



UNIVERSIDAD  
PRIVADA  
DEL NORTE

# FACULTAD DE INGENIERIA

---

CARRERA DE INGENIERIA CIVIL

“EVALUACIÓN DE LAS PROPORCIONES DEL RESIDUO PVC DE TAPICERÍA SOBRE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN, FLEXIÓN, ASENTAMIENTO Y COSTOS EN UN CONCRETO PARA PAVIMENTO RÍGIDO, TRUJILLO - LA LIBERTAD, 2017.”

Tesis para optar el título profesional de:

**Ingeniero Civil**

**Autor:**

Br. Erick Jeffry Fernández Altamirano

**Asesor:**

Ing. Juan Paul Edward Henríquez Ulloa

Trujillo – Perú

2017

## **APROBACIÓN DE LA TESIS**

El asesor y los miembros del jurado evaluador asignados, **APRUEBAN** la tesis desarrollada por el Bachiller **Erick Jeffry Fernández Altamirano**, denominada:

**“EVALUACIÓN DE LAS PROPORCIONES DEL RESIDUO PVC DE TAPICERÍA SOBRE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN, FLEXIÓN, ASENTAMIENTO Y COSTOS EN UN CONCRETO PARA PAVIMENTO RÍGIDO, TRUJILLO – LA LIBERTAD, 2017”**

---

Ing. Juan Paul Edward Henríquez Ulloa  
**ASESOR**

---

Ing. Alberto Rubén Vásquez Díaz  
**JURADO**  
**PRESIDENTE**

---

Ing. Roxana Milagros Aguilar Villena  
**JURADO**

---

Ing. Roger Estuardo Ramírez Mercado  
**JURADO**

## DEDICATORIA

Dedico el siguiente trabajo de investigación a Dios, por permitirme alcanzar esto que considero un gran logro a nivel personal. A mi madre por apoyarme todos estos largos años.

## AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios, por iluminar mi camino  
todos estos años hasta alcanzar mi  
objetivo.

A mi madre, porque siempre me apoyó y  
estuvo conmigo cuando más la  
necesitaba.

A mi asesor el ing. Juan Paul Henríquez  
Ulloa por apóyame e iluminarme con sus  
vastos conocimientos sobre el tema de  
especialidad estudiado.

A mi enamora Cristel J. Donayre, por los  
maravillosos momentos vividos y ser un  
gran apoyo este último año.

A todas las personas que estuvieron a  
mi lado cuando necesité de su apoyo.

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

APROBACIÓN DE LA TESIS .....	ii
DEDICATORIA .....	iii
AGRADECIMIENTO .....	iv
ÍNDICE DE CONTENIDOS .....	v
ÍNDICE DE TABLAS .....	vii
ÍNDICE DE FIGURAS .....	ix
RESUMEN.....	x
ABSTRACT .....	xiii
<b>CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>14</b>
1.1. Realidad problemática .....	14
1.2. Formulación del problema.....	19
1.3. Justificación .....	19
1.4. Limitaciones .....	22
1.5. Objetivos .....	22
1.5.1. <i>Objetivo General</i> .....	22
1.5.2. <i>Objetivos Específicos</i> .....	22
<b>CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO .....</b>	<b>24</b>
2.1. Antecedentes .....	24
2.2. Bases Teóricas .....	32
2.3. Definición de términos básicos .....	48
<b>CAPÍTULO 3. HIPÓTESIS .....</b>	<b>49</b>
3.1. Formulación de la hipótesis.....	49
3.2. Operacionalización de variables .....	51
<b>CAPÍTULO 4. MATERIAL Y MÉTODOS.....</b>	<b>52</b>
4.1. Tipo de diseño de investigación. ....	52
4.2. Material. ....	52
4.2.1. <i>Unidad de estudio.</i> .....	52
4.2.2. <i>Población.</i> .....	53
4.2.3. <i>Muestra.</i> .....	53
4.3. Métodos. ....	58
4.3.1. <i>Técnicas de recolección de datos y análisis de datos</i> .....	58
4.3.2. <i>Procedimientos</i> .....	68
<b>CAPÍTULO 5. DESARROLLO.....</b>	<b>69</b>
<b>CAPÍTULO 6. RESULTADOS .....</b>	<b>97</b>

<b>CAPÍTULO 7. DISCUSIÓN .....</b>	<b>106</b>
<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>111</b>
<b>RECOMENDACIONES .....</b>	<b>113</b>
<b>REFERENCIAS .....</b>	<b>114</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>117</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 01:</b> Repeticiones Acumuladas de Ejes Equivalentes de 8.2t (bajo).	41
<b>Tabla 02:</b> Repeticiones Acumuladas de Ejes Equivalentes de 8.2t (medio).	42
<b>Tabla 03:</b> Repeticiones Acumuladas de Ejes Equivalentes de 8.2t. (alto).	42
<b>Tabla 04:</b> Índice de Serviciabilidad según el Rango de Tráfico.	43
<b>Tabla 05:</b> Valores recomendados de Nivel de Confiabilidad	44
<b>Tabla 06:</b> Valores recomendados de resistencia del concreto	46
<b>Tabla 07:</b> Valores de coeficiente de transmisión de carga $j$	48
<b>Tabla 08:</b> Matriz de hipótesis	50
<b>Tabla 09:</b> Matriz de operacionalización de variables	51
<b>Tabla 10:</b> Matriz de diseño experimental	52
<b>Tabla 11:</b> Valores de la distribución normal estandarizada	53
<b>Tabla 12:</b> Valores de dispersión total	54
<b>Tabla 13:</b> Matriz de diseño de muestra	57
<b>Tabla 14:</b> Requisitos para el moldeo por apisonado	65
<b>Tabla 15:</b> Análisis granulométrico del agregado fino	70
<b>Tabla 16:</b> Muestra trabajada y huso granulométrico de agregado fino.	71
<b>Tabla 17:</b> Composición de la muestra trabajada.	72
<b>Tabla 18:</b> Análisis granulométrico del agregado grueso.	73
<b>Tabla 19:</b> Muestra trabajada y huso granulométrico de agregado grueso.	74
<b>Tabla 20:</b> Composición de la muestra trabajada.	75
<b>Tabla 21:</b> Ensayo de contenido de humedad del agregado grueso.	76
<b>Tabla 22:</b> Ensayo de contenido de humedad del agregado fino.	76
<b>Tabla 23:</b> Ensayo de peso unitario seco suelto del agregado grueso.	77
<b>Tabla 24:</b> Ensayo de peso unitario seco compacto del agregado grueso.	79
<b>Tabla 25:</b> Ensayo de peso unitario seco suelto del agregado fino.	80
<b>Tabla 26:</b> Ensayo de peso unitario seco compacto del agregado fino.	81
<b>Tabla 27:</b> Ensayo de peso específico y porcentaje de absorción del a. grueso.	82
<b>Tabla 28:</b> Ensayo de peso específico y porcentaje de absorción del a. fino.	83
<b>Tabla 29:</b> Requisitos de agua mezcla y contenido de aire.	85
<b>Tabla 30:</b> Determinación del $f'_{cr}$ cuando no hay data histórica para calcular "s".	85
<b>Tabla 31:</b> Dependencia entre la $r$ a/c y la resistencia a la compresión.	86
<b>Tabla 32:</b> Resumen de datos hasta momento.	87
<b>Tabla 33:</b> Volumen de agregado grueso por volumen unitario de concreto.	87
<b>Tabla 34:</b> Resumen de datos.	88
<b>Tabla 35:</b> Corrección por % absorción.	89
<b>Tabla 36:</b> Corrección por % humedad.	89
<b>Tabla 37:</b> Resumen de pesos (Seco, S.S.S. y Húmedo).	90
<b>Tabla 38:</b> Resultados de análisis granulométrico del agregado fino y huso.	97
<b>Tabla 39:</b> Resultados de análisis granulométrico del agregado grueso y huso.	98
<b>Tabla 40:</b> Pesos (seco, S.S.S. y húmedo) del concreto $f_c = 280 \text{ kg/cm}^2$ .	100
<b>Tabla 41:</b> Resultados del asentamiento en función a la cuantía de refuerzo.	100
<b>Tabla 42:</b> Resultados del $r$ . compresión en función a la cuantía de refuerzo.	101
<b>Tabla 43:</b> Resultados del $r$ . flexión en función a la cuantía de refuerzo.	102
<b>Tabla 44:</b> Resultados de análisis de costos unitarios.	103
<b>Tabla 45:</b> Resultados de análisis de costos unitarios en elaboración de fibra	103

<b>Tabla 46:</b> Resultados del costo total de la fibra en el concreto reforzado	104
<b>Tabla 47:</b> Costos por metro, kilómetro y tramo total (concreto patrón).	104
<b>Tabla 48:</b> Costos por metro, kilómetro y tramo total (concreto reforzado)	105
<b>Tabla 49:</b> Cuadro de comparación de costos de concreto patrón y reforzado	105

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 01:</b> Generación de residuos sólidos en el Perú por región.	15
<b>Figura 02:</b> Composición física de los residuos sólidos – Trujillo.	16
<b>Figura 03:</b> Influencia del contenido de fibras de polipropileno	31
<b>Figura 04:</b> Curvas típicas de esfuerzo - deformación para concreto reforzado	32
<b>Figura 05:</b> Ensayos de cargas en los puntos tercios.	39
<b>Figura 06:</b> Correlación CBR y módulo de reacción de la subrasante	45
<b>Figura 07:</b> Molde para el ensayo de resistencia compresión.	55
<b>Figura 08:</b> Molde de ensayo de resistencia a la flexión	55
<b>Figura 09:</b> Molde para el ensayo de asentamiento.	56
<b>Figura 10:</b> Diagrama de procedimiento experimental.	58
<b>Figura 11:</b> Curva granulométrica del agregado fino trabajado.	70
<b>Figura 12:</b> Curva granulométrica del agregado fino y huso granulométrico.	71
<b>Figura 13:</b> Curva granulométrica del agregado grueso trabajado.	73
<b>Figura 14:</b> Curva granulométrica del agregado grueso y huso N° 06	74
<b>Figura 15:</b> Diseño del pavimento rígido con concreto patrón.	95
<b>Figura 16:</b> Diseño del pavimento rígido con concreto reforzado a ( $5 \text{ kg/m}^3$ ).	96
<b>Figura 17:</b> Curva granulométrica del agregado fino y huso	97
<b>Figura 18:</b> Curva granulométrica del agregado grueso y huso.	98
<b>Figura 19:</b> Curva de asentamiento del concreto en función a la C. Refuerzo	107
<b>Figura 20:</b> Curva de resistencia a la compresión en función a la C. Refuerzo	108
<b>Figura 21:</b> Curva de resistencia a la flexión en función C. Refuerzo	109
<b>Figura 22:</b> Fibras de PVC reciclado.	126
<b>Figura 23:</b> Ensayo de Análisis granulométrico.	126
<b>Figura 24:</b> Ensayo de contenido de humedad evaporable	127
<b>Figura 25:</b> Ensayo de PUSS y PUSC	127
<b>Figura 26:</b> Ensayo de gravedad específica agregado fino	128
<b>Figura 27:</b> Ensayo de absorción agregado fino	128
<b>Figura 28:</b> Ensayo de gravedad específica agregado grueso	129
<b>Figura 29:</b> Ensayo de absorción agregado grueso	129
<b>Figura 30:</b> Ensayo de asentamiento en el concreto, con $0 \text{ kg/m}^3$ de fibra	130
<b>Figura 31:</b> Ensayo de asentamiento en el concreto, con $3 \text{ kg/m}^3$ de fibra	130
<b>Figura 32:</b> Ensayo de asentamiento en el concreto, con $4 \text{ kg/m}^3$ de fibra	131
<b>Figura 33:</b> Ensayo de asentamiento en el concreto, con $5 \text{ kg/m}^3$ de fibra	131
<b>Figura 34:</b> Llenado de moldes de $15 \text{ cm} \times 30 \text{ cm}$	132
<b>Figura 35:</b> Curado de probetas	132
<b>Figura 36:</b> Vigas después de los 28 días de curado	133
<b>Figura 37:</b> Probetas cilíndricas después de los 28 días de curado	133
<b>Figura 38:</b> Ensayo de resistencia a la compresión	134
<b>Figura 39:</b> Especímenes ensayados a compresión	134
<b>Figura 40:</b> Ensayo de resistencia a la flexión	135
<b>Figura 41:</b> Viga ensayada a flexión reforzada al $5 \text{ kg/m}^3$	135
<b>Figura 42:</b> Probetas ensayadas a flexión	136

## RESUMEN

El presente trabajo de investigación se realizó con el objetivo de evaluar las proporciones de residuo PVC de tapicería sobre la resistencia a la compresión, flexión asentamiento y costos en un concreto para pavimento rígido, con un diseño de mezcla de  $280 \text{ kg/cm}^2$  por el método ACI 211.

Los residuos de PVC (policloruro de vinilo) utilizados fueron recolectados de las pequeñas industrias de tapicería de la ciudad de Trujillo; se los clasificó principalmente a los de apariencia transparente, ya una vez clasificado, se los llevó al tamaño de macrofibras, con una medida correspondiente a  $2 \text{ mm} \times 50 \text{ mm}$ .

Una vez llevados al tamaño requerido, ya cumpliendo la clasificación de fibras, se las evaluó en el concreto en las proporciones de  $3 \text{ kg/m}^3$ ,  $4 \text{ kg/m}^3$  y  $5 \text{ kg/m}^3$ , planteándose que a medida que incorporen estos residuos mejore ligeramente su resistencia la compresión (ASTM C39), incremente la resistencia a la flexión (ASTM C 78), se produzca una pérdida de asentamiento (ASTM C 143) y se optimicen costos al diseñar un pavimento rígido. En definitiva, habiéndose evaluado la cantidad de especímenes planteados, y confirmando la hipótesis; se comparó los resultados obtenidos con las del concreto patrón.

Al realizar el análisis de datos y la discusión de resultados, se obtuvo que el concreto con cuantía de refuerzo  $5 \text{ kg/m}^3$  mostró mejores resultados en cuanto a la resistencia a la compresión, con un mejora del 12% respecto al concreto patrón; en lo que compete a la resistencia a la flexión, propiedad que se vio más favorecida al reforzar el concreto con este material, ya que ganó una resistencia del 20% respecto al concreto patrón; y finalmente, respecto al asentamiento de aquel concreto, solamente se presentaron pérdidas de Asentamiento de 1.5 cm respecto al concreto patrón.

Con los resultados obtenidos, correspondientes a los ensayos mecánicos del concreto, se optó por diseñar un pavimento rígido por el método de AASTHO-93 (Asociación Americana de Oficiales de Carreteras Estatales y Transportes), donde se obtuvieron espesores de carpeta de rodadura para el concreto patrón (20.8 cm) y reforzado (18.8 cm), consiguiéndose una reducción del espesor de capa de 2.0 cm, generando una reducción de volúmenes de concreto y una evidente reducción de costos.

Finalmente, se puede afirmar que, al tener un buen desempeño de los tipos de residuos de tapicería sobre las propiedades mecánicas del concreto, se pueden utilizar como refuerzo de éste, y a su vez reducir impactos ambientales y cumplir con lo expuesto en la Ley General de Residuos Sólidos N° 27790.

## ABSTRACT

The present research was carried out with the objective of evaluating the proportions of PVC wastes upholstery's on the resistance to compression, flexion settlement and costs in a concrete for rigid pavement design with a mixture of  $280 \text{ kg/cm}^2$  by ACI 211 method.

The PVC wastes (polyvinyl chloride) used; were collected from small upholstery's industries at Trujillo city. They were mainly classified to the transparent appearance, at the time they were classified and were cut into macro fibers with a measurement corresponding to  $2 \text{ mm} \times 50 \text{ mm}$ .

When the macro fibers were at the required size, already fulfilling the classification of fibers, they were evaluated in the concrete at  $3 \text{ kg/m}^3$ ,  $4 \text{ kg/m}^3$  and  $5 \text{ kg/m}^3$  proportions, at the time we incorporate these residues slightly improve their compression resistance (ASTM C39), increase the resistance to the bending (ASTM C 78), they produce a loss of settlement (ASTM C 143) and optimize costs when designing a rigid pavement; Finally; after having evaluated the amount of raised specimens, and confirming the hypothesis, we compared the results obtained with the concrete pattern.

When we perform the data analysis and the discussion of results, we obtained that the concrete with amount of reinforcement  $5 \text{ kg/m}^3$  showed better results with respect to the compressive strength with an improvement of 12 % with respect to the concrete pattern; in what concerns to the bending resistance, property that it was most favored to reinforce the concrete with this material, because it won a resistance of 20 % respect to the concrete pattern; and finally in relationship to the settlement of that concrete, there was only a loss of Settlement of  $1.5 \text{ cm}$  with respect to the concrete pattern.

With the results obtained, corresponding to the mechanical tests of the concrete, we decided to design a rigid pavement by AASTHO-93 method (American Association of State Highway and Transportation Officials), where we obtained thickness of tread folder to the concrete pattern ( $20.8 \text{ cm}$ ) and reinforced ( $18.8 \text{ cm}$ ), getting a reduction of the layer thickness of  $2.0 \text{ cm}$ , generating a reduction of concrete volumes and an evident reduction of costs.

Finally; We can affirm that; if we have a good performance of the types of upholstery's residue on the mechanical properties of concrete, then we can use it as a reinforcement of this, and at the same time we can reduce environmental impacts and accomplish with the exposed at the General Law of waste solid N° 27790.

**Key words:** *PVC wastes and concrete pattern*

## CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN

### 1.1. Realidad problemática

Los residuos sólidos son tema de preocupación a nivel mundial, sumado a los grandes problemas de contaminación que estos generan como dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), metano (CH<sub>4</sub>) y óxido nitroso (N<sub>2</sub>O); ante todo esto en el país se decretó la Ley General de los Residuos Sólidos (N° 27314), que, según la misma, establece los derechos, obligaciones, atribuciones y responsabilidades, para asegurar una gestión y manejo los residuos sólidos. Pudiéndose resumir esta ley, como la obligación de la población en generar un entorno libre de contaminación, velando por el manejo adecuado de los desperdicios e incentivando el reciclaje, para así disponer de un manejo adecuado de las materias residuales, ya sea reutilizándolas o siendo parte de un material de construcción.

