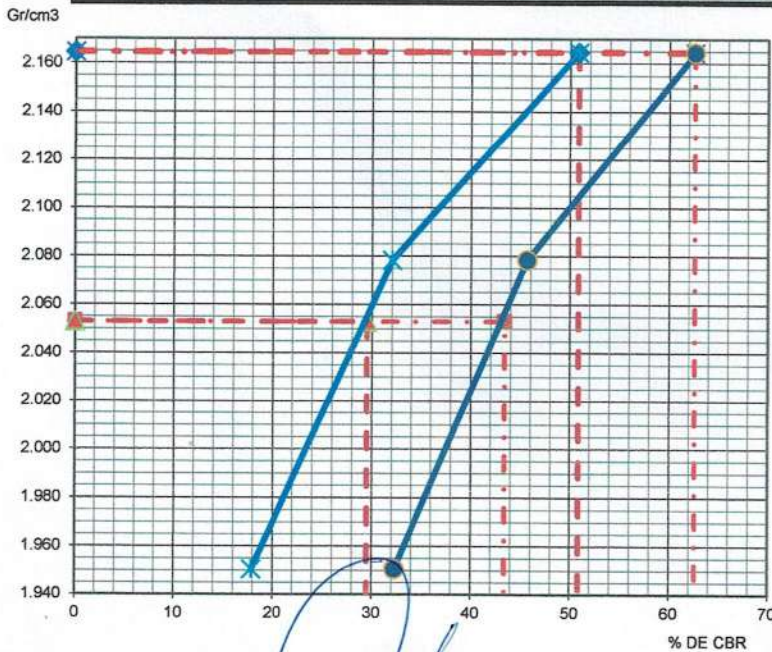


0.1"(%)= 32.04  
0.2"(%)= 45.66



0.1"(%)= 50.85  
0.2"(%)= 62.61

## DETERMINACION DE CBR



### Datos de Proctor:

Densidad seca :	2.161	gr/cc.
Optimo humedad:	6.20	%

CBR A 0.1" 30% AL 95% MDS  
CBR A 0.1" 51% AL 100% MDS

CBR A 0.2" 43% AL 95% MDS  
CBR A 0.2" 63% AL 100% MDS

*Edwin A. Flores Chipana*  
Técnico Laboratorista  
Suelos Concretos y Pavimentos

*Andy José Rivera Sagastegui*  
INGENIERO CIVIL  
CIP 75160

## ANALISIS GRANULOMETRICO POR TAMIZADO

NORMA MTC E107-1999 - ASTM D 422

**TESIS** : "USO DE ADOQUINES DE CONCRETO CON PET RECICLADO PARA MEJORAMIENTO DE LA INFRAESTRUCTURA VIAL URBANO EN LA CIUDAD DE TACNA, 2021"