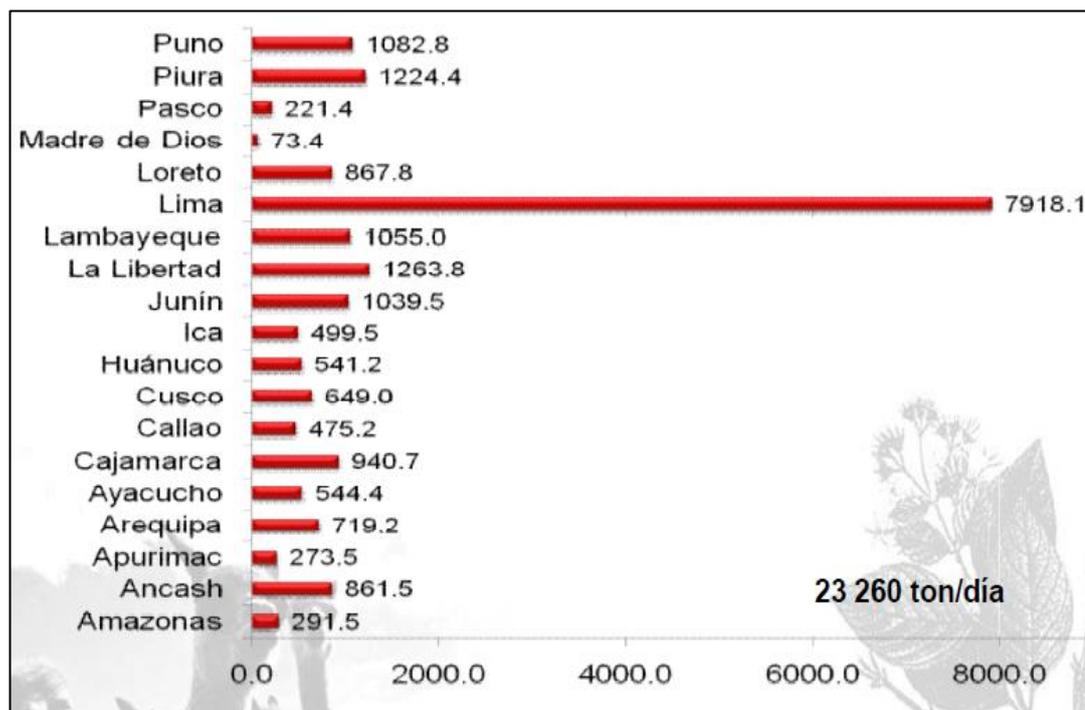
En este sentido, muchos países han adoptado medidas para el adecuado tratamiento de la basura y el reciclado de los residuos sólidos. Siendo Suecia líder mundial en recuperación de energía a partir de basura, donde únicamente el 4% de la basura doméstica acaba en los vertederos; también dicho el país importa alrededor de 800 000 toneladas anuales de residuos del resto de Europa (Russia Today, 2012).

Según Amezcua (2014) el Perú es el cuarto país que genera más basura a nivel de Latinoamérica, y ubicándose en última posición en materia de reciclaje, donde solamente el 2% del total de basura generada es reciclada. Teniendo en consideración que en nuestra realidad el problema del reciclaje va en aumento, debido a que residuos sólidos urbanos que son generados a diario, terminan siendo mezclados y arrojados directamente a los botaderos, sin una previa clasificación de desechos; y al no contar con un relleno sanitario, en muchas ciudades los residuos son quemados, causando así daños ambientales.

La Generación de residuos sólidos en nuestro país va en aumento, debido a la falta clasificación y el inadecuado manejo de residuos; que se ve reflejado en el informe analítico sobre la generación de residuos sólidos publicado por el Ministerio del Ambiente ([MINAN], 2009) informó que en aquel año, a nivel domiciliario en país se genera 0.532 *kg/pers./día* y municipalmente 0.798 *kg/pers./día*, teniendo un total de

residuos de 23,260 *ton/día*; respecto a la recolección de residuos sólidos, en Lima el 87.95% de estos desperdicios son recolectados los municipios, mientras que a nivel nacional sólo el 20% son recolectados, teniendo como disposición final ocho rellenos sanitarios y un relleno de seguridad.

**Figura 01:** Generación de residuos sólidos en el Perú por región.



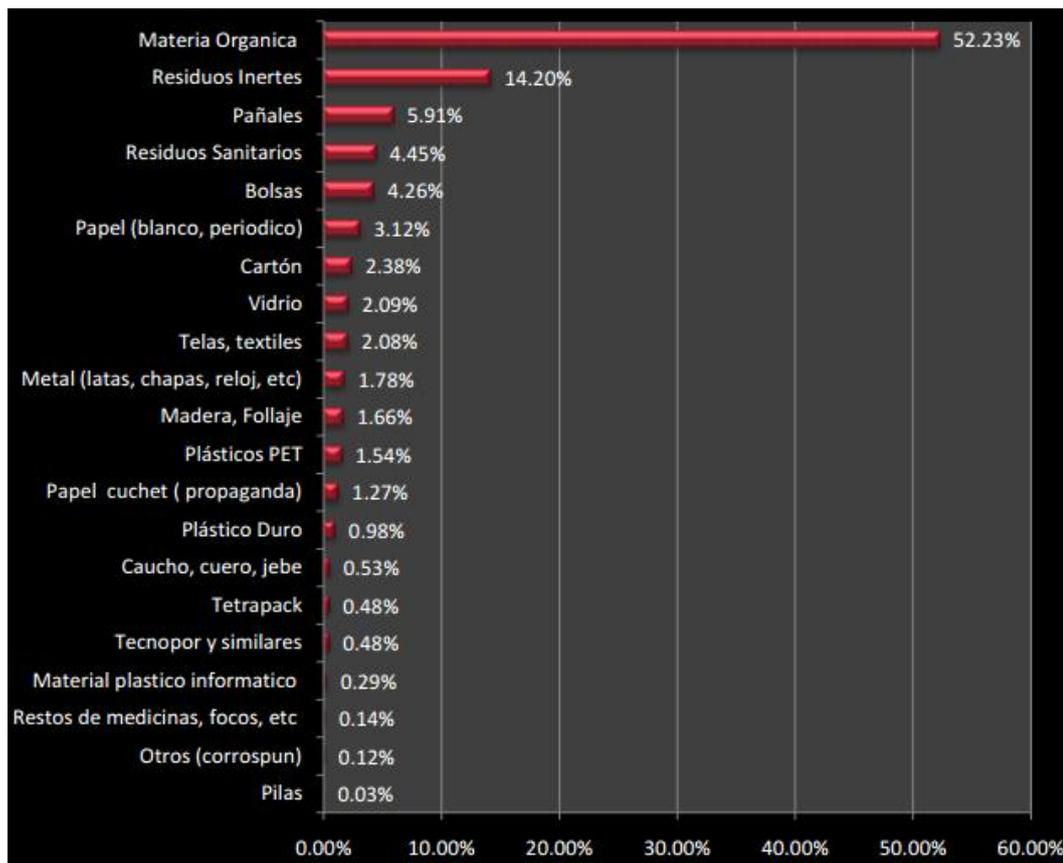
Fuente: MINAN, 2009.

Como se aprecia en la (figura 01) en el Perú se genera de 23,260 toneladas de residuos sólidos al día, siendo Lima la región que genera la mayor cantidad de residuos, con 7,918.1 toneladas de desperdicios al día, seguido de La Libertad con más de 1,263.8 toneladas respectivamente.

En lo correspondiente a la ciudad de Trujillo, (Huerta & Vásquez, 2012) estimaron que la cantidad de residuos sólidos (RRSS) per cápita en el distrito de Trujillo es 0,612 *kg/hab./día*; teniendo en consideración que en aquella fecha la población fue de 306,318 habitantes, concluyeron que la producción de residuos sólidos fue de 187,467 *kg/día* en el distrito de Trujillo.

En su estudio (Huerta & Vásquez, 2012), obtuvieron la composición física de los residuos sólidos domiciliarios en el distrito de Trujillo, que se presentan continuación en la (figura 02).

**Figura 02:** Composición física de los residuos sólidos domiciliarios del distrito de Trujillo en 2012.



**Fuente:** Huerta & Vásquez, 2012

En el análisis de resultados de la composición de los residuos sólidos domiciliarios está compuesta por 52.23% de materia orgánica; 14% de materia inerte (tierra, residuos de vidrio triturados, pequeños pedazos de plástico y papel); 5.91% de pañales de bebés y adultos mayores, 4.45% residuos sanitarios, 4.26% de bolsas, 3.12% de papel blanco y periódico, 2,38 % de cartón, 2.09% de vidrio, 2.08% de tela-textiles, 1.78% de metal, 1.66% madera-follaje, 1.54 % de plástico PET (Tereftalato de polietileno) según lo que expresan (Huerta & Vásquez, 2012).

En definitiva, en el distrito de Trujillo, existe un significativo número de pequeñas industrias dedicadas a la confección de productos para la tapicería del hogar y automotriz, por ende, generan diariamente según lo expuesto en un informe de la localidad, alrededor de 2.08% en telas y textiles, y 0.53% en caucho, cuero y jebe; realizando un análisis de estos porcentajes, con la cantidad de residuos per cápita y la población en el distrito, se puede estimar que se generan alrededor de 994 kg entre caucho, cuero y jebe al día.

Al ser inexistente el reciclaje de los residuos mencionados en el párrafo anterior, ciertos desechos terminan siendo mezclados con todo tipo de basura y son arrojados de manera directa a los botaderos de la periferia de la ciudad, generando cada vez mayor acumulación de basura. Estimándose que de 1000 kg/día conformados por caucho, cuero y jebe, se encuentra una cantidad importante de residuos PVC de tapicería, que son materia de desperdicio, que pueden ser reutilizados como un subproducto de la mezcla del concreto, tomando así la función de fibra sintética e hipotéticamente mejorar algunas propiedades mecánicas al evaluarlo en un concreto en estado endurecido.

Respecto a las fibras y sus características físicas, se clasifican en dos tipos: las de monofilamentos, y las producidas a partir de cintas de fibrilla. Siendo todas estas fabricadas industrialmente, con el objetivo de ser netamente utilizadas como refuerzo secundario en el concreto, en el mejoramiento de algunas propiedades mecánicas.

El problema en el uso de fibras radica en que su costo tiende a ser elevado, tomando en cuenta las grandes cantidades de concreto utilizadas en obras viales, en ciertas ocasiones el costo total en aditivos y/o fibras tiende a ser muy alto. Paulatinamente el uso de fibras sintéticas es limitado, por el elevado costo que demanda hacer uso de ellas. Ante esta problemática se planea darle uso a los desechos de las tapicerías, que son generadores de ciertos materiales sintéticos como pisos vinílicos de PVC. Al llevar estos materiales a la forma de fibras, y utilizándose como refuerzo en el concreto, puede resultar ser muy útil en su resistencia a la compresión y flexión, y a su vez económico.

En particular, respecto al concreto estructural, que también es usado para pavimentos rígidos, la Norma Técnica de Edificación E.060 (NTE E.060) lo define como todo aquel con una resistencia  $f'c$  que no debe ser inferior a  $170 \text{ kg/cm}^2$ .

Según el Manual Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos (MSGGP,2013) especifica que, para el caso de pavimentos rígidos, su resistencia a la compresión no debe ser menor a  $280 \text{ kg/cm}^2$ .

Por otro lado en lo que concierne a la resistencia la compresión tenemos que según la National Ready Mixed Concrete Association (NRMCA) la define como la medida más común de desempeño que se emplea para el diseño de edificios y otras estructuras, siendo ésta la carga máxima paralela a su longitud que puede llegar a soportar el material antes de producirse la falla; también se tiene la influencia del Módulo de Rotura (resistencia a la flexión), que es considerada la medida de la resistencia a la tracción del concreto, siendo esta, la falla por momento de una viga de concreto, que es requerido como un factor importante en el diseño de pavimentos; y el asentamiento que es relacionado con el tema de la trabajabilidad de la masa de concreto en estado fresco, siendo caracterizado como la capacidad de adaptarse a un molde.

Al realizar la adición de los residuos PVC de tapicería en el concreto, se le podría realizar un mejoramiento de sus propiedades físicas y mecánicas, como la resistencia a la flexión, resistencia a la compresión y el asentamiento; lo que podría traer consigo al diseñar un pavimento rígido por el método AASHTO-93 la reducción de los espesores de las carpetas de rodadura; producto de ello se reducirían los costos en el concreto hidráulico, obteniéndose ahorro de costos; también se disminuiría la utilización de los recursos para la elaboración del concreto, produciéndose así la reducción de los impactos ambientales; por consiguiente se incentivaría el reciclaje de estos materiales, dándoles un adecuado uso a todos estos residuos que son contaminadores directos, que van a parar a los botaderos de la ciudad sin ningún tipo de control.

## 1.2. Formulación del problema

¿De qué manera la evaluación de las proporciones del residuo PVC de tapicería contribuye en la resistencia a la compresión, flexión, asentamiento y costos en un concreto para pavimento rígido, Trujillo – La Libertad, 2017?

La evaluación del residuo PVC de tapicería en el concreto permitirá tener resultados sobre sus propiedades físico-mecánicas; y a su vez la influencia en los costos al comparar los espesores de diseño de capa de rodadura de un pavimento rígido por el método AASHTO-93.

## 1.3. Justificación

Desde este punto de vista teórico, mediante la investigación desarrollada, se plantea realizar una ficha técnica de fibras a base de policloruro de vinilo reciclado a partir de los residuos de las empresas dedicadas a la tapicería en general. Por ello es importante demostrar la importancia de este material como refuerzo en el concreto; ante ello, sería fundamental que, en el material técnico, se especifiquen las características físicas y mecánicas del residuo que se hará uso en la investigación, pudiéndose desarrollar entre los datos más relevantes: peso específico, cuantía de refuerzo a aplicar, dimensiones del producto, usos, entre otras.

Por otro lado, se considera primordial fomentar la creación de pequeñas plantas productoras, dedicadas a la elaboración de fibras a base de estos tipos de materiales reciclados, siendo tarea fundamental de éstas, recolectar, clasificar el material, y llevar la materia reciclada a la morfología y tamaño correspondiente, que cumpla con la clasificación de macrofibras.

En cuanto a la parte aplicada, la presente investigación es planteada para poder determinar la óptima cantidad y a su vez el tamaño adecuado al que puede ser llevado en forma de fibras, los distintos tipos de residuos sólidos recolectados de talleres de tapicería, para que estos materiales sean utilizados como un subproducto en la elaboración de concreto reforzado con fibras sintéticas, y que estos residuos, al ser empleados como fibras, mejoren ciertas propiedades mecánicas de este material estructural y mitigar los impactos ambientales que generan estos desperdicios de tapicería.

Considerando la durabilidad de estos materiales que son fabricados a base de Policloruro de vinilo (PVC), que cuentan con un tiempo de degradación que circula los 6 años desde el momento que pasa a ser materia de desperdicio. La particularidad con la biodegradabilidad del PVC es que, al encontrarse encapsulado en el concreto, mantiene su durabilidad y no evidencia un declive de sus propiedades físicas y mecánicas, considerando que no se expone a agentes externos como humedad o rayos ultravioletas.

También el dimensionamiento del proyecto corresponde a la inmediata necesidad de hacer uso racional de los residuos sólidos de las grandes industrias y pequeñas empresas, cuyos desechos de estos centros de producción no son materia de reciclaje como muchos materiales plásticos, y van a parar directamente a los botaderos situados en la periferias de cada ciudad, sin ningún tipo de control o clasificación; ante esta problemática del día a día, se planea darle uso a estas materias, para que así tengan un aprovechamiento como parte del concreto hidráulico reforzado en la carpeta de rodadura de los pavimentos rígidos; y su vez fomentar y contribuir el reciclado de estos materiales en la ciudad de Trujillo; creando así un medio sostenible.

Por otro lado con esta investigación se estaría cumpliendo con la Ley General de los Residuos Sólidos en el Perú N° 27314, donde se establece según la misma: "derechos, obligaciones, atribuciones y responsabilidades de la sociedad en su conjunto, para asegurar una gestión y manejo de los residuos sólidos, sanitaria y ambientalmente adecuada, con sujeción de los principios de minimización, prevención de riesgos ambientales, protección de la salud y el bienestar de la persona humana", por ello se tratarán de cumplir las estipulaciones mencionadas en la presente ley.

Otro propósito justificable de la investigación es demostrar que al aplicar ciertos materiales sintéticos como pisos de vinílicos PVC en forma de fibra en un concreto estructural se puede mejorar ciertas propiedades físicas y mecánicas, como en el caso específico de la resistencia a la compresión, resistencia a la flexión y asentamiento.

En lo correspondiente a la parte valorativa, se considera el aspecto económico, que es un tema primordial en el campo de la ingeniería y construcción; se podría afirmar que al utilizar los tipos de residuos de la tapicería automotriz, y llevarlos a la forma y al tamaño adecuado; se usarían como fibras de refuerzo en el concreto hidráulico, pudiendo ser aplicado en la carpeta de rodadura de los pavimentos rígidos, siendo el espesor de esta carpeta principalmente dependiente de la resistencia a la flexión y en menor medida de la resistencia a la compresión. Teniendo en consideración los grandes volúmenes de concreto que se utiliza en este tipo de obras viales, al mejorar sus propiedades con este tipo de refuerzo sintético-reciclado, se optimiza en cierta proporción los costos, al emplear menos concreto hidráulico.

Sabiendo que este es un producto reciclado, que será utilizado para el concreto reforzado, básicamente, el único costo sería llevarlo al tamaño adecuado para que cumpla con los requerimientos geométricos y las proporciones de medida adecuadas. Por todo lo mencionado este producto sería muy económico a comparación de las fibras de polipropileno cuyos costos son elevados.

De acuerdo a los parámetros mencionados, dentro del análisis deductivos, al realizar este proyecto de tesis correspondiente al área de concreto y pavimentos, se tiene la intención de disminuir los costos, ante una inminente mejora de las propiedades mecánicas (resistencia a la compresión y flexión) del concreto hidráulico, que ganando mayores valores en cuestión de resistencia, en el caso de las propiedades mecánicas al realizar el diseño de este tipo de pavimento por el método AASTHO-93 se consigue la reducción del espesor de la carpeta de rodadura de los pavimentos rígidos, y a su vez contribuir con el medio ambiente al utilizar este tipo de desperdicios de tapicería automotriz, fomentando así una cultura de reciclaje y también sumarse a la elaboración de proyectos con materiales reciclados.

En cuanto a la justificación académica, corresponde fundamentalmente a aplicar ciertos conocimientos adquiridos en la universidad a lo largo de la formación universitaria, en un trabajo de investigación que genere un aporte científico, y a su vez, solucione un problema o una necesidad encontrada en el día a día. Consecuentemente, la investigación académica, se realiza de manera rigurosa,

fundamentalmente con el objetivo de obtener el Título Profesional de Ingeniero Civil.

#### **1.4. Limitaciones**

- La disponibilidad del laboratorio, ya que además de la presente investigación se realizan otras investigaciones en paralelo.
- La recolección de los residuos PVC de tapicería, ya que estos, tienen que ser seleccionados de entre otros tipos de residuos.
- Llevar al residuo PVC de tapicería al tamaño correspondiente a fibras, ya que, realizar el trabajo de manera manual requiere una gran precisión.

#### **1.5. Objetivos**

##### **1.5.1. Objetivo General**

- Evaluar las proporciones del residuo PVC de tapicería sobre la resistencia a la compresión, flexión, asentamiento y costos en un concreto para pavimento rígido de  $280 \text{ kg/cm}^2$ .

##### **1.5.2. Objetivos Específicos**

- Determinar la variación de la resistencia a la compresión entre el concreto patrón y los adicionados a partir del residuo PVC de tapicería.
- Comparar la resistencia a la flexión de las probetas reforzadas en cuantía con fibras de residuo PVC de tapicería, con las probetas en condición de concreto patrón.
- Calcular y comparar el espesor de una carpeta de rodadura por el método AASHTO-93 de un pavimento rígido a partir de los resultados de la resistencia a la compresión y flexión (módulo de rotura) del residuo de óptima resistencia.

- Dimensionar la pérdida del grado de trabajabilidad del concreto reforzado con fibras recicladas al compararlo con el asentamiento de un concreto patrón.
- Analizar la reducción de costos en el pavimento rígido, que podría generar el uso de un concreto hidráulico  $280 \text{ kg/cm}^2$  adicionado con desechos de tapicería; empleando el software S10.
- Realizar el diseño de mezcla por el método ACI 211 de un concreto de resistencia a la compresión de  $280 \text{ kg/cm}^2$ .
- Reducir el volumen de basura que llega a diario a los botaderos, periferias y terrenos baldíos, que forman basureros clandestinos; proporcionando una forma adecuada de reutilización de estos desechos, evitando la contaminación ambiental por parte de los residuos sólidos de tapicería.

## CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO

### 2.1. Antecedentes

En un esquema general de indagaciones y eventos, ya sea relacionados directa o indirectamente con la presente investigación enfocada hacia el uso de los tipos de residuos de tapicería en la propiedades físicas y mecánicas, y costos en un concreto estructural de alta deformación, permite presentar una serie de ideas en torno al estudio, a partir de la revisión documental física y electrónica de los estudios precedentes relacionados con el tema de investigación, que fueron dados en el plano internacional, nacional y regional.

- Cadima, Rosas y Aguirre (2005); en su estudio titulado **Comportamiento de Hormigones Reforzado con y sin Fibras**, tuvieron como objetivo investigar las propiedades físico-mecánicas del concreto, reforzando a éste con fibras sintéticas (stealth y inforce), ambas de homopolímero virgen en multifilamentos con longitudes de  $\frac{1}{4}'' - \frac{3}{4}''$  en proporciones de cuantía a  $0.60 \text{ kg/m}^3$ ,  $1.00 \text{ kg/m}^3$  y  $1.80 \text{ kg/m}^3$ .

Al realizar sus ensayos, los autores constataron la influencia de las fibras en el asentamiento, ya que obtuvieron los siguientes resultados: para el concreto patrón se calculó  $8 \text{ cm}$ , mientras que de cuantía de  $0.60 \text{ kg/m}^3$  se obtuvo  $6 \text{ cm}$ , en el caso de la cuantía de  $1.00 \text{ kg/m}^3$  se obtuvo  $4.5 \text{ cm}$  y en la máxima, que fue de  $1.80$  se obtuvo  $3.5 \text{ cm}$ ; por lo tanto se comprobó que al aumentar la cuantía de refuerzo en fibras se pierde asentamiento; en este caso se perdió con la cuantía máxima, con referencia al concreto patrón, la cantidad de  $4.5 \text{ cm}$ .

En lo referente a la resistencia a la compresión, los resultados que los investigadores presentaron fueron los siguientes: se presentó una variación de  $-0.37\%$  entre el concreto patrón ( $487 \text{ kg/cm}^2$ ) y el reforzado ( $485.2 \text{ kg/cm}^2$ ) con cuantías de  $0.60 \text{ kg/m}^3$ ; en el reforzado de  $1.00 \text{ kg/m}^3$  que obtuvo una resistencia  $500.2 \text{ kg/cm}^2$  se evidenció un aumento de  $2.71\%$  respecto al patrón; y finalmente en la de  $1.80 \text{ kg/m}^3$  con resistencia de  $487.4$

$kg/cm^2$  fue casi nula la variación con un 0.08% con referencia al concreto convencional.

En lo que concierne a la resistencia a la flexión, se presentaron los siguientes resultados: al reforzar el concreto con una cuantía de  $0.60 kg/m^3$  se obtuvo ganancias de 1.06%, al hacer lo propio con  $1.00 kg/m^3$  se obtuvo ganancias de 4.78% y reforzando con una cuantía de  $1.80 kg/m^3$  se obtuvo un menor aumento respecto a la cuantía anterior, con tan sólo un 3.01 %; evidenciándose en los resultados mostrados que la mayor ganancia se obtiene con una cuantía de  $1.00 kg/m^3$ .

Finalmente, realizaron los cálculos de los espesores de losa por el método AASHTO-93, con los resultados obtenidos del concreto patrón y del concreto reforzado con  $1.0 kg/m^3$  de fibra. Al comparar los espesores calculados, se obtuvo una diferencia de espesor de la losa en  $1.5 cm$ . Esta reducción del espesor disminuye el volumen de concreto a ser utilizado, por tanto, el costo total del concreto con fibras es menor en un 2,2 % para el concreto de  $210 kg/cm^2$  y 2,96 % para el concreto de  $280 kg/cm^2$ , con respecto a concretos patrones.

La investigación a la que se hace referencia aporta datos del desempeño del concreto reforzado con fibra, correspondiente a sus propiedades físicas y mecánicas; y también a la posterior evaluación el diseño de un pavimento rígido con los resultados obtenidos, considerando los volúmenes de concreto y la reducción de costos que conlleva la mejora de las propiedades mecánicas; siendo esto fundamental para entablar la investigación que se propone en esta tesis.

- Torres (2014), en el trabajo titulado “**Valoración de propiedades mecánicas y de durabilidad de concreto adicionado con residuos de llantas de caucho**”. El propósito de este estudio fue diseñar, elaborar y someter a ensayos los especímenes elaborados con cuatro mezclas de concreto, tres de las cuales serán modificadas con diferentes porcentajes de residuos de llantas, 10 %, 20% y 30 %, y la restante sin adición de residuos

comparando sus resultados. También en todas las dosis utilizó una relación agua-cemento (A/C) de 0.60.

Por consiguiente, se concluyó que en general las propiedades mecánicas y de durabilidad se vieron afectadas por el uso de caucho como reemplazo parcial de arena, presentando un comportamiento generalizado de reducción de valores frente a los presentados por la muestra sin sustitución de caucho. Los concretos con mayores pérdidas en la resistencia a la compresión son los que contienen altos porcentajes de sustitución de arena por caucho. Ya que en la resistencia a la compresión del concreto patrón fue de  $204 \text{ kg/cm}^2$  y con el 10 % y 20 % de adición caucho presentaron resultados similares a largo plazo con resultados de  $154 \text{ kg/cm}^2$  y  $165 \text{ kg/cm}^2$ .

El módulo de elasticidad del concreto se ve levemente reducido por la incorporación de residuo de caucho con 10 % y 20 % con valores de  $192,000 \text{ kg/cm}^2$  y  $219,000 \text{ kg/cm}^2$ ; y mucho mayor con adición de un 30 % con  $133,000 \text{ kg/cm}^2$  permitiendo menores deformaciones; a nivel general el módulo de elasticidad se ve reducido con respecto a la muestra de un 0 % ( $195,000 \text{ kg/cm}^2$ ) de adición de caucho, debido a que los agregados provenientes de este material tienen una rigidez claramente inferior.

Se considera importante lo desarrollado para la investigación propuesta, ya que aporta a la investigación que se pretende realizar, haciendo referencia a la influencia de un material reciclado con el caucho en la resistencia a la compresión del concreto; sabiendo que se evaluará aquella resistencia y se tomará aquel dato para obtener el módulo que elasticidad de manera indirecta, teniendo en cuenta, que en el antecedente se realiza de manera directa.

- Peñaloza, (2015), en su tesis de título “**Comportamiento mecánico de una mezcla para concreto reciclado usando neumáticos triturados como reemplazo del 10% y 30% del volumen del agregado fino para un concreto con fines de uso estructural**”. Donde el objetivo principal de la investigación fue: Analizar el comportamiento del uso de grano de caucho reciclado (GCR) como agregado fino dentro de una mezcla para concreto,

con sustitución del 10% y el 30% del volumen de arena y determinar si satisface o no, los parámetros de resistencia establecidos por la normatividad, para proponer su uso como agregado de reemplazo en el diseño de mezclas para concreto estructural.

Finalmente, en base al desarrollo de este trabajo, se concluye específicamente, que la mezcla de concreto que busca la sustitución del 10% de agregado fino con GCR, logra alcanzar la resistencia de diseño a la edad de 28 días de  $233.7 \text{ kg/cm}^2$ , mientras que la de concreto convencional obtuvo  $236.3 \text{ kg/cm}^2$ ; de acuerdo a estos resultados encontrados, se pudo concluir que la resistencia a la compresión está por debajo del 3% para esa edad.

Por otro lado, en lo referente al módulo de elasticidad, se obtuvo que, a la edad de 28 días, en el concreto convencional mostró un valor de 228, 470  $\text{kg/cm}^2$ , mientras que el concreto a adicionado del 10% de CGR (grano de caucho reciclado) obtuvo 227,186  $\text{kg/cm}^2$ ; por lo tanto, de evidenció un declive mínimo de un 0.5% en cuanto a esta propiedad.

Se muestra importante para la investigación aquel antecedente expuesto, ya que estudia la influencia del porcentaje de grano e caucho reciclado a manera de adicción en la resistencia a la compresión y módulo de elasticidad del concreto, mostrando sus efectos de perdida de resistencia a cuando se le adiciona el caucho en un 10%, considerando que aquellas variables que también se estudiarán en la investigación serán parte del diseño de un pavimento rígido, son útiles los datos encontrados.

- Hernández (2011), en su tesis titulada **Estudio comparativo de la resistencia a la compresión en mezclas de concreto elaboradas con materiales de reciclaje: plástico y llantas**. Cuyo objetivo fue determinar las características mecánicas a compresión que adquiere el concreto, al adicionarle materiales de reciclaje, utilizando plástico y caucho de llantas, cada uno al 10% respecto al volumen del concreto. Asimismo, observar los cambios en el trabajo, factor que, de alguna manera, podría condicionar el uso de dichas mezclas.

Al realizar los ensayos se obtuvo que a los 28 días se consiguió una resistencia a la compresión del concreto patrón ( $201.12 \text{ kg/cm}^2$ ), concreto con material de llanta ( $136.31 \text{ kg/cm}^2$ ) y finalmente al concreto con plástico PET ( $119.74 \text{ kg/cm}^2$ ). Por ello se concluyó que, en cuanto a la evolución de la resistencia a través del tiempo, se pudo observar una disminución del 32.2% respecto al patrón del concreto con material de llanta (10% respecto al volumen de concreto), y en lo correspondiente al concreto que se le agregó plástico PET (10% respecto al volumen) se evidenció una pérdida de un 59.5 % con relación al patrón, en el lapso de los 28 días de edad.

La investigación del autor resulta útil, con referencia a la tesis que se pretende realizar, ya que nos explica la pérdida de la resistencia a la compresión en el concreto cuando se adiciona caucho y plástico de botella, resaltando muestra menores pérdidas cuando se trabaja con caucho. Quedando demostrado que no es recomendable utilizar estos materiales a manera de adición.

- Martínez y Cote (2014); en su artículo de investigación científica titulado **Diseño y Fabricación de Ladrillo Reutilizando Materiales a Base de PET** donde se tuvo como objetivo diseñar y fabricar un ladrillo a base de cemento y escamas de PET (tereftalato de polietileno); para tal fin se estudiaron varias composiciones con diferentes pruebas de resistencia y compresión usando una máquina de tracción PCE-MTS500. Utilizando entre los materiales: botellas de PET levadas a la máquina trituradora, obteniendo forma final de escamas (no se indica el tamaño); Cemento gris (no se indican más datos); agua potable; Moldes de madera de  $23 \times 10 \times 4$  (cm).

Al realizar todos los ensayos, los autores expresaron que los ladrillos que contienen más cemento tienen una mayor resistencia; pero realizando la comparación de los resultados del ladrillo macizo, el ladrillo "N° 15" y los resultados de la muestra "M5" (50 % cemento y 50 % PET), este último tiene una mayor resistencia con un valor de  $126.6 \text{ kg/cm}^2$ , resultado que supera los ladrillos comúnmente utilizados en la construcción, ya que los puestos a prueba obtuvieron un valor promedio de  $103.2 \text{ kg/cm}^2$ .

En el análisis de costos los investigadores expusieron que debido a que la mezcla N° 5 muestra tener las mejores características, se contemplan los costos en los cuales se incurriría en la fabricación del espécimen; para realizar este cálculo es necesario asumir el costo del PET al valor que actualmente se encuentra en el mercado el kg se vende en \$0.50. Así que el valor unitario de ladrillo será de aproximadamente \$0.19, por lo cual se propone que esta mezcla sea la adecuada para remplazar el material utilizado actualmente en la construcción.

Resulta relevante el antecedente presentado, ya que en la investigación que se pretende realizar, contempla la resistencia a la compresión de especímenes con materiales reciclados y la evaluación de los costos; variables que evaluadas en el informe revisado.

- La ficha técnica **Sika® Fiber Force PP/PE-700/55**, detalla las características del producto mencionado como una fibra macro sintética de alta densidad, diseñada y usada para el refuerzo secundario de concreto, es fabricada a partir de polipropileno virgen y polímeros de alto desempeño y deformadas mecánicamente, de cuerpo circular para maximizar el anclaje en el concreto y evitar la pérdida excesiva cuando se proyecta (Shotcrete), altamente orientada a permitir un área de contacto de mayor superficie dentro del concreto, lo que resulta una mayor unión interfacial y eficiencia de la resistencia a la flexión.

Sika Fiber Force PP/PE- 700/55 es específicamente diseñada y fabricada en una instalación certificada bajo la norma ISO 9001:2000 para ser usada como refuerzo secundario de concreto a una tasa de adición de  $2 \text{ kg/m}^3$  -  $8 \text{ kg/m}^3$ . Cumple con la norma ASTM C 1116/C 1116 M, concreto Tipo III reforzado con fibra y con la norma europea EN- 14889-2 como clase II.

Resulta útil para la investigación que se plantea, ya que la ficha técnica mostrada, estipula valores de proporción de refuerzo de fibras para el concreto hidráulico, que se tomará se cuenta en la investigación, adoptando valores de  $3 \text{ kg/m}^3$ ,  $4 \text{ kg/m}^3$  y  $5 \text{ kg/m}^3$ .

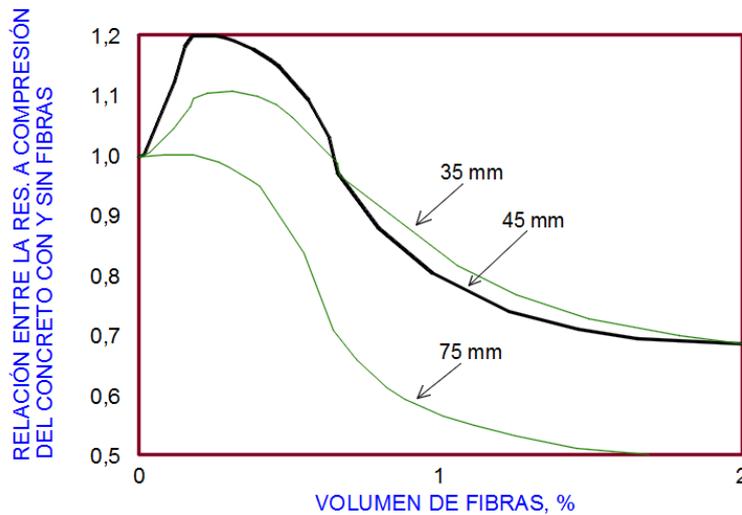
- Rivera (2010), en su libro titulado **Concreto simple**, en la sección Concreto con fibras como un hormigón ligero o normal, al cual se le han adicionado fibras que pueden ser de: acero, plástico, asbesto, vidrio, nylon, poliéster, polipropileno, polietileno, fique, caña de azúcar, coco, yute, etc. Pueden ser útil cuando sea necesario absorber una gran energía (por ejemplo, cargas explosivas) o cuando se desea mejorar la resistencia a la tensión; luego es posible mermar el refuerzo porque parte de la tensión absorbe la fibra.

En el caso de los pavimentos rígidos, se pueden utilizar espesores de losa menores para las mismas cargas e igual periodo de diseño, la separación de juntas puede ser mayor porque las fibras aumentan la resistencia a la flexión del concreto. El hormigón con fibras proporciona también un buen aislamiento acústico y térmico, buena resistencia al impacto y a la erosión. Algunas fibras, en especial las naturales de origen vegetal requieren de un tratamiento especial para ser usadas y así no perjudicar las propiedades del concreto.

Resulta relevante ya que nos da a conocer de manera teórica que a los concretos que se adicione algún tipo de fibras, ya sean naturales o sintéticas van a servir para utilizar espesores de losa menos y la separación de juntas puede ser mayor porque aumenta la resistencia a la flexión del concreto.

- Fernández (2011), en su libro titulado **Hormigón**, en la parte correspondiente a hormigones con fibras plásticas o poliméricas; indica que cuando se emplean monofilamentos de polipropileno en piezas sometidas a flexotracción la adherencia se pierde como consecuencia del alto valor del coeficiente de Poisson de la fibra, produciéndose deslizamientos y grandes deformaciones y haciendo que en ocasiones la resistencia a la tracción y la flexotracción no quede mejorada e incluso disminuya con respecto al hormigón sin fibras. Con un 0.6% de contenido de fibras puede conseguirse a 7 días un incremento de la resistencia a la flexión de un 25%. La resistencia a la compresión en general disminuye, y tanto más, cuando mayor es la dosificación de fibras y la longitud de las mismas (figura 03).

**Figura 03:** Influencia del contenido de fibras de polipropileno en la resistencia a la compresión del concreto.

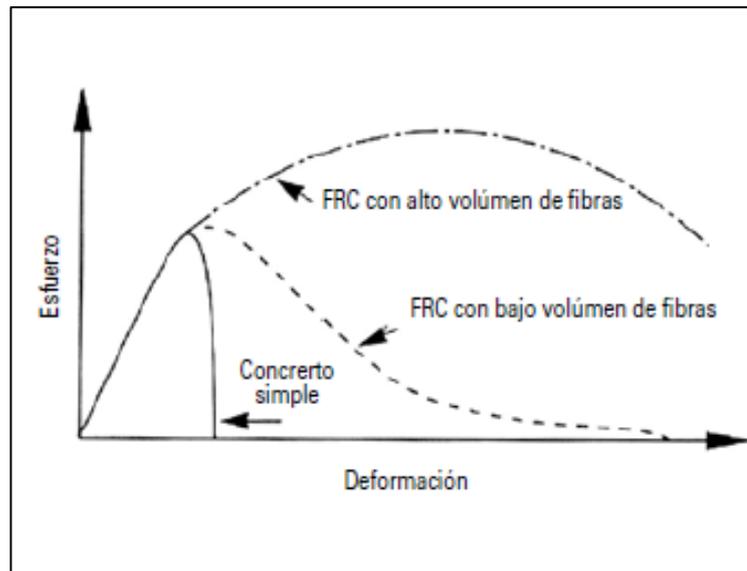


Fuente: Fernández, 2011.