**UBICACIÓN** : DISTRITO CRNEL. GREGORIO ALBARRACIN LANCHIPA - TACNA.

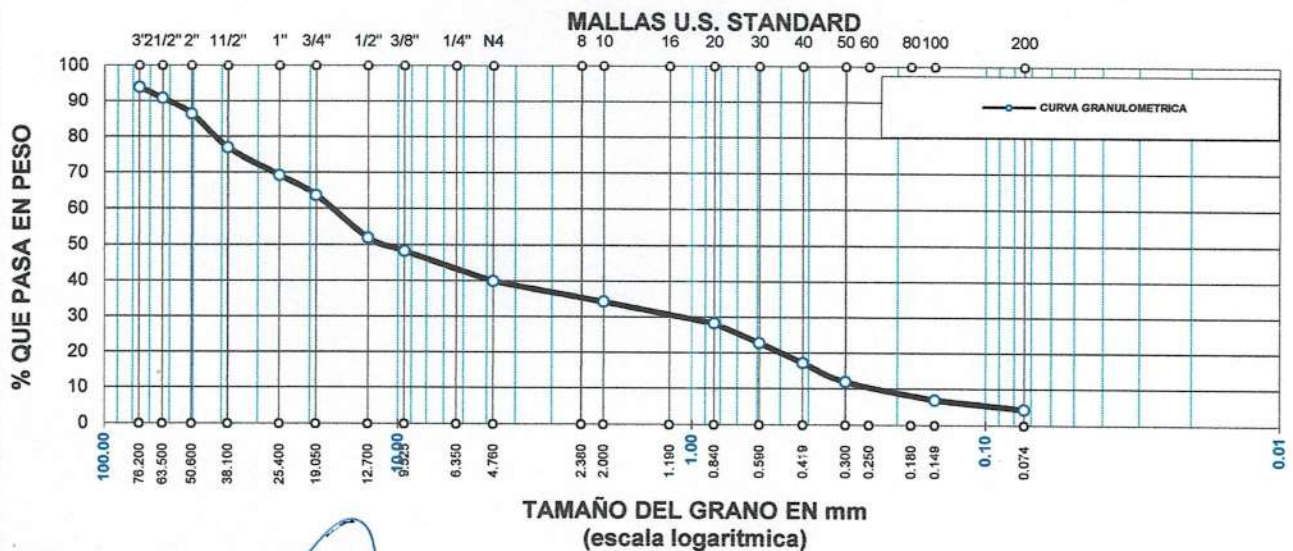
**SOLICITANTE** : EST. LESLY CLARA NINA APAZA / EST. RENZO GUSTAVO LUQUE LLANOS

**MUESTRA** : TERRENO NATURAL - CALICATA 02 - AV. HUMBOLT CON AV. EXPEDICION LIBERTADORA

**FECHA** : ENERO DEL 2022

TAMICES ASTM	ABERTURA mm	PESO RETENIDO	%RETENIDO PARCIAL	%RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA	ESPECIF.	DESCRIPCION DE LA MUESTRA
3"	76.200	1054.00	6.15	6.15	93.85		<b>MUESTRA 01</b> <b>LIMITES DE CONSISTENCIA</b> L.L. N.P. L.P. N.P. I.P. N.P.  D60 17.06 CU 74 D30 1.60 CC 0.7 D10 0.23 % DE GRAVA 60.10 % DE ARENA 35.48 % DE FINOS 4.42 Clasificación S.U.C.S. GP Clasificación AASHTO A-1-a (0) Peso de la Muestra: 17129.4 gr. <b>OBSERVACIONES:</b> La muestra consiste de Gravas mal graduadas con pocos finos no plásticos.
2 1/2"	63.500	529.00	3.09	9.24	90.76		
2"	50.600	754.00	4.40	13.64	86.36		
1 1/2"	38.100	1605.00	9.37	23.01	76.99		
1"	25.400	1329.00	7.76	30.77	69.23		
3/4"	19.050	948.00	5.53	36.31	63.69		
1/2"	12.700	2015.00	11.76	48.07	51.93		
3/8"	9.525	633.00	3.70	51.76	48.24		
1/4"	6.350						
No4	4.760	1428.00	8.34	60.10	39.90		
No8	2.380						
No10	2.000	961.21	5.61	65.71	34.29		
No16	1.190						
No20	0.840	1026.48	5.99	71.71	28.29		
No30	0.590	940.39	5.49	77.20	22.80		
No40	0.419	958.37	5.59	82.79	17.21		
No 50	0.300	904.44	5.28	88.07	11.93		
No60	0.250						
No80	0.180						
No100	0.149	854.30	4.99	93.06	6.94		
No200	0.074	432.35	2.52	95.58	4.42		
<b>BASE</b>		756.85	4.42	100.00	0.00		
<b>TOTAL</b>		17129.40	100.00				
<b>% PERDIDA</b>							

### CURVA GRANULOMETRICA



*Edwin A. Flores Chipana*  
 Técnico Laboratorista  
 Suelos Concretos y Pavimentos

*Andy José Rivra Sagastegui*  
 INGENIERO CIVIL  
 CIP 75160

## ENSAYO DE COMPACTACION

### PROCTOR MODIFICADO NORMA ASTM D 1557 - METODO C

**TESIS** : "USO DE ADOQUINES DE CONCRETO CON PET RECICLADO PARA MEJORAMIENTO DE LA INFRAESTRUCTURA VIAL URBANO EN LA CIUDAD DE TACNA, 2021"

**UBICACIÓN** : DISTRITO CRNEL. GREGORIO ALBARRACIN LANCHIPA - TACNA.

**SOLICITANTE** : EST. LESLY CLARA NINA APAZA / EST. RENZO GUSTAVO LUQUE LLANOS

**MUESTRA** : TERRENO NATURAL - CALICATA 02 - AV. HUMBOLT CON AV. EXPEDICION LIBERTADORA

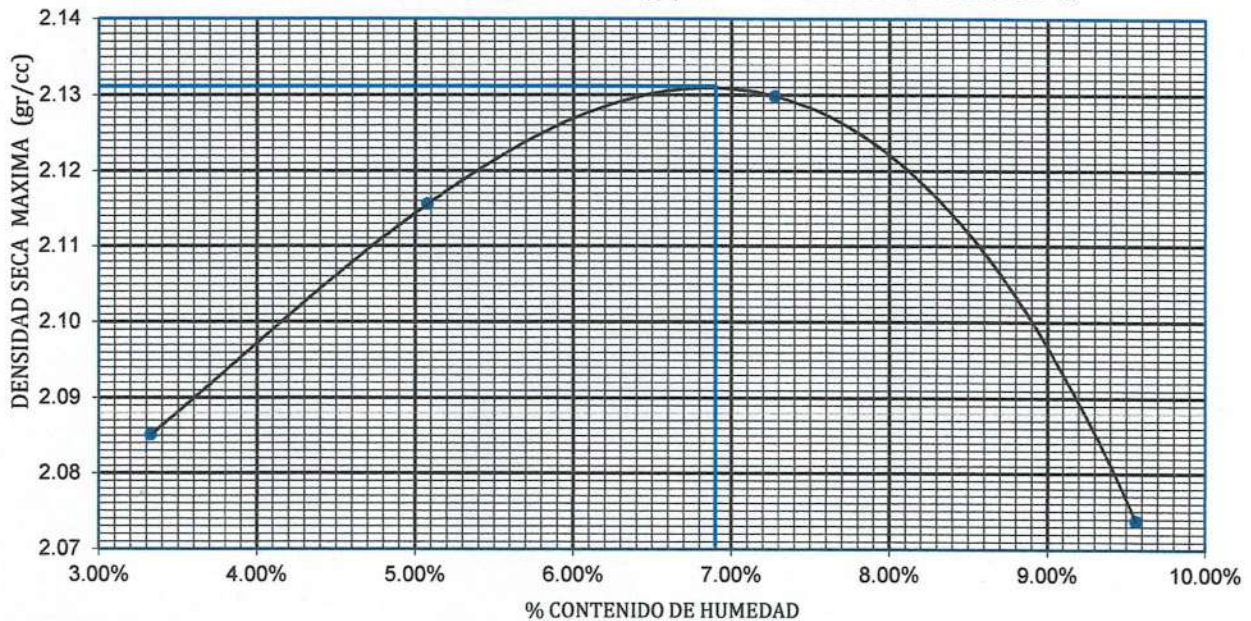
**FECHA** : ENERO DEL 2022

<b>MOLDE No</b>	1	<b>VOLUMEN DEL MOLDE</b>	2118.8 cc
<b>No DE CAPAS</b>	5	<b>GOLPES POR CAPA</b>	56

Peso Suelo Humedo + Molde	gr.	9685	9830	9961	9934
Peso del Molde	gr.	5120	5120	5120	5120
Peso del Suelo Humedo	gr/cc	4565	4710	4841	4814
Densidad del Suelo Humedo	gr/cc	2.155	2.223	2.285	2.272

Capsula No	No	1	2	3	4
Suelo Humedo + Tara	gr.	415.90	538.10	492.50	473.20
Peso del Suelo Seco + Tara	gr.	402.50	512.10	459.10	431.90
Peso del Agua	gr.	13.40	26.00	33.40	41.30
Peso de la Tara	gr.	0.00	0.00	0.00	0.00
Peso del Suelo Seco	gr.	402.50	512.10	459.10	431.90
% de Humedad	%	3.33%	5.08%	7.28%	9.56%
<b>Promedio de Humedad</b>	%	<b>3.33%</b>	<b>5.08%</b>	<b>7.28%</b>	<b>9.56%</b>
<b>Densidad del Suelo Seco</b>	%	<b>2.085</b>	<b>2.116</b>	<b>2.130</b>	<b>2.074</b>

**DENSIDAD SECA MAXIMA: 2.131 gr/cc - HUMEDAD OPTIMA 6.9 %**



**Observaciones :**

*Edwin A. Flores Chipana*  
Técnico Laboratorista  
Suelos Concretos y Pavimentos

*Amy José Rivera Sagastegui*  
INGENIERO CIVIL  
CIP 75160

## ENSAYO DE CBR.

METODO ASTM D - 1883

TESIS : "USO DE ADOQUINES DE CONCRETO CON PET RECICLADO PARA MEJORAMIENTO DE LA INFRAESTRUCTURA VIAL URBANO EN LA CIUDAD DE TACNA, 2021"

UBICACIÓN : DISTRITO CRNEL. GREGORIO ALBARRACIN LANCHIPA - TACNA.

SOLICITANTE : EST. LESLY CLARA NINA APAZA / EST. RENZO GUSTAVO LUQUE LLANOS

MUESTRA : TERRENO NATURAL - CALICATA 02 - AV. HUMBOLT CON AV. EXPEDICION LIBERTADORA

FECHA : ENERO DEL 2022

MOLDE Nro.	1	2	3
Nro. GOLPES POR CAPA	10	25	56
COND. DE LA MUESTRA	SATURADA	SATURADA	SATURADA
Peso molde + suelo humedo	13102	13476	13695
Peso del Molde	8399	8484	8485
Peso del Suelo humedo	4703	4992	5210
Volumen del Suelo	2286	2286	2286
Densidad humeda	2.06	2.18	2.28
% de humedad	6.98	6.96	6.81
Densidad seca	1.923	2.041	2.133
Tara Nro.	T-3	T-2	T-3
Tara + suelo humedo	533.6	578.2	519.2
Tara + suelo seco	498.8	540.6	486.1
Peso del agua	34.8	37.6	33.1
Peso de tara	0.0	0.0	0.0
Peso del suelo seco	498.8	540.6	486.1
% de humedad	6.98	6.96	6.81

## EXPANSION

DIAS	HORAS	LECTURA DIAL	EXPANSION		LECTURA DIAL	EXPANSION		LECTURA DIAL	EXPANSION	
			mm.	%		mm.	%		mm.	%
0	0	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000	0.00
1	24	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000	0.00
2	48	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000	0.00
3	72	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000	0.00
4	96	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000	0.00

## PENETRACION

PENETRACION		MOLDE Nro:			MOLDE Nro:			MOLDE Nro:		
		LECTURA DIAL	CORRECCION		LECTURA DIAL	CORRECCION		LECTURA DIAL	CORRECCION	
mm.	pulg.	DIAL	Libras	lbs/Pg2	DIAL	Libras	lbs/Pg2	DIAL	Libras	lbs/Pg2
0	0.000	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0.64	0.025	30	66	22	50	110	37	81	179	60
1.27	0.050	98	216	72	183	403	134	285	628	209
1.91	0.075	152	335	112	292	644	215	401	884	295
2.54	0.100	218	481	160	368	811	270	559	1232	411
5.08	0.200	501	1105	368	783	1726	575	1102	2429	810
7.62	0.300	702	1548	516	1101	2427	809	1449	3194	1065
10.16	0.400									
12.70	0.500									

*Edwin A. Flores Chipana*  
Técnico Laboratorista  
Suelos Concretos y Pavimentos

*Andy Jose Rivera Sagastegui*  
INGENIERO CIVIL  
CIP 75160

## GRAFICO PENETRACION DE CBR

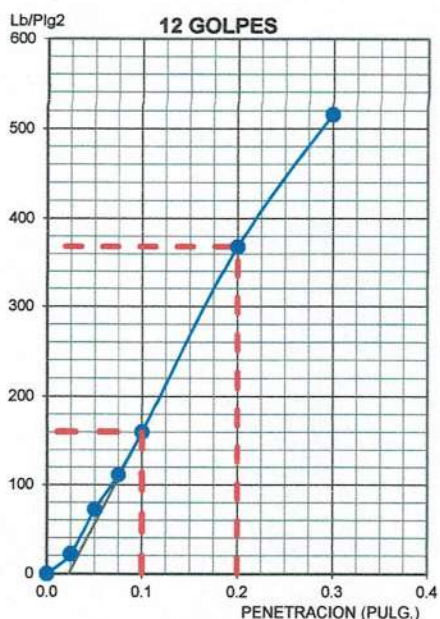
**TESIS** : "USO DE ADOQUINES DE CONCRETO CON PET RECICLADO PARA MEJORAMIENTO DE LA INFRAESTRUCTURA VIAL URBANO EN LA CIUDAD DE TACNA, 2021"