Resulta importante para la investigación que se pretende realizar, ya que, mediante los datos expuestos por el autor del libro, se determinará el tamaño óptimo al que se llevará las fibras de PVC, que para el caso de la presente tesis será de 50 mm.

- Según el Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto ([IMCYC], 2007), en su publicación teórica titulada Concreto reforzado con fibras, destaca que al agregar fibras al concreto se incrementa en forma importante la tenacidad del material; es decir, el concreto reforzado con fibras es capaz de soportar cargas bajo flexiones o deformaciones mucho mayores que aquellas a las cuales aparece el primer agrietamiento en la matriz. Dicha afirmación se puede apreciar en la (figura 04).

**Figura 04:** Curvas típicas de esfuerzo-deformación para concreto reforzado con fibras.



**Fuente:** IMCYC, 2007.

Resulta útil la gráfica expuesta en el antecedente, ya que nos indica que a medida que se aumente el volumen de las fibras como refuerzo en el concreto, soportará mayores esfuerzos, siendo este punto, clave para nuestra investigación, por ello se considera para la siguiente investigación cuantías de refuerzo de  $3 \text{ kg/m}^3$ ,  $4 \text{ kg/m}^3$ ,  $5 \text{ kg/m}^3$ .

## 2.2. Bases Teóricas

### 2.2.1. El Concreto

Según Sánchez (2001) considera al concreto como una mezcla de un material aglutinante (cemento Portland Hidráulico), a su vez este debe contener un material de relleno (conocido como agregados o áridos), agua y en ciertas ocasiones si se requiera, se le puede añadirse de aditivos y/o fibras. Es material, que se mezcla de los tantos compuestos mencionados, después de un cierto tiempo es capaz de resistir grandes esfuerzos a compresión.

La importancia de este material radica cuando llega a su endurecimiento óptimo, ya que nos ofrece, como las piedras naturales una resistencia muy grande a la compresión; siendo su Talón de Aquiles es cuando es expuesto a esfuerzos de tracción generalmente 10% de la resistencia a la compresión); por otro lado, el

uso de este material es inadecuado para elementos estructurales que serán sometidos a esfuerzos de tracción o flexiones. Usualmente esos esfuerzos son controlados con el uso de acero, en zonas donde es el elemento es sometido a tracción (Sánchez, 2001).

Entonces se puede asegurar que el concreto reforzado varillas longitudinales de acero, como una piedra artificial, que puede resistir esfuerzos de compresión, tracción y flexión. Por todo lo anteriormente mencionado, se realizan constantes estudios de las propiedades y características con el objetivo de obtener un diseño de mezcla adecuado, para así obtener sus dosificaciones para el uso al cual se desea emplear (Sánchez, 2001).

También la importancia de este material radica en el tema económico, ya que esta la fecha no se ha podido conseguir fabricar un material más barato, versátil, que pueda adaptarse a cualquier geometría, y con las características de resistencia similares a las de una piedra natural (Sánchez, 2001) .

#### **2.2.1.1. Concreto Estructural**

Según el reglamento nacional de edificaciones, en la norma correspondiente a estructuras (RNE E.060, 2009) el concreto estructural es todo concreto utilizado con propósitos estructurales incluyendo al concreto simple y al concreto reforzado.

##### **2.2.1.1.1 Generalidades**

La (RNE E.060, 2009) establece que el concreto debe dosificarse para que proporcione una resistencia promedio a la compresión ( $f'_{cr}$ ), y debe satisfacer los criterios de durabilidad.

El concreto debe producirse de manera que se minimice la frecuencia de resultados de resistencia inferiores a  $f_c$  (RNE E.060, 2009).

Los requisitos para  $f_c$  deben basarse en ensayos de probetas cilíndricas, confeccionadas y ensayadas; a menos que se especifique lo contrario,  $f_c$  debe basarse en los resultados de ensayos realizados a los 28 días. Si se requieren resultados a otra edad, ésta debe indicarse en los planos y especificaciones del proyecto (RNE E.060, 2009).

### **2.2.1.1.2 Resistencia del Concreto Estructural**

La norma (NTE E.060, 2009) expresa que para el concreto estructural, su  $f_c$  no debe ser inferior a  $170 \text{ kg/cm}^2$ , salvo para concreto estructural simple. No se establece un valor máximo para  $f_c$ . No se establece un valor máximo para  $f_c$  salvo que se encuentre restringido por alguna disposición específica de esta norma.

Esta propiedad es indispensable para el diseño de estructuras, ya que gracias ella podemos saber en qué forma reaccionaría el concreto cuando es sometido a esfuerzos, y más aún es tener una idea empírica en cuanto a su límite de soporte de esfuerzos (NTE E.060, 2009).

### **2.2.1.1.3 Concreto Estructural Simple**

En lo que corresponde a este tipo de concreto estructural, la norma NTE E.060 (2009) indica que a resistencia especificada del concreto simple para ser usado con fines estructurales medida a los 28 días no debe ser menor de  $140 \text{ kg/cm}^2$ .

Todos los materiales que se empleen para la fabricación del concreto simple (cemento, agregados, agua, aditivos, etc.) deberán cumplir los mismos requisitos que para concreto armado. Esta exigencia también será aplicable a la dosificación, ensayo de probetas cilíndricas, encofrados, colocación, curado, evaluación y aceptación del concreto.

Como indica la NTE E.060 (2009) deben aplicarse al diseño de elementos de concreto estructural simple, es decir aquellos sin armadura de refuerzo o con menos refuerzo que el mínimo especificado para concreto reforzado.

El uso del concreto simple estructural debe limitarse a (a), (b) o (c):

(a) Elementos que están apoyados de manera continua sobre el suelo o que están apoyados sobre otros elementos estructurales capaces de proporcionarles un apoyo vertical continuo.

(b) Elementos en los cuales el efecto de arco genera compresión bajo todas las condiciones de carga.

(c) Muros y pedestales. No está permitido el uso de columnas de concreto estructural simple. No está permitido el empleo de concreto simple en elementos estructurales sometidos a sollicitaciones sísmicas que hayan sido determinadas en base a la capacidad de la estructura de disipar energía.

#### **2.2.1.2. Concreto en Estado Fresco**

Se ha demostrado que el uso de fibras sintéticas de polipropileno (PP) pueden ser usados para minimizar la fisuración por contracción plástica o por secado prematuro. Realizando una mezcla de las fibras en el hormigón en las proporciones adecuadas resulta en millones de fibras dispersas uniformemente en la matriz del hormigón. Este refuerzo multidimensional supuestamente otorga al hormigón mayor capacidad de resistencia a tracción. Si se forman las fisuras por retracción, las fibras unen estas fisuras, ayudando a reducir su longitud y anchura. (Barreda, Iaini & Sota, 2000).

#### **2.2.1.3. Concreto Reforzado con Fibras**

Según la definición del Instituto Americano del Concreto (ACI,1996) citado por Lopez (2015), el concreto reforzado con fibras no es más que concreto preparado con cementos hidráulicos, conteniendo agregados finos y gruesos, agua y fibras discretas discontinuas cuya misión es contribuir a la mejora de determinadas características de los concretos.

A diferencia del concreto reforzado de forma convencional, las propiedades mecánicas tienen un carácter isótropo, que no es dependiente de la orientación y concentración del refuerzo en determinada zona (Lopez,2015)

En el caso específico de las fibras, éstas al disminuir las pequeñas grietas que siempre se producen en la matriz del concreto, generan un aumento de la resistencia a la fisuración y la ductilidad del material, así como en grado

pequeño, la resistencia a tensión. Las ventajas principales de los concretos reforzados con fibras, son su resistencia al impacto, a esfuerzos térmicos, al desgaste, al astillamiento y su elevada capacidad de absorción de energía (Sánchez, 1978) citado por (López, 2015).

#### **2.2.1.3.1 Concreto Reforzado con Fibras de Polipropileno**

Se ha demostrado que el uso de fibras sintéticas de polipropileno (PP) pueden ser usados para minimizar la fisuración por contracción plástica o por secado prematuro. Realizando una mezcla de las fibras en el hormigón en las proporciones adecuadas resulta en millones de estas dispersas uniformemente en la matriz del hormigón. Este refuerzo multidimensional supuestamente otorga al hormigón mayor capacidad de resistencia a tracción. Si se forman las fisuras por retracción, las fibras unen estas fisuras, ayudando a reducir su longitud y anchura. (Barreda, Iani & Sota, 2000)

### **2.2.2. Propiedades Físicas**

#### **2.2.2.1. Asentamiento (ASTM C 143)**

Esta propiedad física del concreto, que se mide en estado fresco, resulta ser muy importante en cuanto al tema de la trabajabilidad, teniendo en consideración parámetros como la fluidez o la capacidad de adaptarse a un molde.

Se considera a la trabajabilidad como una medida de su capacidad de ser mezclado, manipulado, transportado, y, primordialmente, colocado y consolidado con una pérdida mínima de homogeneidad y una mínima cantidad de aire atrapado (Lopez, 2015)

### **2.2.3. Propiedades Mecánicas**

#### **2.2.3.1. Tipos de Rotura**

Las fibras en el concreto influyen rotundamente en todos los tipos o modos de fallas de la propiedad mecánica del concreto, que son:

- Esfuerzos de Fatiga

Esta propiedad en el concreto es indispensable de acuerdo con el uso estructural que se le dé; específicamente en caso de pisos o losas, ya que estudia el desgaste del material antes fuerzas de rozamiento.

- Esfuerzos de Tensión

También conocido como esfuerzos o roturas por tracción; esta propiedad es de la que más carece el concreto, ya que solo soporta un 10% de su resistencia a la compresión. Ante ello sería fundamental evitar estos tipos de esfuerzos en el concreto, siendo óptimo que las adiciones de fibras puedan mejorar esta propiedad.

- Esfuerzos de impacto

Conocida como la capacidad de absorber energía, esta propiedad es la que se ve más beneficiada en la adición de fibras en el concreto, ya que, según estudios, tranquilamente duplica su resistencia en comparación a la de un concreto patrón.

- Esfuerzo de corte

Esta propiedad en el concreto tiende a ser muy aceptable, ya que varía de 35% a 85% de su resistencia a la compresión; al aplicar un 1% de fibras en volumen de las fibras, los aumentos en su resistencia varían de pequeños valores hasta un 30% respecto al concreto patrón.

### 2.2.3.2. Resistencia a la Compresión (ASTM C39)

Según (NRMCA, 2006) la resistencia a la compresión del concreto es la medida más común de desempeño que emplean los ingenieros para diseñar edificios y otras estructuras. La resistencia a la compresión se mide fracturando probetas cilíndricas de concreto en una máquina de ensayos de compresión. La resistencia a la compresión se calcula a partir de la carga de ruptura dividida por el área de la sección que resiste a la carga y se reporta en unidades de libra-fuerza por pulgada cuadrada (*psi*) en unidades corrientes utilizadas en EE. UU. o en mega pascales (*MPa*) en unidades SI. Los requerimientos para la resistencia a la compresión pueden variar desde 2.500 *psi* (170 *kg/cm<sup>2</sup>*) para concreto residencial hasta 4.000 *psi* (280 *kg/cm<sup>2</sup>*) y más para estructuras comerciales. En

determinadas aplicaciones se especifican resistencias superiores hasta de 10.000 *psi* (700 *kg/cm<sup>2</sup>*) y más.

### **2.2.3.3. Resistencia a la Flexión (ASTM C78)**

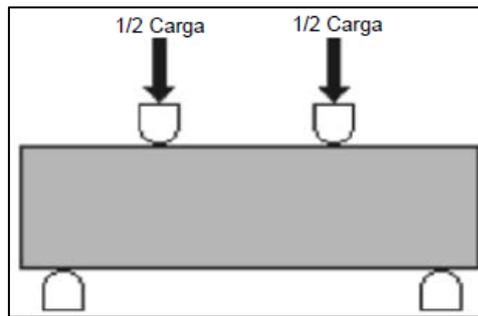
Esta propiedad del concreto es fundamental en el diseño de los pavimentos rígidos; junto con el módulo de elasticidad son propiedades primordiales a exigir en un concreto para este tipo de diseño, ya que al carecer de estos requerimientos mecánicos generará el aumento de los espesores y por consiguiente se requerirá mayor cantidad de concreto, por ello es fundamental obtener un material con estas propiedades estables o mejoradas, para así las secciones de concreto sean lo más cortas posibles.

Según lo que expresa la National Ready Mixed Concrete Association (NRMCA, 2006) esta propiedad mecánica es conocida como la resistencia a la flexión, siendo ésta la medición de la resistencia a la tracción del concreto. Esta es una medida de resistencia a la falla por momento de una viga o losa de concreto no reforzada. Se mide mediante la aplicación de carga a vigas de concreto de 15 x15 (cm) de sección transversal y con luz de como mínimo tres veces el espesor. Esta resistencia se expresa como Módulo de Rotura (MR) en kilogramos por centímetro cuadrado y esta es determinado mediante los métodos presentados a continuación.

#### **2.2.3.3.1 Cargas en los Puntos Tercios**

Este ensayo es requerido para el módulo de rotura en diseño de pavimentos rígidos, en este procedimiento la mitad de la carga es aplicada a un tercio de la longitud de la viga, en este caso el Módulo de Rotura es más bajo al del ensayo de la carga media.

**Figura 05:** Ensayos de cargas en los puntos tercios.



Fuente: NRMCA

#### 2.2.3.4. Rigidez

Según el sitio (Ingeniero Civil, 2011) expone que el módulo de elasticidad, definido por la ecuación elasticidad es igual a esfuerzo sobre deformación, es una medida de la rigidez, o sea la resistencia del hormigón a la deformación. El hormigón no es un material verdaderamente elástico, pero el hormigón que ha endurecido por completo y se ha cargado en forma moderada tiene una curva de esfuerzo de compresión- deformación que, en esencia, es una recta dentro del rango de los esfuerzos usuales de trabajo.

#### 2.2.4. Pavimento Rígido

Según el Manual de Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos (MSGGP, 2013) establece que los pavimentos llamados rígidos, son nombrados con aquel apelativo debido la capa de rodadura es de una losa de concreto.

Debido a su naturaleza, la capa de concreto absorbe casi el total de los esfuerzos producidos por la cargas de tránsito; dando menos intensidad de absorción de cargas a la capa base y la subrasante (MSGGP, 2013).

Según lo estipula el presente manual citado, en nuestra realidad existen tres tipos de pavimentos rígidos:

- Pavimentos de concreto simple con juntas
- Pavimentos de concreto reforzado con juntas
- Pavimentos de concreto continuamente reforzados

### 2.2.5. Diseño de Pavimentos

La metodología de diseño está basada en la AASHTO 93, estimando ésta, que con el transcurrir del tiempo y las repeticiones de carga de tránsito, el nivel de servicio baja. El método estipula un servicio final, que se mantiene al terminar el periodo de diseño (MSGGP,2013).

El método consiste en un proceso iterativo, donde se tantean espesores de losa "D" hasta llegar al equilibrio de la ecuación AASHTO 93.

$$\text{Log}_{10}W_{82} = Z_R S_0 + 7.35 \text{Log}_{10}(D + 25.4) - 10.39 + \frac{\text{Log}_{10}\left(\frac{\Delta PSI}{4.5 - 1.5}\right)}{1 + \frac{1.25 \times 10^{19}}{(D + 25.4)^{8.46}}} + (4.22 + 0.32 P_t) \times \text{Log}_{10} \left( \frac{M_r C_d (0.09 D^{0.75} - 1.132)}{1.51 \times J \left( 0.09 D^{0.75} - \frac{7.38}{(E_c / k)^{0.25}} \right)} \right)$$

000

Donde:

$W_{8.2}$  = número previsto de ejes equivalentes de 8.2 toneladas métricas.

$Z_R$  = desviación normal estándar

$S_0$  = error estándar combinado en la predicción del tránsito y en la variación del comportamiento esperado del pavimento

$D$  = espesor de pavimento de concreto, en milímetros

$\Delta PSI$  = diferencia entre los índices de servicio inicial y final

$P_t$  = índice de serviciabilidad o servicio final

$M_r$  = resistencia media del concreto (en Mpa) a flexo tracción a los 28 días (método de carga en los tercios de luz)

$C_d$  = coeficiente de drenaje

$J$  = coeficiente de transmisión de carga en las juntas

$E_c$  = módulo de elasticidad del concreto, en Mpa

$K$  = módulo de reacción, dado en Mpa/m de la superficie (base, subbase o subrasante) en la que se apoya el pavimento de concreto.

### 2.2.5.1. Parámetros de Diseño

El (MSGGP,2013), establece los siguientes parámetros:

#### Diseño de Pavimentos

El mínimo de tiempo considera para el diseño de un Pavimento Rígido, según el (MSGGP,2013) es de 20 años.

#### El tránsito (ESALs)

El tránsito, según lo que define el MSGGP (2013):

El periodo está ligado a la cantidad de tránsito asociada en ese periodo para el carril de diseño. El periodo de diseño mínimo recomendado es de 20 años. Una característica propia del método AASHTO 93 es la simplificación del efecto del tránsito introduciendo el concepto de ejes equivalentes. Es decir, transforma las cargas de ejes de todo tipo de vehículo en ejes simples equivalentes de 8.2 Ton de peso, comúnmente llamados ESALs (equivalent single axle load, por sus siglas en inglés). (p.262).

También el MSGGP considera que, en el tráfico y diseño de Pavimentos Rígidos, tres categorías:

- Caminos de Caminos de bajo volumen de tránsito, de 150,001 hasta 1'000,000 EE, en el carril y periodo de diseño.

**Tabla 01:** Repeticiones Acumuladas de Ejes Equivalentes de 8.2t (bajo).

TIPOS TRÁFICO PESADO EXPRESADO EN EE	RANGOS DE TRÁFICO PESADO EXPRESADO EN EE
T <sub>P1</sub>	> 150,000 EE ≤ 300,000 EE
T <sub>P2</sub>	> 300,000 EE ≤ 500,000 EE
T <sub>P3</sub>	> 500,000 EE ≤ 750,000 EE
T <sub>P4</sub>	> 750,000 EE ≤ 1'000,000 EE

Fuente: MSGGP.

- Caminos que tienen un tránsito, de 1'000,001 EE hasta 30'000,000 EE, en el carril y periodo de diseño.

**Tabla 02:** Repeticiones Acumuladas de Ejes Equivalentes de 8.2t (medio).

TIPOS TRÁFICO PESADO EXPRESADO EN EE	RANGOS DE TRÁFICO PESADO EXPRESADO EN EE
T <sub>P5</sub>	> 1'000,000 EE ≤ 1'500,000 EE
T <sub>P6</sub>	> 1'500,000 EE ≤ 3'000,000 EE
T <sub>P7</sub>	> 3'000,000 EE ≤ 5'000,000 EE
T <sub>P8</sub>	> 5'000,000 EE ≤ 7'500,000 EE
T <sub>P9</sub>	> 7'500,000 EE ≤ 10'000,000 EE
T <sub>P10</sub>	> 10'000,000 EE ≤ 12'500,000 EE
T <sub>P11</sub>	> 12'500,000 EE ≤ 15'000,000 EE
T <sub>P12</sub>	> 15'000,000 EE ≤ 20'000,000 EE
T <sub>P13</sub>	> 20'000,000 EE ≤ 25'000,000 EE
T <sub>P14</sub>	> 25'000,000 EE ≤ 30'000,000 EE

**Fuente:** MSGGP

- Caminos que tienen un tránsito mayor a 30'000,000 EE, en el carril y periodo de diseño. Esta categoría de caminos no está incluida en el presente manual, el diseño de pavimentos será materia de Estudio Especial por el Ingeniero Proyectista, analizando diversas alternativas de pavimento equivalentes y justificando la solución adoptada.