**UBICACIÓN** : DISTRITO CRNEL. GREGORIO ALBARRACIN LANCHIPA - TACNA.

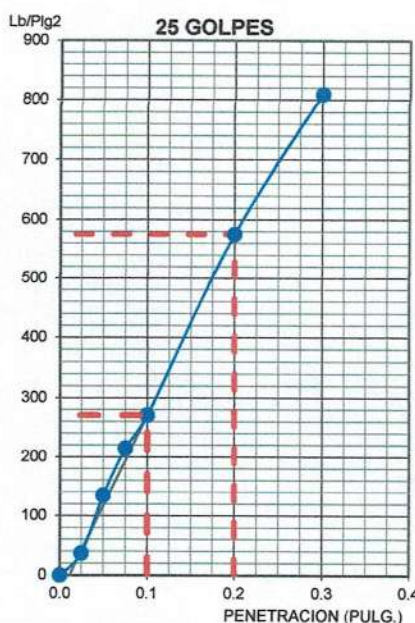
**SOLICITANTE** : EST. LESLY CLARA NINA APAZA / EST. RENZO GUSTAVO LUQUE LLANOS

**MUESTRA** : TERRENO NATURAL - CALICATA 02 - AV. HUMBOLT CON AV. EXPEDICION LIBERTADORA

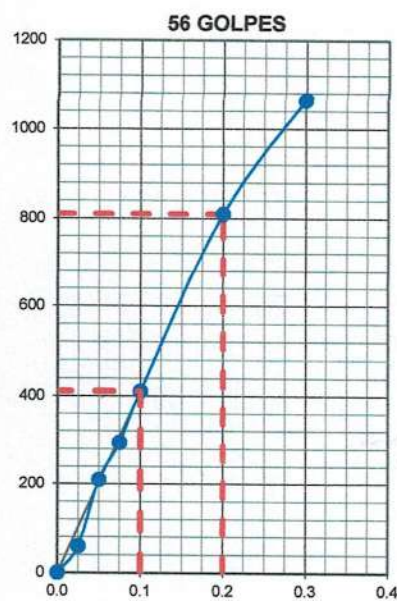
**FECHA** : ENERO DEL 2022



0.1"(%)= 16.02  
0.2"(%)= 26.81

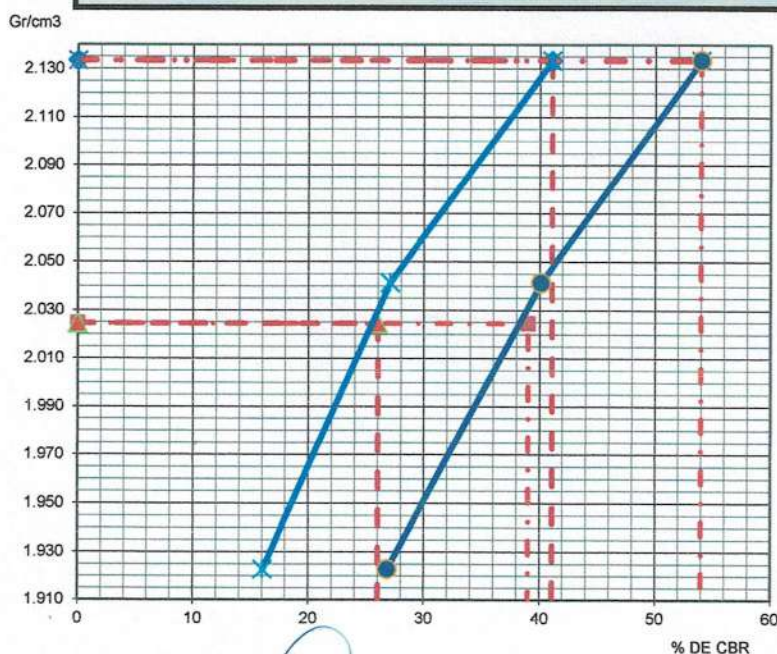


0.1"(%)= 27.04  
0.2"(%)= 40.12



0.1"(%)= 41.08  
0.2"(%)= 53.99

## DETERMINACION DE CBR



### Datos de Proctor:

Densidad seca :	2.131	gr/cc.
Optimo humedad:	6.90	%

CBR A 0.1" 26% AL 95% MDS  
CBR A 0.1" 41% AL 100% MDS

CBR A 0.2" 39% AL 95% MDS  
CBR A 0.2" 54% AL 100% MDS

*Edwin A. Flores Chipana*  
Técnico Laboratorista  
Suelos Concretos y Pavimentos

*Andy José Rivera Sagastegui*  
INGENIERO CIVIL  
CIP 75160

## DISEÑO DE DOSIFICACION DE MEZCLA DE CONCRETO

$f'c = 420 \text{ Kg/cm}^2$  - METODO ACI.

**PROYECTO** : "USO DE ADOQUINES DE CONCRETO CON PET RECICLADO PARA MEJORAMIENTO DE LA DE TESIS INFRAESTRUCTURA VIAL URBANO EN LA CIUDAD DE TACNA, 2021."  
**UBICACIÓN** : DISTRITO DE TACNA - PROVINCIA TACNA - DEPARTAMENTO TACNA.  
**TESISTAS** : EST. LESLY CLARA NINA APAZA / EST. RENZO GUSTAVO LUQUE LLANOS  
**MUESTRA** : AGREGADOS PARA CONCRETO PROCEDENTES DE LA CANTERA ARUNTA  
**FECHA** : MAYO DEL 2022

CONSTANTES FISICAS		AGREGADO GRUESO		AGREGADO FINO
Peso especifico	gr/cc	2.671		2.651
Peso unit.suelto / varillado	Kg/m3	1378	1543	1670
Tamaño máximo		19,05 mm		-
Modulo de fineza		-		2.9
Humedad Absorción	%	0.89		1.47
Humedad Natural	%	0.87		1.83

Cemento Portland TIPO IP YURA P.e. = 2.85 gr/cm3

**CONSIDERACIONES :**  
 Slump 8 @ 10 cm  
 Agua 205 Kg/m3  
 Aire atrapado 2.00 %  
 Relación agua/cemento 0.33  
 Vol. Agregado grueso 0.58 m3

MATERIALES PARA 1m3/CONCRETO	PESO (Kg)	VOLUMEN ABS. (m3)
Agua	205.00 Kg.	0.205 m3
Cemento	621.21 Kg.	0.218 m3
Aire	-	0.020 m3
Piedra	894.94 Kg.	0.335 m3
Arena Gruesa	588.52 Kg.	0.222 m3

### CORRECCION POR HUMEDAD Y ABSORCION

MATERIALES	VOL	PESO (Kg)	VOLUMEN APAR. (m3)
Agua		204.00 Kg.	0.204 m3
Cemento bls	14.62	621.21 Kg.	0.414 m3
Piedra		894.79 Kg.	0.649 m3
Arena Gruesa		591.17 Kg.	0.354 m3

DOSIFICACION	CEMENTO	ARENA	PIEDRA	AGUA
En peso	1	0.95	1.44	0.33
En volumen	1	0.86	1.57	0.49 pie3
Tanda 1 bolsa de cemento	42.50	40.38	61.20	14.03 Kg

### OBSERVACIONES :

- 1.- Los agregado fueron proporcionados por el solicitante.
- 2.- La variación por humedad se corregirá en Obra mediante el ensayo de Revenimiento

Edwin A. Flores Chipana  
 Técnico Laboratorista  
 Suelos Concretos y Pavimentos

Andy José Rivera Sagastegui  
 INGENIERO CIVIL  
 CIP 75160

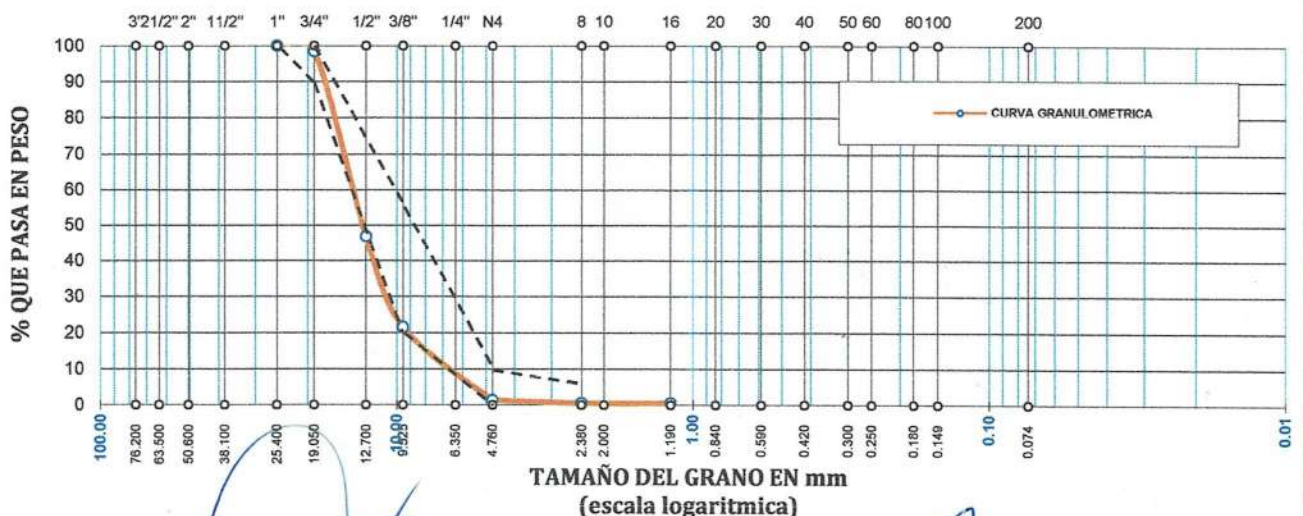
## ANALISIS GRANULOMETRICO POR TAMIZADO

ASTM C - 136

**PROYECTO** : "USO DE ADOQUINES DE CONCRETO CON PET RECICLADO PARA MEJORAMIENTO DE LA DE TESIS INFRAESTRUCTURA VIAL URBANO EN LA CIUDAD DE TACNA, 2021."  
**UBICACIÓN** : DISTRITO DE TACNA - PROVINCIA TACNA - DEPARTAMENTO TACNA.  
**TESISTAS** : EST. LESLY CLARA NINA APAZA / EST. RENZO GUSTAVO LUQUE LLANOS  
**MUESTRA** : AGREGADOS PARA CONCRETO PROCEDENTES DE LA CANTERA ARUNTA  
**FECHA** : MAYO DEL 2022

TAMICES ASTM	ABERTURA mm	PESO RETENIDO	%RETENIDO PARCIAL	%RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA	ESPECIF. 67	DESCRIPCION DE LA MUESTRA
3"	76.200						<b>Muestra : Agregado Grueso</b>  <b>PIEDRA CHANCADA</b>  <b>Peso de la Muestra:</b> 3770.0 <b>Tamaño Max.Nominal : 3/4"</b>  <b>OBSERVACIONES:</b> La muestra consiste de grava chancada proporcionada por el solicitante.
2 1/2"	63.500						
2"	50.600						
1 1/2"	38.100						
1"	25.400	0.00	0.00	0.00	100.00	100	
3/4"	19.050	61.00	1.62	1.62	98.38	90 100	
1/2"	12.700	1943.00	51.54	53.16	46.84		
3/8"	9.525	957.00	25.38	78.54	21.46	20 55	
1/4"	6.350						
No4	4.760	760.00	20.16	98.70	1.30	0 10	
No8	2.380	29.50	0.78	99.48	0.52	0 5	
No10	2.000						
No16	1.190	0.00	0.00	99.48	0.52		
No20	0.840						
No30	0.590						
No40	0.420						
No 50	0.300						
No60	0.250						
No80	0.180						
No100	0.149						
No200	0.074						
<b>TOTAL</b>		3770.00	0.52	100.00	0.00		

**CURVA GRANULOMETRICA**  
MALLAS U.S. STANDARD



Edwin A. Flores Chipana  
Técnico Laboratorista  
Suelos Concretos y Pavimentos

Andy José Rivera Sagastegui  
INGENIERO CIVIL  
CIP 75160

## ANALISIS GRANULOMETRICO POR TAMIZADO

ASTM C - 136

PROYECTO : "USO DE ADOQUINES DE CONCRETO CON PET RECICLADO PARA MEJORAMIENTO DE LA DE TESIS INFRAESTRUCTURA VIAL URBANO EN LA CIUDAD DE TACNA, 2021."

UBICACIÓN : DISTRITO DE TACNA - PROVINCIA TACNA - DEPARTAMENTO TACNA.