**Tabla 03:** Repeticiones Acumuladas de Ejes Equivalentes de 8.2t (alto).

TIPOS TRÁFICO PESADO EXPRESADO EN EE	RANGOS DE TRÁFICO PESADO EXPRESADO EN EE
T <sub>P15</sub>	> 30'000,000 EE

**Fuente:** MSGGP

## Serviciabilidad

La sensibilidad, según lo que define el MSGGP (2013):

Este parámetro sintetiza el criterio de diseño AASHTO: Servicio, o serviciabilidad. AASHTO 93 caracteriza el servicio con dos parámetros: índice de servicio inicial (Pi) e índice de servicio final o Terminal (Pt). En la ecuación se ingresa la diferencia entre los valores de serviciabilidad inicial y final, determinándose una variación o diferencial entre ambos índices ( $\Delta$  PSI). La serviciabilidad se define como la capacidad del pavimento de servir al tránsito que circula por la vía, y se magnifica en una escala de 0 a 5, donde 0 significa una calificación de intransitable y 5 una calificación de excelente que es un valor ideal que en la práctica no se da. El valor de 0 es un indicador muy pesimista, pues AASHTO 93 emplea el valor de 1.5 como índice de serviciabilidad terminal del pavimento. El valor  $\Delta$  PSI depende de la calidad de la construcción. En el AASHO Road Test se alcanzó el valor de Pi = 4.5 para el caso de pavimentos de concreto. Los valores recomendados en este Manual son los siguientes (p.264).

**Tabla 04:** Índice de Serviabilidad Según Rango de Tráfico

TIPO DE CAMINOS	TRARCO	EJES EQUIVALENTES ACUMULADOS		INDICE DE SERVICIABILIDAD INICIAL (Pi)	INDICE DE SERVICIABILIDAD FINAL O TERMINAL (Pt)	DIFERENCIAL DE SERVICIABILIDAD ( $\Delta$ PSI)
Caminos de Bajo Volumen de Tránsito	T <sub>P1</sub>	150,001	300,000	4.10	2.00	2.10
	T <sub>P2</sub>	300,001	500,000	4.10	2.00	2.10
	T <sub>P3</sub>	500,001	750,000	4.10	2.00	2.10
	T <sub>P4</sub>	750,001	1,000,000	4.10	2.00	2.10
Resto de Caminos	T <sub>P5</sub>	1,000,001	1,500,000	4.30	2.50	1.80
	T <sub>P6</sub>	1,500,001	3,000,000	4.30	2.50	1.80
	T <sub>P7</sub>	3,000,001	5,000,000	4.30	2.50	1.80
	T <sub>P8</sub>	5,000,001	7,500,000	4.30	2.50	1.80
	T <sub>P9</sub>	7,500,001	10'000,000	4.30	2.50	1.80
	T <sub>P10</sub>	10'000,001	12'500,000	4.30	2.50	1.80
	T <sub>P11</sub>	12'500,001	15'000,000	4.30	2.50	1.80
	T <sub>P12</sub>	15'000,001	20'000,000	4.50	3.00	1.50
	T <sub>P13</sub>	20'000,001	25'000,000	4.50	3.00	1.50
	T <sub>P14</sub>	25'000,001	30'000,000	4.50	3.00	1.50
	T <sub>P15</sub>	>30'000,000		4.50	3.00	1.50

Fuente: MSGGP

### La confiabilidad “R” y la desviación estándar (So)

La confiabilidad y la desviación estándar, según lo que define el MSGGP (2013):

El concepto de confiabilidad ha sido incorporado con el propósito de cuantificar la variabilidad propia de los materiales, procesos constructivos y de supervisión que hacen que pavimentos construidos de la “misma forma” presenten comportamientos de deterioro diferentes. La confiabilidad es en cierta manera un factor de seguridad, que equivale a incrementar en una proporción el tránsito previsto a lo largo del periodo de diseño, siguiendo conceptos estadísticos que consideran una distribución normal de las variables involucradas. El rango típico sugerido por AASHTO está comprendido entre  $0.30 < So < 0.40$ , en el presente Manual se recomienda un  $So = 0.35$ . (p.266).

**Tabla 05:** Valores recomendados de Nivel de Confiabilidad (R) y Desviación Estándar Normal (Zr) Para una sola etapa de 20 años según rango de Tráfico

TIPO DE CAMINOS	TRAFICO	EJES EQUIVALENTES ACUMULADOS		NIVEL DE CONFIABILIDAD (R)	DESVIACIÓN ESTÁNDAR NORMAL (Zr)
Caminos de Bajo Volumen de Tránsito	T <sub>P0</sub>	100,000	150,000	65%	-0.385
	T <sub>P1</sub>	150,001	300,000	70%	-0.524
	T <sub>P2</sub>	300,001	500,000	75%	-0.674
	T <sub>P3</sub>	500,001	750,000	80%	-0.842
	T <sub>P4</sub>	750 001	1,000,000	80%	-0.842
Resto de Caminos	T <sub>P5</sub>	1,000,001	1,500,000	85%	-1.036
	T <sub>P6</sub>	1,500,001	3,000,000	85%	-1.036
	T <sub>P7</sub>	3,000,001	5,000,000	85%	-1.036
	T <sub>P8</sub>	5,000,001	7,500,000	90%	-1.282
	T <sub>P9</sub>	7,500,001	10'000,000	90%	-1.282
	T <sub>P10</sub>	10'000,001	12'500,000	90%	-1.282
	T <sub>P11</sub>	12'500,001	15'000,000	90%	-1.282
	T <sub>P12</sub>	15'000,001	20'000,000	90%	-1.282
	T <sub>P13</sub>	20'000,001	25'000,000	90%	-1.282
	T <sub>P14</sub>	25'000,001	30'000,000	90%	-1.282
	T <sub>P15</sub>	>30'000,000		95%	-1.645

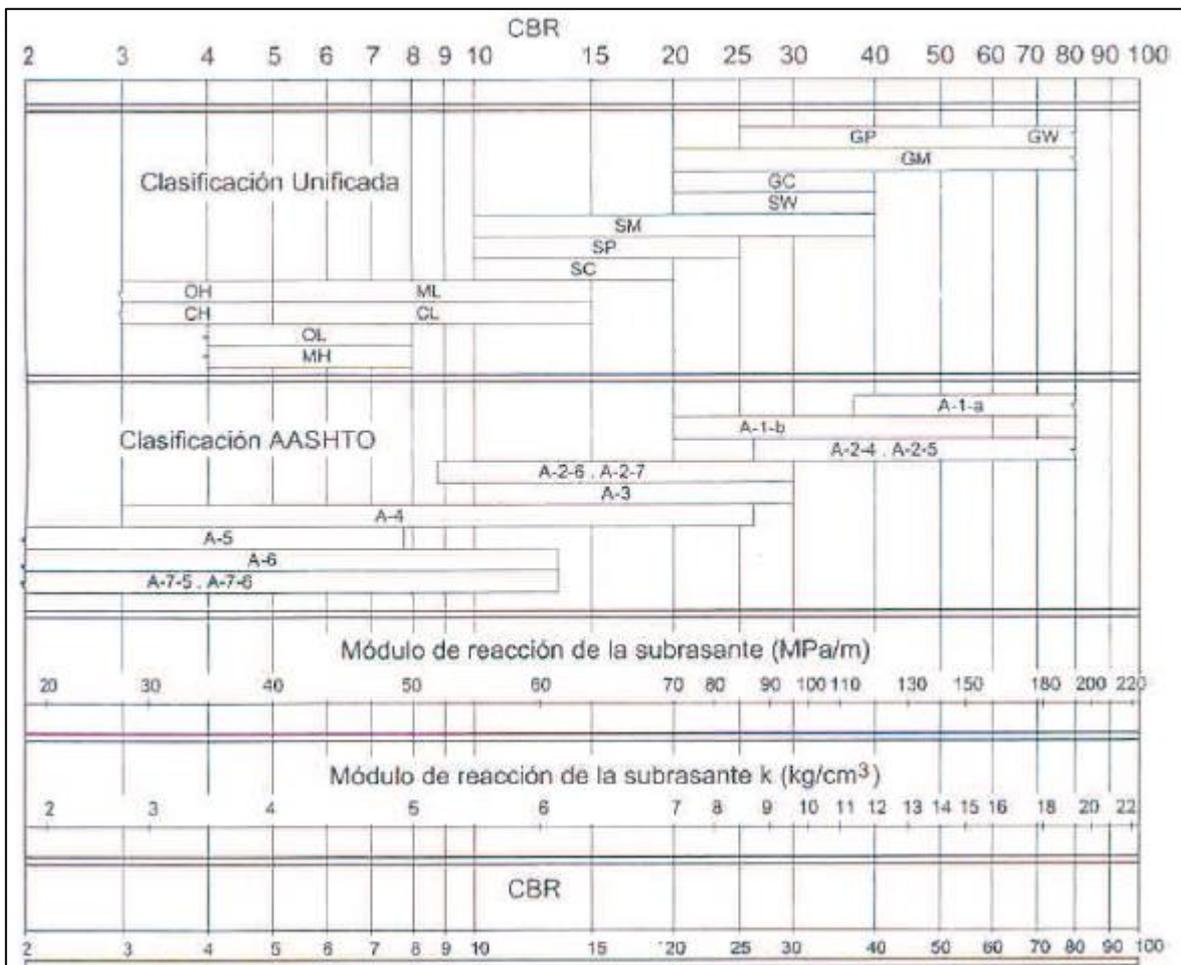
Fuente: MSGGP

## El suelo y el efecto de las capas de apoyo (Kc)

El suelo y el efecto de las capas de apoyo, según lo que define el MSGGP (2013):

El parámetro que caracteriza al tipo de subrasante es el módulo de reacción de la subrasante (K). Adicionalmente se contempla una mejora en el nivel de soporte de la subrasante con la colocación de capas intermedias granulares o tratadas, efecto que mejora las condiciones de apoyo y puede llegar a reducir el espesor calculado de concreto. Esta mejora se introduce con el módulo de reacción combinado (Kc). El ensayo para determinar el módulo de reacción de la subrasante, llamado también ensayo de placa, tiene por objetivo determinar la presión que se debe ejercer para lograr una cierta deformación, que para este caso es de 13 mm. El ensayo está normado en ASTM D – 1196 y AASHTO T – 222. Las unidades de K son Mpa / m. (p.267).

**Figura 06:** Correlación CBR y Módulo de Reacción de la Subrasante



**Fuente:** MSGGP

## Resistencia a la flexotracción del concreto (MR)

La Resistencia a la flexotracción del concreto, según lo que define el MSGGP (2013):

Debido a que los pavimentos de concreto trabajan principalmente a flexión es que se introduce este parámetro en la ecuación AASHTO 93. El módulo de rotura (MR) esta normalizado por ASTM C – 78. En el ensayo el concreto es muestreado en vigas. A los 28 días las vigas deberán ser ensayadas aplicando cargas en los tercios, y forzando la falla en el tercio central de la viga. (p.268).

**Tabla 06:** Valores Recomendados de Resistencia del Concreto

RANGOS DE TRÁFICO PESADO EXPRESADO EN EE	RESISTENCIA MÍNIMA A LA FLEJOTrACCIÓN DEL CONCRETO (MR)	RESISTENCIA MÍNIMA EQUIVALENTE A LA COMPRESIÓN DEL CONCRETO (F'c)
≤ 5'000,000 EE	40 kg/cm <sup>2</sup>	280 kg/cm <sup>2</sup>
> 5'000,000 EE ≤ 15'000,000 EE	42 kg/cm <sup>2</sup>	300 kg/cm <sup>2</sup>
> 15'000,000 EE	45 kg/cm <sup>2</sup>	350 kg/cm <sup>2</sup>

**Fuente:** MSGGP

## Módulo elástico del concreto

El Módulo elástico del concreto, según lo que define el MSGGP (2013):

El módulo de elasticidad del concreto es un parámetro particularmente importante para el dimensionamiento de estructuras de concreto armado. La predicción del mismo se puede efectuar a partir de la resistencia a compresión o flexotracción, a través de correlaciones establecidas. En el caso de concretos de alto desempeño, resistencia a compresión superior a 40 Mpa, la estimación utilizando las fórmulas propuestas por distintos códigos puede ser incierta puesto que existen variables que no han sido contempladas, lo que las hace objeto de continuo estudio y ajuste. AASHTO'93 indica que el módulo elástico puede ser estimado usando una correlación, precisando la correlación recomendada por el ACI: (p.269).

$$E = 57,000 \times [(f'c)^{0.5}] \quad (f'c \text{ en PSI})$$

### **Drenaje (Cd)**

El Coeficiente de Drenaje elástico, según lo que define el MSGGP (2013):

La presencia de agua o humedad en la estructura del pavimento trae consigo los siguientes problemas:

- Erosión del suelo por migración de partículas
- Ablandamiento de la subrasante por saturación prolongada, especialmente en situaciones de congelamiento
- Degradación del material de la carpeta de rodadura por humedad
- Deformación y fisuración creciente por pérdida de capacidad estructural

La metodología de diseño AASHTO 93 incorpora el coeficiente de drenaje (Cd) para considerarlo en el diseño. Las condiciones de drenaje representan la probabilidad de que la estructura bajo la losa de concreto mantenga agua libre o humedad por un cierto tiempo. En general el nivel de drenaje de las capas intermedias depende de los tipos de drenaje diseñados, el tipo y permeabilidad de las capas de subbase, tipo de subrasante, condiciones climáticas, grado de precipitaciones, entre otras. El coeficiente de drenaje Cd varía entre 0.70 y 1.25, según las condiciones antes mencionadas. Un Cd alto implica un buen drenaje y esto favorece a la estructura, reduciendo el espesor de concreto a calcular. Para la definición de las secciones de estructuras de pavimento del presente Manual, el coeficiente de drenaje para las capas granulares asumido, fue de 1.00. (p.269-270).

### **Transferencia de cargas (J)**

La Transferencia de cargas (J), según lo que define el MSGGP (2013):

Es un parámetro empleado para el diseño de pavimentos de concreto que expresa la capacidad de la estructura como transmisora de cargas entre juntas y fisuras. Sus valores dependen del tipo de pavimento de concreto a construir, la existencia o no de berma lateral y su tipo, la existencia o no de dispositivos de transmisión de cargas. El valor de J es directamente proporcional al valor final del espesor de losa de concreto. Es decir, a menor valor de J, menor espesor de concreto (p.271).

**Tabla 07:** Valores de Coeficiente de Transmisión de Carga J

TIPO DE BERMA	J			
	GRANULAR O ASFÁLTICA		CONCRETO HIDRÁULICO	
VALORES J	SI (con pasadores)	NO (con pasadores)	SI (con pasadores)	NO (con pasadores)
	3.2	3.8 – 4.4	2.8	3.8

· Fuente: MSGGP

### 2.3. Definición de términos básicos

#### Concreto

Es un material de construcción compuesto por materiales inertes y cemento, caracterizado por ser éste del tipo frágil y soportar grandes cargas.

#### Propiedades físicas del concreto

Usualmente se le conoce como las propiedades que presenta el concreto en estado fresco, siendo altamente reconocibles como la trabajabilidad, consistencia y homogeneidad

#### Propiedades mecánicas del concreto

Es conocido como la resistencia que el concreto muestra en estado endurecido cuando es sometido a la acción de fuerzas externas. Entre las principales figuran: la resistencia a la compresión, resistencia a la tracción, rigidez, impacto, etc.

#### Resistencia

Es considerada la cuantificación de la capacidad que tiene el concreto de soportar cargas y/esfuerzos.

#### Trabajabilidad

Es definida como la mezcla de concreto puede mezclarse, transportarse y ser moldeada en cualquier volumen sin perder su homogeneidad.

#### Fibras para el concreto

Son pequeñas partículas de alta tenacidad que puede mezclarse con el concreto en forma de una matriz, que sirve de refuerzo en todas sus dimensiones.

#### Macrofibras

Las macrofibras más usadas son las sintéticas y las metálicas cuyos diámetros varían entre 0.05 mm a 2.00 mm. La relación de aspecto (L/d) de las macrofibras varía entre 20 a 100. Para efecto de este estudio, la relación (L/d) es de 25 (L=50 mm; d=2 mm).

### **Microfibras**

previenen la fisuración del concreto por retracción plástica. Estas fibras tienen diámetros entre 0.023 *mm* a 0.050 *mm*, pueden ser monofilamento o fibriladas.

## **CAPÍTULO 3. HIPÓTESIS**

### **3.1. Formulación de la hipótesis**

La aplicación de las proporciones de fibra a base de residuo PVC de tapicería en un concreto para pavimentos rígidos mejorará su resistencia la compresión, aumentará la resistencia a la flexión, perderá asentamiento, disminuirán los costos y se mitigarán impactos ambientales.

- La aplicación de residuo PVC a 3 *kg/m<sup>3</sup>* de concreto, aumentará levemente la resistencia a la flexión, mejorará la resistencia a la compresión, perderá poco asentamiento, reducirá levente los costos y se mitigarán impactos ambientales.
- La aplicación de residuo PVC a 4 *kg/m<sup>3</sup>* de concreto, aumentará regularmente la resistencia a la flexión, mejorará la resistencia a la compresión, perderá regularmente asentamiento, disminuirán los costos y se mitigarán impactos ambientales.
- La aplicación de residuo PVC a 5 *kg/m<sup>3</sup>* de concreto, aumentará en gran medida la resistencia a la flexión, mejorará la resistencia a la compresión, tendrá mayor pérdida de asentamiento y disminuirán notoriamente los costos y se mitigarán impactos ambientales

**Tabla 08:** Matriz de hipótesis

HIPÓTESIS	COMPONENTES METODOLÓGICOS			COMPONENTES REFERENCIALES	
	Variables	Unidad de análisis	Conectores lógicos	El espacio	El Tiempo
La aplicación de las proporciones de fibra a base de residuo PVC de tapicería en un concreto para pavimentos rígidos mejorará su resistencia la compresión, aumentará la resistencia a la flexión, perderá asentamiento, disminuirán los costos y se mitigarán impactos ambientales.	<p>1. Proporciones de fibra a base de residuo PVC de tapicería.</p> <p>2. Resistencia la compresión, resistencia a la flexión, asentamiento y costos</p>	<p>Concreto para Pavimento Rígido</p>	<p>Mejorará</p>	<p>Trujillo – La Libertad</p>	<p>2017</p>

**Fuente:** propia

### 3.2. Operacionalización de variables

Tabla 09: Matriz de Operacionalización de variables

VARIABLE	DEF. CONCEPTO	DEF. OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADOR
Resistencia a la compresión	La resistencia a la compresión se calcula a partir de la carga de ruptura dividida por el área de la sección que resiste a la carga	Se ejecutará en 12 probetas cilíndricas de 15 cm x 30 cm	Resistencia a la compresión del concreto a los 28 días de curado	280 kg/cm <sup>2</sup>
resistencia a la flexión	Esta es una medida de resistencia a la falla por momento de una viga o losa de concreto no reforzada.	Se ejecutará en 12 probetas tipo viga de 15 cm x 50 cm.	Resistencia a la flexión del concreto a los 28 días de curado	30 kg/cm <sup>2</sup>
asentamiento	Propiedad del concreto en estado fresco, que mide la trabajabilidad de este mismo, teniendo en consideración parámetros como la fluidez o la capacidad de adaptarse a un molde.	Se ejecutará en una mezcla de concreto representativa recién mezclada, capaz de llenar el cono de Abrams	Asentamiento del concreto en estado fresco	Asentamiento 2.5 cm

Fuente: Propia

## CAPÍTULO 4. MATERIAL Y MÉTODOS

### 4.1. Tipo de diseño de investigación.

La investigación planteada corresponde al tipo Experimental, siendo en este caso una Cuasi Experimental, ya que se manipulan deliberadamente las variables, donde se somete a la variable independiente a un estímulo y se analiza su efecto en la variable dependiente.

Esta investigación esencialmente trabaja con dos comparaciones: el antes y el después de la muestra sometida al estímulo.

**Tabla 10:** Matriz de Operacionalización de variables

GRUPO	ASIGNACIÓN	Pre Prueba	Tratamiento	Post prueba
GE		O1	X	O2
GC		O3	-	O4

**Fuente:** Monografía

Donde:

- GE: Grupo de estudio
- GC: Grupo control
- O1, O3: Pre test
- O2, O4: Post test

### 4.2. Material.

#### 4.2.1. Unidad de estudio.

El concreto para Pavimento.

- El agregado correspondiente a la cantera El Milagro, considerando, que esta abastece gran cantidad de áridos en la ciudad de Trujillo.
- El cemento con el que se trabajó fue el del TIPO 1, considerándose que es de uso general.
- Las fibras sintéticas hechas a base de residuos de PVC de tapicería, con el tamaño de 2 mm x 50 mm.

#### 4.2.2. Población.

El concreto reforzado.

##### 4.2.2.1. Población Objetiva.

El concreto reforzado con fibras sintéticas recicladas de PVC para el diseño de pavimentos rígidos.

#### 4.2.3. Muestra.

Para realizar el cálculo de número de muestras, se hará referencia a lo estipulado en el Manual de Estadística de la Universidad Privada del Norte (2016), en lo que corresponde al caso de una variable cuantitativa, con una población infinita, correspondiente a la presente investigación, se hará uso de la siguiente formula:

$$n_0 \geq \frac{Z^2 S^2}{E^2}$$

Donde tenemos que:

- $n_0$  = Muestra.
- $Z$  = Valor de distribución normal estandarizada, para el nivel de confianza.
- $S$  = Desviación estándar de la variable fundamental de estudio.
- $E$  = Error de estimación.

Obteniendo los siguientes valores:

- $Z$  = Nivel de confianza al 95% = 1.96

**Tabla 11:** Valores de la distribución normal estandarizada

VALORES DE LA DISTRIBUCIÓN NORMAL ESTANDARIZADA			
ERROR (Tipo I): Puede ser unilateral o bilateral			
Nivel de confianza (1- $\alpha$ )	Error ( $\alpha$ )	Valor Z	
		Bilateral	Unilateral
90%	0.10	1.64	1.28
95%	0.05	1.96	1.64
99%	0.01	2.57	2.32
ERROR (Tipo II): Siempre es unilateral			
Poder (1- $\beta$ )	Error ( $\beta$ )	Valor Z	
0.80	0.20	0.842	
0.90	0.10	1.282	
0.95	0.05	1.645	
0.99	0.01	2.326	

Fuente: Manual de Estadística UPN.

- $S =$  Valor correspondiente a laboratorio en un rango de *suficiente* =4.42

**Tabla 12:** Valores de Dispersión Total

DISPERSION TOTAL					
Clase de Operación	Desviación Estándar para diferentes grados de control ( Kg/cm <sup>2</sup> )				
	Excelente	Muy bueno	Bueno	Suficiente	Deficiente
Concreto en Obra	< a 28.1	28.1 a 35.2	35.2 a 42.2	42.2 a 49.2	> 49.2
Concreto en Laboratorio	< a 14.1	14.1 a 17.6	17.6 a 21.1	21.1 a 24.6	> 24.6
DISPERSIÓN ENTRE TESTIGOS					
Clase de Operación	Coeficiente de variación V para diferentes grados de control ( % )				
	Excelente	Muy bueno	Bueno	Suficiente	Deficiente
Concreto en Obra	< a 3.0	3.0 a 4.0	4.0 a 5.0	5.0 a 6.0	> 6.0
Concreto en Laboratorio	< a 2.0	2.0 a 3.0	3.0 a 4.0	4.0 a 5.0	> 5.0

Fuente: Pasquel E. (1998)

- $E =$  Se considera a criterio un error del 5%,

Al reemplazar los valores:

$$n_0 \geq \frac{1.96^2 \times 4.42^2}{5^2} = 3.00$$

Se elaborarán 3 réplicas por cada probeta que se pretenda ensayar, para obtener datos, con una confianza al 95%.

Se evaluarán tres propiedades en el concreto; asignando un patrón, y uno reforzado a tres proporciones distintas. Obteniéndose un total de las 36 probetas: unas 12 para resistencia a la compresión, otras 12 resistencia a la flexión y finalmente 12 para asentamiento.

En lo que corresponde a los resultados de resistencia a la compresión, se ensayarán 12 probetas de dimensiones de 15 cm. Ø x 30 cm de alto. Siendo la preparación y el curado del concreto realizado bajo la norma ASTM C31. Utilizándose los laboratorios de la Universidad Privada del Norte (UPN).

**Figura 07:** Molde para el ensayo de resistencia compresión.



**fuelle:** Comerturró.

Para la resistencia a la flexión del concreto, se ensayarán también 12 probetas, con dimensiones de 50 cm. de largo y 15 cm. de sección transversal. La preparación de la mezcla correspondiente a estas probetas se realizará bajo la norma ASTM C31. Y se realizarán los ensayos en los laboratorios de la UPN.

**Figura 08:** Molde para el ensayo de resistencia a la flexión.



**fuelle:** Elvec.

Finalmente, para el ensayo de asentamiento se realizarán 12 ensayos, abalados por la norma ASTM C143, con los moldes con las dimensiones que se muestran en la (figura 09).

**Figura 09:** Molde para el ensayo de Asentamiento.



**Fuente:** Construaprendiendo.

Por otro lado, también podemos calcular la muestra en función de las variables, grado de las mismas, y el nivel de confianza (95%: 3 réplicas).

Para la presente investigación experimental, se varía la cantidad en peso por metro cúbico de concreto ( $0 \text{ kg/m}^3$ ,  $3 \text{ kg/m}^3$ ,  $4 \text{ kg/m}^3$ ,  $5 \text{ kg/m}^3$ ), representado por:  $b_1$ ,  $b_2$ ,  $b_3$ ,  $b_4$ . También se utilizará el residuo PVC de tapicería, que será representado de la siguiente manera:  $a_1$ . La evaluación de éstos se hará en las siguientes propiedades físicas y mecánicas: asentamiento, resistencia a la compresión y resistencia a la flexión.

Determinación del número de especímenes:

V. independiente: Residuo PVC de tapicería.

V. dependiente: Resistencia a la compresión, resistencia la flexión y asentamiento.

**Factor A:** Residuo PVC de tapicería. ( $a_1$ )

**Factor B:** Cantidad de peso por metro cúbico ( $0 \text{ kg/m}^3$ ,  $3 \text{ kg/m}^3$ ,  $4 \text{ kg/m}^3$ ,  $5 \text{ kg/m}^3$ ) [ $b_1$ ,  $b_2$ ,  $b_3$ ,  $b_4$ ]

Nº muestra: VI x VD x Nivel x Nº réplicas

Nº muestra: (1 x 1 x 4) x 1 x 3 x 3

Nº muestra: 36 probetas

**Tabla 13:** Matiz de Diseño

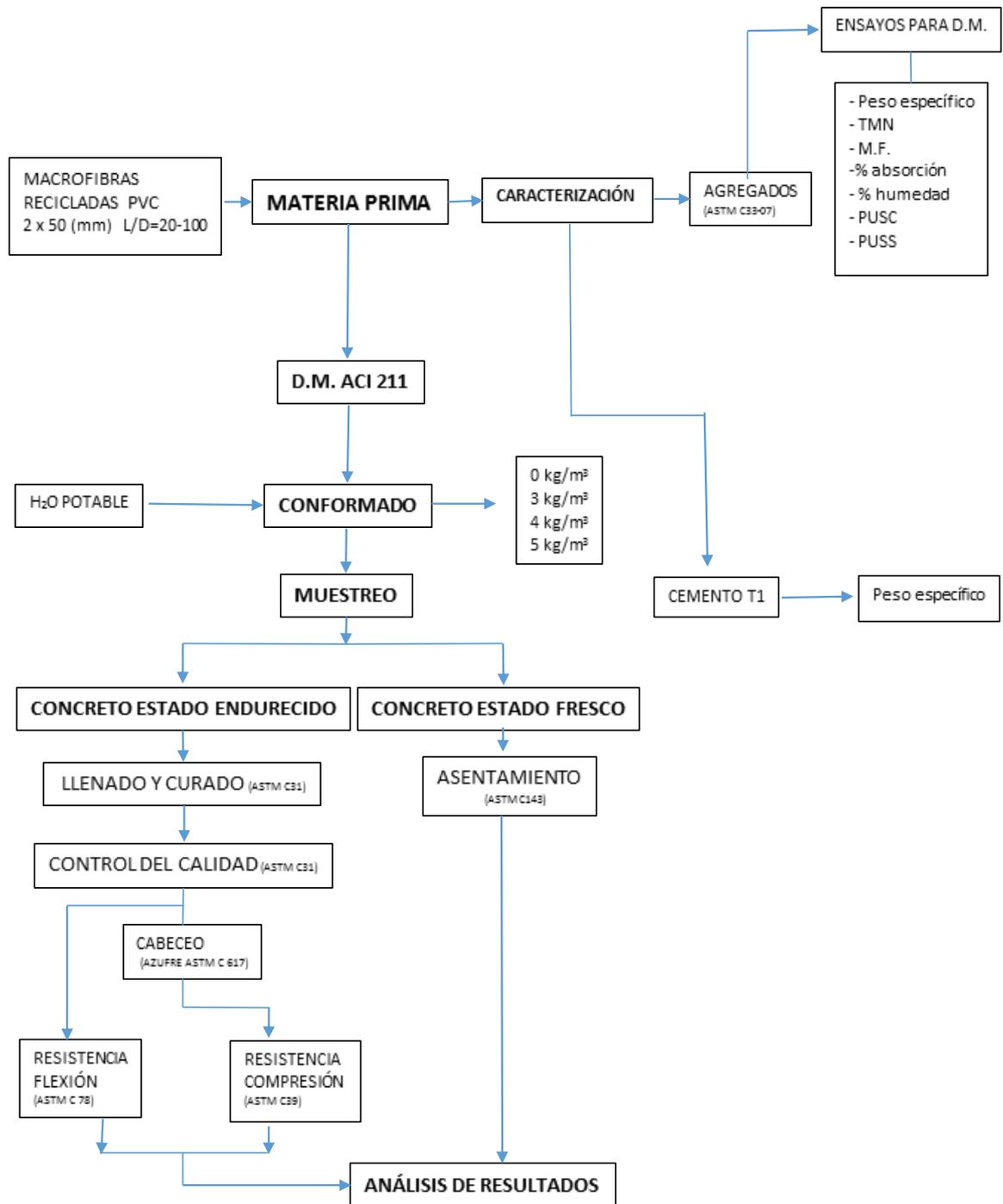
	$a_1$		
	$a_{11}$	$a_{12}$	$a_{13}$
$b_1$	$a_{11} b_1$	$a_{12} b_1$	$a_{13} b_1$
$b_2$	$a_{11} b_2$	$a_{12} b_2$	$a_{13} b_2$
$b_3$	$a_{11} b_3$	$a_{12} b_3$	$a_{13} b_3$
$b_4$	$a_{11} b_4$	$a_{12} b_4$	$a_{13} b_4$

**Fuente:** Propia

### 4.3. Técnicas, Procedimientos e Instrumentos.

#### 4.3.1. Para recolectar datos

Figura 10: Diagrama de procedimiento experimental.



Fuente: Propia

#### **4.3.1.1. Materia Prima**

La materia prima corresponde a todos los materiales que son fundamentales para la elaboración de este tipo de concreto. Para esta investigación se empleó los agregados de la cantera El Milagro.

Para ello se extrajo material correspondiente a la cantera antes mencionada, siendo las muestras cerradas, selladas e identificados en sacos de UREA; colocando en cada muestra el lugar de procedencia y la fecha de extracción.

El aglomerante utilizado en el diseño de mezcla fue el Cemento Tipo I.

El agua utilizada para la siguiente investigación será agua potable, ya que el hecho de que ésta sea bebible no necesita ningún tipo de análisis para el uso en el diseño de mezcla y curado de probetas. Por ello se usará el agua de los laboratorios de la Universidad Privada del Norte, de la ciudad de Trujillo.

Las fibras utilizadas serán recicladas de los talleres de tapicería de autos, siendo estas llevadas al tamaño correspondiente a macrofibras, estando fabricadas a base de PVC (Policloruro de Vinilo); cuya medida correspondiente a éstas es de 2 mm x 50 mm, teniendo una relación entre longitud y diámetro (L/D) es igual a 25, encontrándose dentro del rango correspondiente a este tipo de fibras (L/D= 20 a 100).

#### **4.3.1.2. Caracterización**

Correspondiente al caso de los agregados, tanto agregado fino como agregado grueso, para que puedan ser utilizados en el diseño de mezcla, deben de cumplir con los requerimientos de la norma ASTM C33-07 o la NTP 400.037:2002

▪ **Humedad Total evaporable de los agregados NTP 339.185 / ASTM C 566.**

Según (NTP 339.185, 2002) El contenido de humedad es la cantidad de agua que presenta una muestra, en este caso de agregado (fino y/o grueso). Se determina mediante una relación entre el peso del agua  $w_w$  contenida en la muestra y el peso seco  $w_s$ .

Por lo general, el contenido de humedad se expresa en porcentaje:

$$W(\%) = \frac{w_w}{w_s} \times 100$$

▪ **Análisis Granulométrico por tamizado (NTP 400.012 / ASTM C136).**

Según la (NTP 400.012, 2001) Es el conjunto de propiedades que caracterizan las dimensiones, proporciones y las formas de las partículas, que constituyen un lote de sólidos dispersos. Cuando se logra una separación de las partículas, mediante tamices de malla de alambre de aberturas cuadradas (norma ASTM C 136), expresado el resultado según un rango de tamaños, se está haciendo en realidad un análisis granulométrico.

**Módulo de finura del agregado fino**

Según la (NTP 400.011, 2013) define como módulo de finura como la centésima parte del total de los porcentajes retenidos acumulados en los tamices: 1 ½", ¾", 3/8" y N° (4,8,16,30,50,100). Es un indicador de la finura de un agregado: cuanto mayor sea el módulo de finura, más grueso es el agregado.

El módulo de finura del agregado fino se encuentra limitado:  $2,3 < MF < 3,1$ , lo cual indica que la muestra está bien graduada según lo estipulado en norma (NTP 400.011, 2013).

Si el módulo de finura de una arena es de 2.3 se trata de una arena fina; y si el módulo se encuentra entre 2.3 a 3.1 se trata de una arena mediana. Y si éste es mayor de 3.1 se trata de una arena gruesa (NTP 400.011, 2013). Se determina con la suma de los porcentajes retenidos acumulados en las mallas estándar:

$$MF = \frac{\sum \% P. ret. acu. 1 \frac{1}{2} ", \frac{3}{4} ", \frac{3}{8} " N^{\circ} 4, N^{\circ} 8, N^{\circ} 16, N^{\circ} 30, N^{\circ} 50, N^{\circ} 100)}{100}$$

- **Peso Específico y Absorción del agregado grueso (NTP 400.021 / ASTM C12)**

Se establece el procedimiento para determinar el peso específico seco, peso específico saturado superficialmente seco, peso específico aparente y la absorción luego de 24 horas en un agregado grueso; siendo el peso específico saturado superficialmente seco y el grado de absorción, basados en agregados remojados en agua después de 24 horas. (NTP 400.021, 2002).

Para realizar los cálculos, se especifican las siguientes formulas:

Peso específico de masa (Pem)

$$Pem = \frac{A}{(B - C)} \times 100$$

Donde:

A = Peso de la muestra seca al aire, gramos

B = Peso de la muestra superficialmente seca al aire, gramos

C = Peso en el agua de la muestra saturada

Peso específico de masa satura superficialmente seca (Psss)

$$PeSSS = \frac{B}{(B - C)} \times 100$$

Peso específico aparente ( $P_{ea}$ )

$$P_{ea} = \frac{A}{(A - C)} \times 100$$

Absorción ( $Abs$ )

$$Abs(\%) = \frac{B - A}{(A)} \times 100$$

▪ **Peso Específico y Absorción del agregado fino NTP 400.022 /  
ASTM C128**

Se estable el procedimiento determinar el peso específico seco, el peso específico saturado superficialmente seco, el peso específico aparente y el grado o porcentaje de absorción del agregado fino, 24 horas después (NTP 400.022, 2002).

Siendo el campo de aplicación para calcular los pesos específicos y la absorción de un agregado fino, con el objetivo de obtener los valores para el cálculo y corrección de diseños de mezclas, y también realizar un control de uniformidad de características físicas (NTP 400.022, 2002).

Peso específico de masa ( $P_{em}$ )

$$P_{em} = \frac{W_0}{(V - V_a)} \times 100$$

Donde:

A = Peso de masa

B = Peso en el aire de la muestra seca al horno, gramos

C = Volumen del frasco en  $\text{cm}^3$

C = Peso gramos o volumen en  $\text{cm}^3$  de agua añadida al frasco

Peso específico de masa saturada superficialmente seca (PeSSS)

$$PeSSS = \frac{500}{V - V_a} \times 100$$

Peso específico aparente (Pea)

$$Pea = \frac{(w_o)}{(V - V_a) - (500 - w_o)} \times 100$$

Absorción (Abs)

$$Abs = \frac{500 - w_o}{w_o} \times 100$$

▪ **Peso Unitario del Agregado (NTP 400.017 / ASTM C29)**

Se estable el procedimiento determinar el peso unitario, en la condición de suelto o compacto, siendo aplicable para agregados que no superen los 125 mm de tamaño máximo nominal (NTP 400.017, 2011).