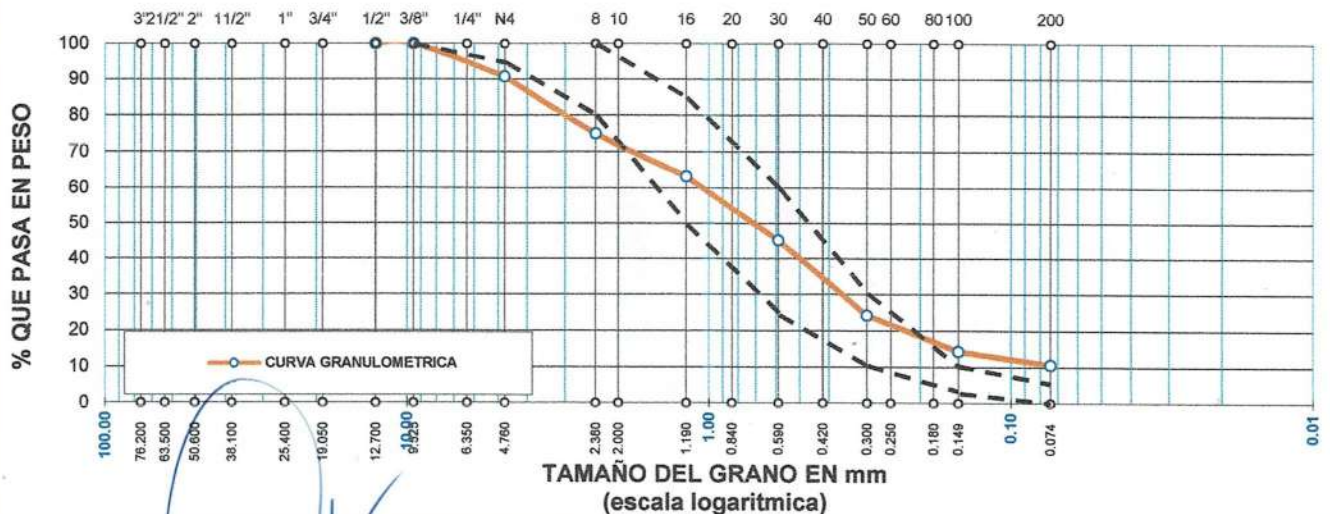
TESISTAS : EST. LESLY CLARA NINA APAZA / EST. RENZO GUSTAVO LUQUE LLANOS

MUESTRA : AGREGADOS PARA CONCRETO PROCEDENTES DE LA CANTERA ARUNTA

FECHA : MAYO DEL 2022

TAMICES ASTM	ABERTURA mm	PESO RETENIDO	%RETENIDO PARCIAL	%RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA	ESPECIFIC.	DESCRIPCION DE LA MUESTRA
3"	76.200						<p>Muestra : Agregado Fino</p> <p>Peso de la Muestra 460.5 gr.</p> <p>Modulo de Fineza : 2.9</p> <p><b>OBSERVACIONES:</b> La muestra consiste de arena sarandead de lecho de río de perfil sub angular y sub redondeado, proporcionada por el solicitante.</p>
2 1/2"	63.500						
2"	50.600						
1 1/2"	38.100						
1"	25.400						
3/4"	19.050						
1/2"	12.700	0.00	0.00	0.00	100.00	100	
3/8"	9.525	0.00	0.00	0.00	100.00	100	
1/4"	6.350						
No4	4.760	43.00	9.34	9.34	90.66	95 100	
No8	2.380	72.40	15.72	25.06	74.94	80 100	
No10	2.000						
No16	1.190	54.20	11.77	36.83	63.17	50 85	
No20	0.840						
No30	0.590	82.80	17.98	54.81	45.19	25 60	
No40	0.420						
No 50	0.300	96.80	21.02	75.83	24.17	10 30	
No60	0.250						
No80	0.180						
No100	0.149	45.70	9.92	85.75	14.25	2 10	
No200	0.074	16.80	3.65	89.40	10.60	0 5	
		48.80	10.60	100.00	0.00		
<b>TOTAL</b>		460.50					

**CURVA GRANULOMETRICA**  
MALLAS U.S. STANDARD



Edwin A. Flores Chipana  
Técnico Laboratorista  
Suelos Concretos y Pavimentos

Andy José Rivera Sagastegui  
INGENIERO CIVIL  
CIP 75160


## ENSAYO DE PESO ESPECIFICO

NORMA ASTM C 127

PROYECTO : "USO DE ADOQUINES DE CONCRETO CON PET RECICLADO PARA MEJORAMIENTO DE LA  
DE TESIS INFRAESTRUCTURA VIAL URBANO EN LA CIUDAD DE TACNA, 2021."  
UBICACIÓN : DISTRITO DE TACNA - PROVINCIA TACNA - DEPARTAMENTO TACNA.  
TESISTAS : EST. LESLY CLARA NINA APAZA / EST. RENZO GUSTAVO LUQUE LLANOS  
MUESTRA : AGREGADOS PARA CONCRETO PROCEDENTES DE LA CANTERA ARUNTA  
FECHA : MAYO DEL 2022

### AGREGADO GRUESO - NORMA ASTM C 127

N° DE ENSAYO			01	02	
A	PESO MAT. SAT. SUP. SECO (EN AIRE)	gr.	1758.50	1996.20	
B	PESO MAT. SAT. SUP. SECO (EN AGUA)	gr.	1101.00	1248.00	
C	VOL. MASA + VOL. DE VACIOS	gr.	657.50	748.20	
D	PESO DE MAT. SECO EN ESTUFA ( 105°C )	gr.	1742.60	1978.90	
E	VOL. DE MASA	gr.	641.60	730.90	
P.E. BULK ( BASE SECA )		gr/cc.	2.650	2.645	
P.E. BULK ( BASE SATURADA )		gr/cc.	2.675	2.668	<b>2.671</b>
P.E. APARENTE ( BASE SECA )		gr/cc.	2.716	2.707	
% DE ABSORCION			0.912	0.874	<b>0.89</b>
<b>P.E. BULK PROMEDIO ( BASE SECA )</b>		<b>gr/cc.</b>	<b>2.671</b>		

  
Edwin A. Flores Chipana  
Técnico Laboratorista  
Suelos Concretos y Pavimentos

  
Andy José Rivera Sagastegui  
INGENIERO CIVIL  
CIP 75160

**PROYECTO** : "USO DE ADOQUINES DE CONCRETO CON PET RECICLADO PARA MEJORAMIENTO DE LA  
**DE TESIS** INFRAESTRUCTURA VIAL URBANO EN LA CIUDAD DE TACNA, 2021."  
**UBICACIÓN** : DISTRITO DE TACNA - PROVINCIA TACNA - DEPARTAMENTO TACNA.  
**TESISTAS** : EST. LESLY CLARA NINA APAZA / EST. RENZO GUSTAVO LUQUE LLANOS  
**MUESTRA** : AGREGADOS PARA CONCRETO PROCEDENTES DE LA CANTERA ARUNTA  
**FECHA** : MAYO DEL 2022