El peso unitario es el peso varillado, expresado en kilos por metro cubico  $kg/m^3$ , de una muestra representativa del material (NTP 400.017, 2011).

El peso unitario se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$Peso\ Unitario\ del\ Agregado = \frac{Peso\ total - Peso\ recipiente}{Volumen\ del\ recipiente}$$

#### **4.3.1.3. Diseño de Mezcla por el Método ACI 211**

- Elección del asentamiento (especificado)
- Elección del TMN y TM del Agregado Grueso
- Cálculo del agua de mezcla y el contenido de aire
- Selección de la relación a/c ó a/mc
- Cálculo de contenido de cemento
- Estimación del contenido de agregado fino y grueso
- Ajustes por humedad y absorción de los agregados

#### **4.3.1.4. Conformado**

En este paso se realizará la conformación de los materiales sólidos, que corresponden al diseño de mezcla con el agua potable, teniendo en cuenta que ésta es apta para el consumo humano, no será necesario realizarle ningún ensayo químico; y también se le añadirán de manera separada, según corresponda el espécimen y las proporciones de macrofibras de PVC obtenidas de residuos de tapicería.

#### **4.3.1.5. Muestreo**

En lo que corresponde a esta etapa, se contará ya con la mezcla de concreto recién preparada, y por lo tanto se realiza una separación de aquella que será usada para asentamiento, otra que corresponda a los especímenes cilíndricos para compresión y una última para los especímenes de vigas para resistencia a la flexión o módulo de rotura.

#### **4.3.1.6. Concreto en Estado Fresco**

La única prueba que se realizará con el concreto en estado fresco será la de asentamiento, para así poder evaluar la pérdida de trabajabilidad del concreto al realizarle la adición de la macrofibras recicladas a base de PVC.

#### **Asentamiento (NTP 339.035 / ASTM C143)**

Consistente en la determinación del asentamiento del concreto tanto en laboratorio como en campo; donde para ello se coloca una muestra representativa de concreto recién mezclado dentro de un molde denominado cono de Abrams, compactando la mezcla con una varilla (3

capas, 25 golpes por capa). Se levanta el molde y se deja que se desplome el concreto, para después medir la altura al centro desplazada y se registra el valor de asentamiento en el concreto. (Universidad Técnica particular de Loja [UTPL], s.f.).

### Procedimiento experimental según norma

- Como primer paso, humedecer el Cono del Abrams y posteriormente colocar en una superficie plana, húmeda y no absorbente.
- Después, sujetar el molde con los pies, y llenar con la muestra de concreto fresco en tres capas, aproximadamente, 1/3 del volumen por capa.
- Compactar la primera capa con 25 golpes haciendo uso de la varilla, los golpes deben ser distribuidos uniformemente en su sección transversal. Los golpes se aplican en forma de espiral, hacia el centro del molde.
- Una vez llenadas todas las capas, enrazar; para después retirar el molde, y alzar cuidadosamente en sentido completamente vertical.
- Finalmente, medir el asentamiento, mediante la diferencia de altura del molde y la altura medida sobre el centro de la base superior del espécimen.

#### 4.3.1.7. Concreto en Estado Endurecido

##### Moldeo y curado de probetas (ASTM C31)

**Tabla 14:** Requisitos para el moldeo por apisonado

Tipo y tamaño de la probeta	Nº de capas de aprox. igual altura	Nº de golpes de pisón por capa
Cilindros:		
Diámetro, Pulg (mm)		
4 (100)	2	25
6 (150)	3	25
9 (225)	4	50
Vigas:		
Ancho, pulg (mm)		
6 (150) a 8 (200)	2	Ver 9.3
> 8 (200)	3 ó más de igual altura, cada una no debe exceder de 6 pulg (150mm)	Ver 9.3

Fuente: ASTM C31

### **Curado (ASTM C31)**

#### **Curado estándar de cilindros.**

La norma establece que las probetas se deben almacenar en las condiciones de humedad adecuada, sumergidos en agua a una temperatura de  $73.4 \pm 3^{\circ}\text{F}$  ( $23 \pm 1.7^{\circ}\text{C}$ ). Se toleran las temperaturas en un rango de  $68^{\circ}$  y  $86^{\circ}\text{F}$  ( $20^{\circ}$  y  $30^{\circ}\text{C}$ ), siempre y cuando el periodo no exceda las 3 horas inmediatamente antes de hacer la prueba, si es que en todo momento se mantiene húmeda la superficie de la probeta (UTPL, s.f.).

#### **Curado estándar vigas.**

La norma establece que las probetas de tipo viga deben ser curadas de la misma manera que los cilindros; éstas serán almacenadas en agua de cal saturada a  $73 \pm 3^{\circ}\text{F}$  ( $23 \pm 2^{\circ}\text{C}$ ) por un tiempo mínimo de 20 horas antes de hacer la prueba. Debe evitarse totalmente que sequen las superficies de las vigas en la fase desde que son sacadas del curado hasta que se termine la prueba (UTPL, s.f.).

### **Refrentado (NTP 339.037 / ASTM C617)**

Mediante el procedimiento descrito en norma, se establece la forma de refrentar las caras planas de las probetas cilíndricas de concreto, para obtener perpendicularidad respecto a su eje con la aplicación de un material adecuado para el procedimiento; por medio del procedimiento la carga de aplicación abarca a toda el área de sección transversal, obteniéndose así resultados genuinos de resistencia a la compresión, siendo de vital utilidad para posteriormente evaluar el cumplimiento de su resistencia a la compresión y control de calidad (NTP 339.037, 2003)

### **Resistencia a la compresión (NTP 339.034 / ASTM C39)**

La normativa consiste en la aplicación de una carga de compresión axial en probetas cilíndricas moldeadas a una velocidad normalizada en un rango prescrito hasta el momento que ocurre la falla; siendo la resistencia a la compresión de la probeta calculada dividiendo la carga máxima alcanzada durante el ensayo, sobre el área de la sección transversal recta de la probeta (NTP 339.034, 2008).

### Procedimiento experimental según norma

- Retirar las probetas de la posa de curado, cerciorándose que el diámetro individual de un cilindro no difiera del otro lado del mismo en 2%.
- Colocar el bloque de carga inferior sobre la plataforma de la máquina de ensayo, debajo del bloque superior.
- Verificar que el indicador de carga sea cero.
- Aplicar una carga sin golpes bruscos, a una velocidad correspondiente en el rango de  $0,25 \pm 0,05$  MPa/s.
- Registrar la carga de rotura soportada por el espécimen.
- Finalmente, determinar la resistencia a la compresión, dividiendo la carga máxima soportada entre el promedio de área de la sección transversal.

$$f'c = \frac{P}{(\pi d^2 / 4)}$$

Donde:

$P$  = es la carga de rotura.

$d$  = es el diámetro promedio.

### Resistencia a la flexión (NTP 339.078 / ASTM C78)

La presente norma abarca el procedimiento a tomar en cuenta para la determinación y el cálculo de la resistencia a la flexión (módulo de rotura) del concreto, usando una viga simple que es cargada en los tercios de la luz. (MTC E 709, 2016)

### Procedimiento experimental según norma

- Retirar las muestras de la pasa de curado, cerciorándose que todos los lados del espécimen deben formar ángulos rectos con las caras superior e inferior.
- Centrar la muestra sobre los bloques de carga y también sobre el sistema de carga con relación a la fuerza aplicada.
- Refrendar las superficies de contacto de la muestra con láminas de cuero de 6.4mm de espesor y 30 mm de ancho, extendidos en todo el ancho de la muestra; para eliminar cualquier vacío o separación.

- Aplicar la carga a una velocidad constante, dentro del rango de los 0.9 a 1.2 (Mpa /s) hasta que ocurra la rotura.
- Medir la muestra después del ensayo.
- Tomar la cantidad de tres medidas en cada dimensión (bordes y centro), con precisión a 1.3 mm, para determinar así el ancho promedio, altura promedio y la ubicación de la línea de fractura de la probeta en la sección de falla.
- Finalmente, tomar la medida de la carga máxima de rotura del espécimen.

$$M' r = \frac{P.l}{b.d^2} \quad (\text{kg} / \text{cm}^2)$$

Donde:

$P$  = es la carga aplicada indicada por la máquina de ensayo.

$l$  = es la longitud entre apoyos.

$b$  = es el ancho promedio de la muestra.

$d$  = es altura promedio de la muestra.

Si la falla está fuera del tercio medio, y ésta no es mayor del 5% de la luz libre. Se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$M' r = \frac{3Pa}{bd^2} \quad (\text{kg} / \text{cm}^2)$$

Donde:

$P$  = es la carga aplicada indicada por la máquina de ensayo.

$a$  = es la distancia entre línea de falla y apoyo más cercano

$b$  = es el ancho promedio de la muestra.

$d$  = es la altura promedio de la muestra.

#### 4.3.2. Para procesar datos

- Para el procesamiento de los datos a obtenerse, se hará uso del programa Microsoft Excel.
- En lo que corresponde al análisis de costos, se realizará con el programa S10, donde se plasmarán los resultados en el formato expuesto por el software.

## **CAPÍTULO 5. DESARROLLO**

### **CARACTERIZACIÓN DE AGREGADOS**

#### **Análisis Granulométrico de Agregados Finos y Gruesos (ASTM C-136 / NPT 400.012)**

##### **Análisis granulométrico del Agregados Fino (ASTM C-136 / NPT 400.012)**

Procedimiento según las normas descritas:

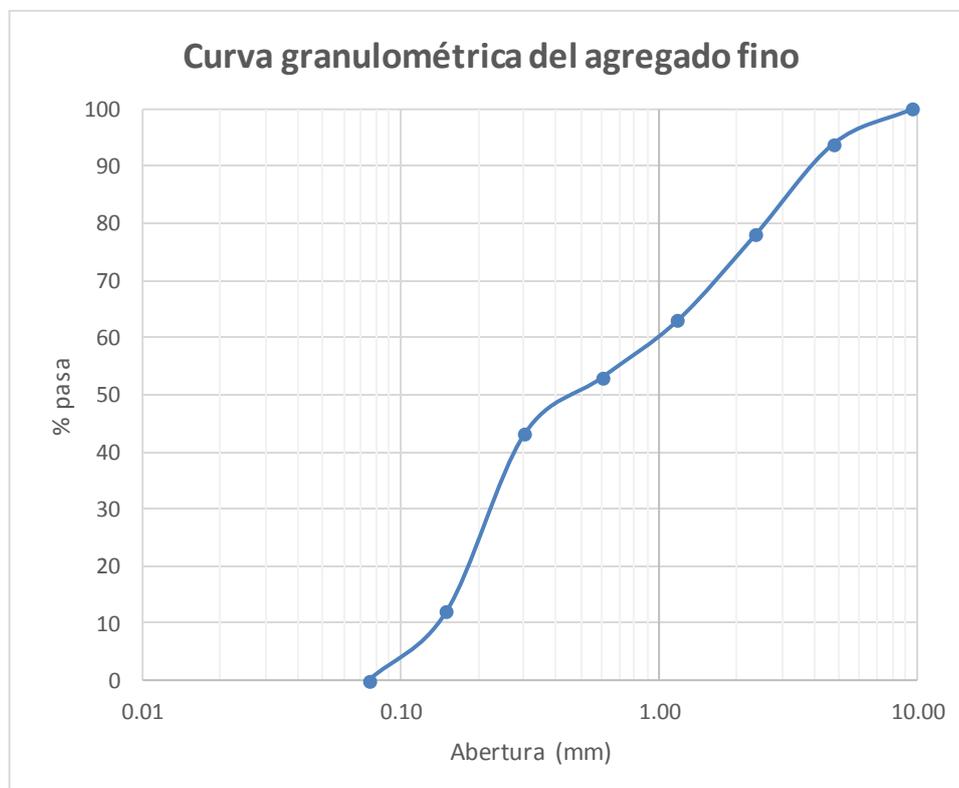
- Se secó una muestra considerable en la estufa, a una temperatura de  $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$ , hasta que se obtuvo un peso constante de la muestra.
- Se tomó el peso de una muestra representativa; según norma, para el caso de éste, como mínimo es preciso ensayar 300 g. de muestra.
- Se hizo uso de los tamices de los siguientes tamaños: 2", 1 1/2", 1", 3/4", 1/2", 3/8", N.º 4, N.º 8, N.º 16, N.º 30, N.º 50, N.º 100 y fondo, encajándolos en orden decreciente, como lo recomienda la norma NPT 400.012.
- Se colocó la muestra en fracciones, y luego se realizó el agitado por un periodo suficiente, de manera que, al terminar, no pase más del 1% de la cantidad retenida en cada tamiz, según corresponda.
- Finalmente, se pesó cada tamiz con la muestra de material retenida, para luego obtener el peso de muestra retenida correspondiente a cada tamiz.

**Tabla 15:** Análisis Granulométrico del Agregado Fino

Tamiz	Abertura (mm)	P. Malla (gr.)	P. Malla + Muestra (gr.)	Peso Retenido (gr.)	% Peso Retenido	% P. Retenido Acumulado	% Pasa
2	50.00	537.96	537.96	0.00	0	0	100
1 1/2	37.50	563.48	563.48	0.00	0	0	100
1	25.00	533.85	533.85	0.00	0	0	100
3/4	19.00	547.81	547.81	0.00	0	0	100
1/2	12.50	537.49	537.49	0.00	0	0	100
3/8	9.50	525.46	525.46	0.00	0	0	100
Nº 4	4.75	503.62	588.5	84.88	6	6	94
Nº 8	2.36	472.97	681.36	208.39	16	22	78
Nº 16	1.18	395.41	594.14	198.73	15	37	63
Nº 30	0.60	376.42	516.04	139.62	10	47	53
Nº 50	0.30	348.6	475.84	127.24	10	57	43
Nº 100	0.15	328.66	747.43	418.77	31	88	12
FONDO	0.00	444.5	598.4	153.90	12	100	0
				1331.53	100		

Fuente y Elaboración: Autoría propia.

**Figura 11:** Curva Granulométrica del Agregado Fino trabajado.



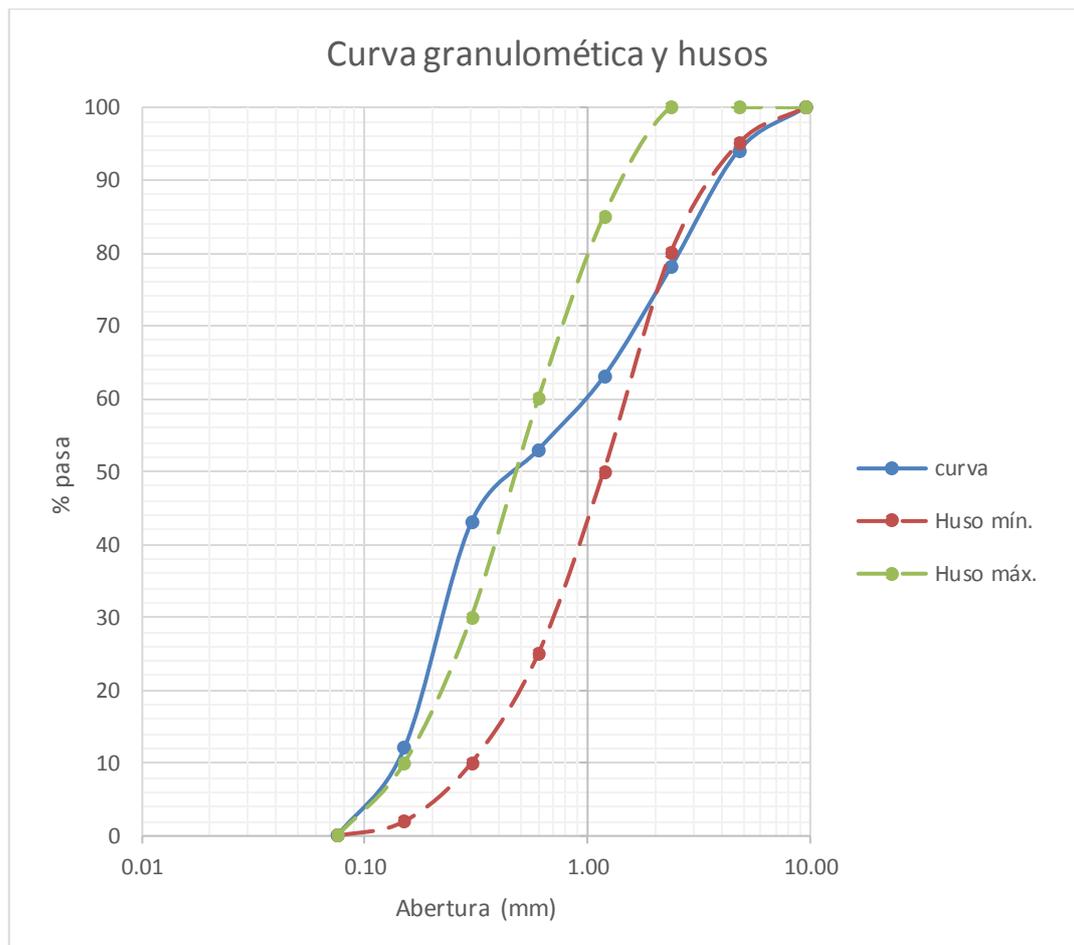
Fuente y Elaboración: Autoría propia.

**Tabla 16:** Muestra trabajada y Husos Granulométricos del A.F., según ASTM C33 / NTP 400.037.

Tamiz	Abertura (mm)	% pasa Mínimo	% pasa Máximo	% Pasa AF
3/8	9.50	100	100	100
N° 4	4.75	95	100	94
N° 8	2.36	80	100	78
N° 16	1.18	50	85	63
N° 30	0.60	25	60	53
N° 50	0.30	10	30	43
N° 100	0.15	2	10	12

Fuente y Elaboración: Autoría propia.

**Figura 12:** Curva Granulométrica del Agregado Fino y Husos granulométricos.



Fuente y Elaboración: Autoría propia.