## ENSAYO DE PESO ESPECIFICO DE LA ARENA

NORMA ASTM C-128


MUESTRA N°		1	2
Peso de la fiola + muestra + Agua	gr.	760.80	759.70
Peso de la fiola + Agua	gr.	449.20	448.50
Peso de la muestra (sss)	gr.	500.0	500.0
Volumen desplazado	cc.	188.4	188.8
Peso específico	gr/cc.	2.654	2.648
Promedio	gr.cc.	2.651	

## ENSAYO DE ABSORCION DE LA ARENA

NORMA ASTM C-128

MUESTRA N°		1	2
Peso de la muestra (sss)	gr.	215.84	233.41
Peso de la muestra seca	gr.	212.63	230.12
Peso del Agua	gr.	3.2	3.3
Porcentaje de Absorción	%	1.51	1.43
Promedio	%	1.47	

**OBSERVACIONES:** Las muestras fueron proporcionadas por el solicitante.

  
Edwin A. Flores Chiriana  
Técnico Laboratorista  
Suelos Concretos y Pavimentos

  
Andy José Rivera Sagastegui  
INGENIERO CIVIL  
CIP 75160


## ENSAYO DE PESOS UNITARIOS

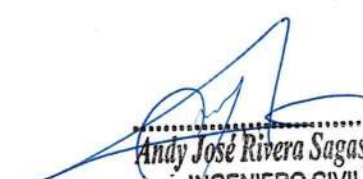
NORMA ASTM C - 29

PROYECTO : "USO DE ADOQUINES DE CONCRETO CON PET RECICLADO PARA MEJORAMIENTO DE LA  
DE TESIS INFRAESTRUCTURA VIAL URBANO EN LA CIUDAD DE TACNA, 2021."  
UBICACIÓN : DISTRITO DE TACNA - PROVINCIA TACNA - DEPARTAMENTO TACNA.  
TESISTAS : EST. LESLY CLARA NINA APAZA / EST. RENZO GUSTAVO LUQUE LLANOS  
MUESTRA : AGREGADOS PARA CONCRETO PROCEDENTES DE LA CANTERA ARUNTA  
FECHA : MAYO DEL 2022

Agregado Fino (Arena Gruesa)	UND	S U E L T O			VARILLADO		
		1	2	3	1	2	3
MUESTRA Nº							
Peso del molde + la muestra seca	gr.	11,530	11,511	11,526	11,982	11,995	11,986
Peso del molde	gr.	6,426	6,426	6,426	6,426	6,426	6,426
Peso de la muestra seca neta	gr.	5,104	5,085	5,100	5,556	5,569	5,560
Volumen del molde	cc.	3,052	3,052	3,052	3,052	3,052	3,052
Peso Unitario	gr/cc.	1.672	1.666	1.671	1.820	1.825	1.822
Promedio	gr/cc.	1.670			1.822		

Agregado Grueso (Grava)	UND	S U E L T O			VARILLADO		
		1	2	3	1	2	3
MUESTRA Nº							
Peso del molde + la muestra seca	gr.	10,663	10,576	10,653	11,127	11,147	11,134
Peso del molde	gr.	6,426	6,426	6,426	6,426	6,426	6,426
Peso de la muestra seca neta	gr.	4,237	4,150	4,227	4,701	4,721	4,708
Volumen del molde	cc.	3,052	3,052	3,052	3,052	3,052	3,052
Peso Unitario	gr/cc.	1.388	1.360	1.385	1.540	1.547	1.543
Promedio	gr/cc.	1.378			1.543		

  
Edwin A. Flores Chipana  
Técnico Laboratorista  
Suelos Concretos y Pavimentos

  
Andy José Rivera Sagastegui  
INGENIERO CIVIL  
CIP 75160

**ENSAYO DE HUMEDAD NATURAL**

**NORMA ASTM D-2216**

PROYECTO : "USO DE ADOQUINES DE CONCRETO CON PET RECICLADO PARA MEJORAMIENTO DE LA  
DE TESIS INFRAESTRUCTURA VIAL URBANO EN LA CIUDAD DE TACNA, 2021."  
UBICACIÓN : DISTRITO DE TACNA - PROVINCIA TACNA - DEPARTAMENTO TACNA.  
TESISTAS : EST. LESLY CLARA NINA APAZA / EST. RENZO GUSTAVO LUQUE LLANOS  
MUESTRA : AGREGADOS PARA CONCRETO PROCEDENTES DE LA CANTERA ARUNTA  
FECHA : MAYO DEL 2022

MUESTRA Nº		AGREGADO FINO		AGREGADO GRUESO	
Recipiente Nº		1	2	3	4
Peso del recipiente	gr.	0.0	0.0	0.0	0.0
Peso del recipiente + la muestra humeda	gr.	784.5	648.9	1,855.6	2,068.2
Peso del recipiente + la muestra seca	gr.	770.2	637.4	1,840.2	2,049.5
Peso del Agua	gr.	14.3	11.5	15.4	18.7
Peso de la muestra seca neta	gr.	770.2	637.4	1,840.2	2,049.5
Porcentaje de humedad	%	1.86	1.80	0.84	0.91
Promedio	%	<b>1.83</b>		<b>0.87</b>	

*Edwin A. Flores Chipana*  
Técnico Laboratorista  
Suelos Concretos y Pavimentos

*Andy José Rivera Sagastegui*  
INGENIERO CIVIL  
CIP 75160

## ENSAYO DE COMPRESION SIMPLE DE ADOQUINES DE CONCRETO

**PROYECTO** : "USO DE ADOQUINES DE CONCRETO CON PET RECICLADO PARA MEJORAMIENTO DE  
**DE TESIS** LA INFRAESTRUCTURA VIAL URBANO EN LA CIUDAD DE TACNA, 2021."  
**UBICACIÓN** : DISTRITO DE TACNA - PROVINCIA TACNA - DEPARTAMENTO TACNA.  
**TESISTAS** : EST. LESLY CLARA NINA APAZA / EST. RENZO GUSTAVO LUQUE LLANOS  
**MUESTRA** : ADOQUIN DE CONCRETO DE 20X10X8  
**FECHA** : JULIO DEL 2022

Nº de	DESCRIPCION	F' c-Esp.	Fecha de	Edad	Area	Lectura	Resist.
Prob.		Kg/cm <sup>2</sup>	Rotura	(días)	cm <sup>2</sup>	Kg.-F	kg./cm <sup>2</sup>
1	MUESTRA 01	420	JULIO DEL 2022	28	200.0	87010	435.05
2	MUESTRA 02	420	JULIO DEL 2022	28	200.0	88250	441.25
3	MUESTRA 03	420	JULIO DEL 2022	28	200.0	92240	461.20

### OBSERVACIONES

\* LAS MUESTRAS FUERON PROPORCIONADAS POR EL SOLICITANTE.

  
Edwin A. Flores Chipana  
Técnico Laboratorista  
Suelos Concretos y Pavimentos

  
Andy José Rivera Sagastegui  
INGENIERO CIVIL  
CIP 75160

## ENSAYO DE COMPRESION SIMPLE DE ADOQUINES DE CONCRETO

**PROYECTO** : "USO DE ADOQUINES DE CONCRETO CON PET RECICLADO PARA MEJORAMIENTO DE  
**DE TESIS** LA INFRAESTRUCTURA VIAL URBANO EN LA CIUDAD DE TACNA, 2021."  
**UBICACIÓN** : DISTRITO DE TACNA - PROVINCIA TACNA - DEPARTAMENTO TACNA.  
**TESISTAS** : EST. LESLY CLARA NINA APAZA / EST. RENZO GUSTAVO LUQUE LLANOS  
**MUESTRA** : ADOQUIN DE CONCRETO (CON 5% PET RECICLADO) DE 20X10X8  
**FECHA** : AGOSTO DEL 2022

Nº de	DESCRIPCION	F' c-Esp.	Fecha de	Edad	Area	Lectura	Resist.
Prob.		Kg/cm <sup>2</sup>	Rotura	(días)	cm <sup>2</sup>	Kg.-F	kg./cm <sup>2</sup>
1	MUESTRA 01	420	AGOSTO DEL 2022	28	200.0	84390	421.95
2	MUESTRA 02	420	AGOSTO DEL 2022	28	200.0	86210	431.05
3	MUESTRA 03	420	AGOSTO DEL 2022	28	200.0	83180	415.90

### OBSERVACIONES

\* LAS MUESTRAS FUERON PROPORCIONADAS POR EL SOLICITANTE.

  
Edwin A. Flores Chipana  
Técnico Laboratorista  
Suelos Concretos y Pavimentos

  
Andy José Rivera Sagastegui  
INGENIERO CIVIL  
CIP 75160

## ENSAYO DE COMPRESION SIMPLE DE ADOQUINES DE CONCRETO

**PROYECTO** : "USO DE ADOQUINES DE CONCRETO CON PET RECICLADO PARA MEJORAMIENTO DE  
**DE TESIS** LA INFRAESTRUCTURA VIAL URBANO EN LA CIUDAD DE TACNA, 2021."  
**UBICACIÓN** : DISTRITO DE TACNA - PROVINCIA TACNA - DEPARTAMENTO TACNA.  
**TESISTAS** : EST. LESLY CLARA NINA APAZA / EST. RENZO GUSTAVO LUQUE LLANOS  
**MUESTRA** : ADOQUIN DE CONCRETO (CON 10% PET RECICLADO) DE 20X10X8  
**FECHA** : JULIO DEL 2022

Nº de	DESCRIPCION	F' c-Esp.	Fecha de	Edad	Area	Lectura	Resist.
Prob.		Kg/cm <sup>2</sup>	Rotura	(días)	cm <sup>2</sup>	Kg.-F	kg./cm <sup>2</sup>
1	MUESTRA 01	420	JULIO DEL 2022	28	200.0	73420	367.10
2	MUESTRA 02	420	JULIO DEL 2022	28	200.0	79040	395.20
3	MUESTRA 03	420	JULIO DEL 2022	28	200.0	81430	407.15

### OBSERVACIONES

\* LAS MUESTRAS FUERON PROPORCIONADAS POR EL SOLICITANTE.

  
Edwin A. Flores Chipana  
Técnico Laboratorista  
Suelos Concretos y Pavimentos

  
Andy José Rivera Sagastegui  
INGENIERO CIVIL  
CIP 75160


## ENSAYO DE COMPRESION SIMPLE DE ADOQUINES DE CONCRETO

**PROYECTO** : "USO DE ADOQUINES DE CONCRETO CON PET RECICLADO PARA MEJORAMIENTO DE  
**DE TESIS** : LA INFRAESTRUCTURA VIAL URBANO EN LA CIUDAD DE TACNA, 2021."  
**UBICACIÓN** : DISTRITO DE TACNA - PROVINCIA TACNA - DEPARTAMENTO TACNA.  
**TESISTAS** : EST. LESLY CLARA NINA APAZA / EST. RENZO GUSTAVO LUQUE LLANOS  
**MUESTRA** : ADOQUIN DE CONCRETO (CON 15% PET RECICLADO) DE 20X10X8  
**FECHA** : AGOSTO DEL 2022

Nº de	DESCRIPCION	F' c-Esp.	Fecha de	Edad	Area	Lectura	Resist.
Prob.		Kg/cm <sup>2</sup>	Rotura	(días)	cm <sup>2</sup>	Kg.-F	kg./cm <sup>2</sup>
1	MUESTRA 01	420	AGOSTO DEL 2022	28	200.0	78240	391.20
2	MUESTRA 02	420	AGOSTO DEL 2022	28	200.0	77430	387.15
3	MUESTRA 03	420	AGOSTO DEL 2022	28	200.0	77210	386.05

### OBSERVACIONES

\* LAS MUESTRAS FUERON PROPORCIONADAS POR EL SOLICITANTE.

  
Edwin A. Flores Chipana  
Técnico Laboratorista  
Suelos Concretos y Pavimentos

  
Andy José Rivera Sagastegui  
INGENIERO CIVIL  
CIP 75160