### Composición de la muestra trabajada.

La muestra del agregado fino utilizado se expresa en la siguiente (Tabla 17):

**Tabla 17:** Composición de la muestra trabajada.

COMPOSICIÓN	%
% Grava (de 3" a 3/8"):	0
% Arena Gruesa (N°4 a N°8):	22
% Arena Media (N°16 a N°30):	25
% Arena Fina (N°50 a N°200):	50
% Limo-arcilloso (<N°200):	3
Total:	100

**Fuente y Elaboración:** Autoría propia.

### Módulo de Finura.

El módulo de finura, correspondiente al Agregado Fino, calculado fue:

**MF:** 2.57; dicho valor se encuentra en el rango admisible:  $2.3 < MF < 3.1$ ; (según NTP 400.037)

### Análisis granulométrico de Agregados Grueso (ASTM C-136 / NPT 400.012)

Procedimiento según las normas descritas:

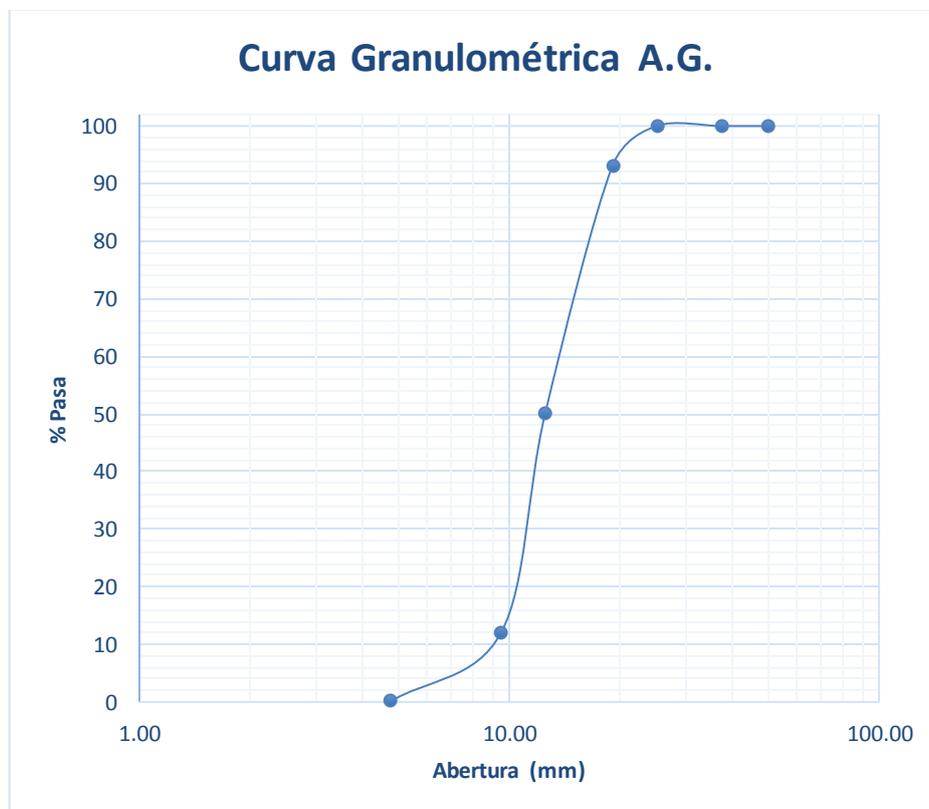
- Se secó una muestra considerable en la estufa, a una temperatura de  $110 \pm 5^\circ\text{C}$ , hasta que se obtuvo un peso constante de la muestra.
- Se tomó el peso de una muestra representativa; según norma, para el caso de este material de tamaño de  $3/4''$ , como mínimo es preciso ensayar 5 kg de muestra.
- Se hizo uso de los tamices de los siguientes tamaños:  $1\ 1/2''$ ,  $1''$ ,  $3/4''$ ,  $1/2''$ ,  $3/8''$ , N.º 4, N.º 8, N.º 16, N.º 30, N.º 50, N.º 100 y fondo, encajándolos en orden decreciente, como lo recomienda la norma NPT 350.001.
- Se tomó el peso de una muestra representativa; según norma, para el caso de este material de tamaño de  $3/4''$ , como mínimo es preciso ensayar 5 kg de muestra.
- Se colocó la muestra en fracciones, y luego se realizó el agitado por un periodo suficiente, de manera que, al terminar, no pase más del 1% de la cantidad retenida en cada tamiz, según corresponda.
- Finalmente, se pesó cada tamiz con la muestra de material retenida, para luego obtener el peso de muestra retenida correspondiente a cada tamiz.

**Tabla 18:** Análisis Granulométrico del Agregado Grueso.

Tamiz	Abertura (mm)	P. Malla (gr.)	P. Malla + Muestra (gr.)	Peso Retenido (gr.)	% P. Retenido	% P. Retenido Acumulado	% Pasa
2	50.00	537.96	537.96	0.00	0	0	100
1 1/2	37.50	563.48	563.48	0.00	0	0	100
1	25.00	533.85	533.85	0.00	0	0	100
3/4	19.00	547.81	880.45	332.64	7	7	93
1/2	12.50	537.49	2703.90	2166.41	43	50	50
3/8	9.50	525.79	2430.69	1904.90	38	88	12
Nº 4	4.75	503.75	1099.80	596.05	12	100	0
Nº 8	2.36	473.09	473.09	0.00	0	100	0
Nº 16	1.18	407.82	407.82	0.00	0	100	0
Nº 30	0.60	373.54	373.54	0.00	0	100	0
Nº 50	0.30	343.65	343.65	0.00	0	100	0
Nº 100	0.15	329.43	329.43	0.00	0	100	0
FONDO	0.00	444.97	444.97	0.00	0	100	0
				5000.00	100		

**Fuente y Elaboración:** Autoría propia.

**Figura 13:** Curva Granulométrica del Agregado Grueso trabajado.



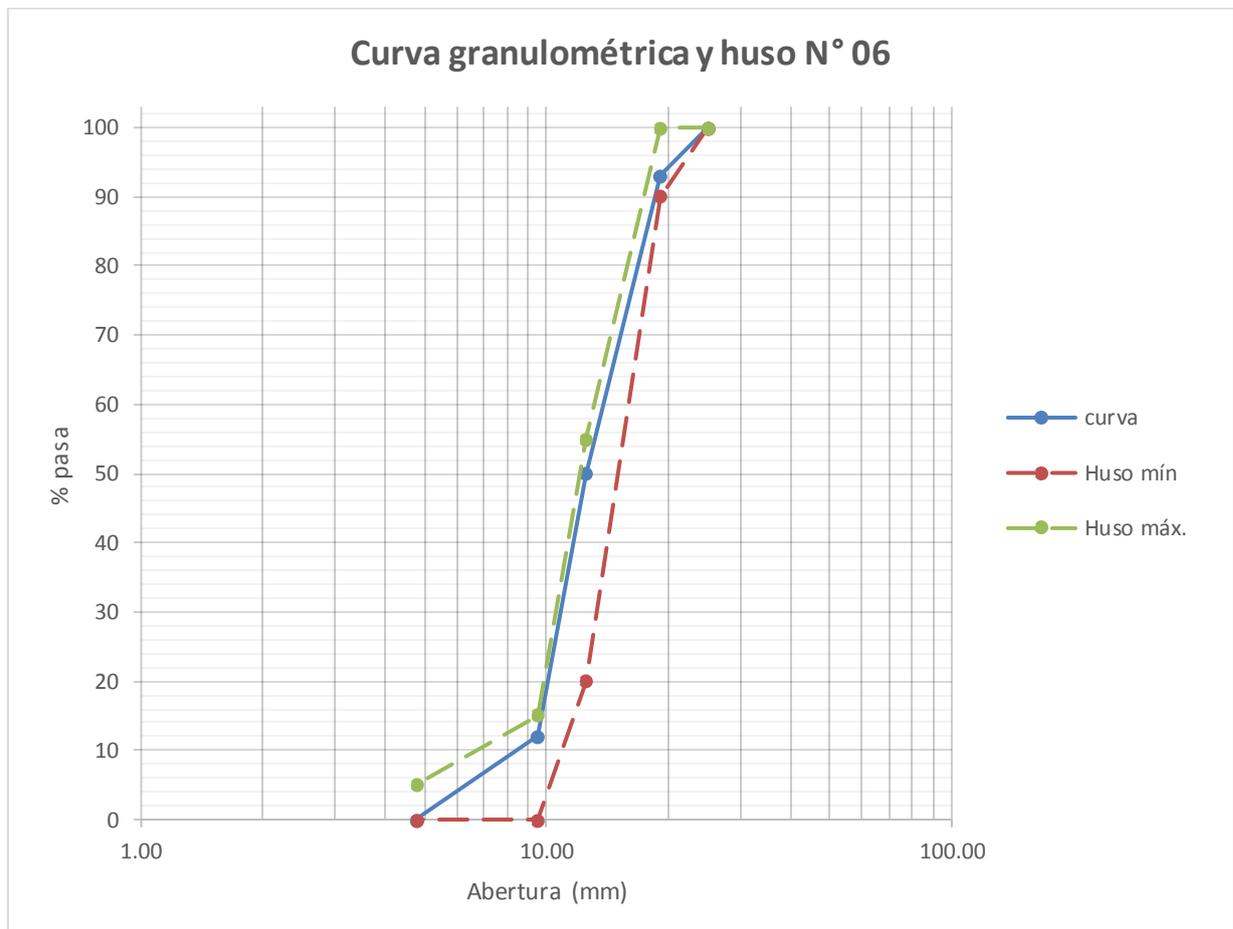
**Fuente y Elaboración:** Autoría propia.

**Tabla 19:** Muestra trabajada y Husos Granulométricos de A.G., según (ASTM C33/ NTP 400.037), huso N°06.

Tamiz	Abertura	Mínimo	Máximo	C. AG
1	25.00	100	100	100
3/4	19.00	90	100	93
1/2	12.50	20	55	50
3/8	9.50	0	15	12
Nº 4	4.75	0	5	0

Fuente y Elaboración: Autoría propia.

**Figura 14:** Curva Granulométrica del Agregado Grueso y Husos granulométricos (Huso N°06).



Fuente y Elaboración: Autoría propia.

### Composición de la muestra trabajada.

La muestra del agregado grueso utilizado se expresa en la siguiente (Tabla 20):

**Tabla 20:** Composición de la muestra trabajada.

COMPOSICIÓN	%
% Grava (de 3" a 3/8"):	78
% Arena Gruesa (N°4 a N°8): 14 %	22
% Arena Media (N°16 a N°30): 0 %	0
% Arena Fina (N°50 a N°200): 0 %	0
% Limo-arcilloso (<N°200) 0 %	0
Total	100

**Fuente y Elaboración:** Autoría propia.

### Tamaño Máximo y Tamaño Máximo Nominal.

El Tamaño Máximo, correspondiente al Agregado Grueso fue: 1".

El Tamaño Máximo Nominal, correspondiente al Agregado Grueso fue de: 3/4".

### Módulo de Finura.

El módulo de finura calculado, correspondiente al agregado grueso fue:

**MF:** 6.95

### Contenido de Humedad Total Evaporable de los Agregados por Secado (ASTM C-566/ NPT 339.185)

#### Contenido de Humedad del Agregado Grueso (ASTM C-566 / NPT 339.185)

- Se seleccionó una muestra representativa correspondiente a un Tamaño Máximo Nominal de 3/4", siendo como mínimo a 3.0 kg de masa.
- Cuando se seleccionó la muestra, se colocó en un recipiente en un recipiente metálico y se realizó su pesado en una balanza con precisión a 0.1 g.
- Se colocó la muestra en la estufa a una temperatura de 110°C ± 5°C por 24 horas, hasta que la muestra obtuvo peso constante.
- Una vez que la muestra obtuvo peso contante se pesó en una balanza con la precisión indicada anteriormente.
- Finalmente, se calculó el contenido de humedad con los datos obtenidos.

**Tabla 21:** Ensayo de contenido de humedad del Agregado Grueso.

	P. recipiente (g)	P. recipiente + M.H. (g)	M.H. (g.)	P. recipiente + M.S. (g)	M.S. (g)	%W	%W promedio
<b>M-1</b>	340.38	4639.98	4299.60	4622.94	4282.56	0.40	<b>0.4</b>
<b>M-2</b>	314.54	4492.14	4177.60	4478.82	4164.28	0.32	
<b>M-3</b>	297.08	4154.22	3857.14	4141.00	3843.92	0.34	

**Fuente y Elaboración:** Autoría propia.

### Contenido de Humedad del Agregado Fino (ASTM C-566 / NPT 339.185)

- Se seleccionó una muestra representativa correspondiente al Agregado Fino a ensayar, correspondiente como mínimo a 0.5 kg.
- Se colocó en un recipiente en un recipiente metálico y se realizó su pesado en una balanza con precisión a 0.1 g.
- Se colocó la muestra en la estufa a una temperatura de  $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$  por 24 horas, hasta que la muestra obtuvo peso constante.
- Una vez que la muestra obtuvo peso contante se pesó en una balanza con la precisión indicada anteriormente.
- Finalmente, se calculó el contenido de humedad con los datos obtenidos.

**Tabla 22:** Ensayo de Contenido de Humedad del Agregado Fino.

	P. recipiente (g.)	P. recipiente + M.H. (g.)	M.H. (g.)	P. recipiente + M.S. (g.)	M.S. (g.)	%W	%W promedio
<b>M-1</b>	84.61	809.67	725.06	797.45	712.84	1.71	<b>1.7</b>
<b>M-2</b>	77.20	966.24	889.04	951.72	874.52	1.66	
<b>M-3</b>	79.41	875.70	796.29	861.80	782.39	1.78	

**Fuente y Elaboración:** Autoría propia.

## **Peso Unitario y de Vacíos de los Agregados (ASTM C-29 / NPT 400.017)**

### **Peso Unitario Seco Suelto del Agregado Grueso (ASTM C-29 / NPT 400.017)**

- Se tomó una cantidad de material representativa y se redujo a tamaño de muestra de ensayo por cuarteo.
- La muestra que se tomó fue aproximadamente de 125 a 200% de la cantidad requerida a llenar en el recipiente de ensayo.
- Se llevó la muestra seleccionada a la estufa a una temperatura constante de  $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$ .
- Se llenó el recipiente con agua a temperatura ambiente y se cubrió con una placa de vidrio para eliminar las burbujas y exceso de agua.
- Se determinó el peso del agua en el recipiente usado.
- Se calculó el volumen (V) del recipiente, dividiendo el peso del agua que llena el recipiente entre la densidad del agua.
- Se llenó el recipiente con un cucharón hasta que rebose el recipiente.
- Se eliminó el agregado sobrante con una regla metálica.
- Finalmente se determinó el peso del recipiente más la cantidad de material necesaria para llevarlo.

#### **Datos preliminares**

**Peso recipiente:** 5.30 kg

**Peso del agua:** 14.10 kg

**Densidad agua:** 1,000.00 kg/m<sup>3</sup>

**Volumen agua:** 0.0141 m<sup>3</sup>

**Tabla 23:** Ensayo de Peso Unitario Seco Suelto.

	MUESTRA 01	MUESTRA 02	MUESTRA 03
<b>Vol. recipiente (m<sup>3</sup>)</b>	0.0141	0.0141	0.0141
<b>Peso Recipiente (kg)</b>	5.30	5.30	5.30
<b>P. recipiente + agregado (kg)</b>	25.40	25.50	25.80
<b>P. agregado (kg)</b>	20.10	20.20	20.50
<b>PUSS (kg/m<sup>3</sup>)</b>	1,430	1,430	1,450
<b>PUSS prom. (kg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>1,440</b>		

**Fuente y Elaboración:** Autoría propia.

### **Peso Unitario Seco Compacto del Agregado Grueso (ASTM C-29 / NPT 400.017)**

- Se tomó una cantidad de material representativa y se redujo a tamaño de muestra de ensayo por cuarteo.
- La muestra que se tomó fue aproximadamente de 125 a 200% de la cantidad requerida a llenar en el recipiente de ensayo.
- Se llevó la muestra seleccionada a la estufa a una temperatura constante de  $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$ .
- Se llenó el recipiente con agua a temperatura ambiente y se cubrió con una placa de vidrio para eliminar las burbujas y exceso de agua.
- Se determinó el peso del agua en el recipiente usado.
- Se calculó el volumen (V) del recipiente, dividiendo el peso del agua que llena el recipiente entre la densidad del agua.
- Se llenó la tercera parte del recipiente con el material, emparejando la superficie con los dedos.
- Luego, se compactó con una varilla 25 veces de manera uniforme; después se llenó hasta las 2/3 partes y se repitió el apisonado, para que por último llenar el recipiente y apisonarlo el mismo número de veces que las anteriores ocasiones.
- Finalmente se determinó el peso del recipiente más la cantidad de material necesaria para llevarlo.

#### **Datos preliminares**

**Peso recipiente:** 5.30 kg

**Peso del agua:** 14.10 kg

**Densidad agua:** 1,000.00 kg/m<sup>3</sup>

**Volumen agua:** 0.0141 m<sup>3</sup>

**Tabla 24:** Ensayo de Peso Unitario Seco Compacto.

	MUESTRA 01	MUESTRA 02	MUESTRA 03
<b>Vol. recipiente (m<sup>3</sup>)</b>	0.0141	0.0141	0.0141
<b>Peso Recipiente (kg)</b>	5.30	5.30	5.30
<b>P. recipiente + agregado (kg)</b>	27.05	27.05	27.45
<b>P. agregado (kg)</b>	21.75	21.75	22.15
<b>PUSS (kg/m<sup>3</sup>)</b>	1,540	1,540	1,570
<b>PUSS prom. (kg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>1,550</b>		

**Fuente y Elaboración:** Autoría propia.

#### **Peso Unitario Seco Suelto del Agregado Fino (ASTM C-29 / NPT 400.017)**

- Se tomó una cantidad de material representativa y se redujo a tamaño de muestra de ensayo por cuarteo.
- La muestra que se tomó fue aproximadamente de 125 a 200% de la cantidad requerida a llenar en el recipiente de ensayo.
- Se llevó la muestra seleccionada a la estufa a una temperatura constante de  $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$ .
- Se llenó el recipiente con agua a temperatura ambiente y se cubrió con una placa de vidrio para eliminar las burbujas y exceso de agua.
- Se determinó el peso del agua en el recipiente usado.
- Se calculó el volumen (V) del recipiente, dividiendo el peso del agua que llena el recipiente entre la densidad del agua.
- Se llenó el recipiente con un cucharón hasta que rebose el recipiente.
- Se eliminó el agregado sobrante con una regla metálica.
- Finalmente se determinó el peso del recipiente más la cantidad de material necesaria para llevarlo.

### Datos preliminares

**Peso recipiente:** 5.30 kg

**Peso del agua:** 14.10 kg

**Densidad agua:** 1,000.00 kg/m<sup>3</sup>

**Volumen agua:** 0.0141 m<sup>3</sup>

**Tabla 25:** Ensayo de Peso Unitario Seco Suelto del Agregado Fino.

	MUESTRA 01	MUESTRA 02	MUESTRA 03
<b>Vol. recipiente (m<sup>3</sup>)</b>	0.0141	0.0141	0.0141
<b>Peso Recipiente (kg)</b>	5.30	5.30	5.30
<b>P. recipiente + agregado (kg)</b>	30.05	29.90	30.15
<b>P. agregado (kg)</b>	24.75	24.60	24.85
<b>PUSS (kg/m<sup>3</sup>)</b>	1,760	1,740	1,760
<b>PUSS prom. (kg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>1,750</b>		

**Fuente y Elaboración:** Autoría propia.

### **Peso Unitario Seco Compacto del Agregado Fino (ASTM C-29 / NPT 400.017)**

- Se tomó una cantidad de material representativa y se redujo a tamaño de muestra de ensayo por cuarteo.
- La muestra que se tomó fue aproximadamente de 125 a 200% de la cantidad requerida a llenar en el recipiente de ensayo.
- Se llevó la muestra seleccionada a la estufa a una temperatura constante de 110 ± 5°C.
- Se llenó el recipiente con agua a temperatura ambiente y se cubrió con una placa de vidrio para eliminar las burbujas y exceso de agua.
- Se determinó el peso del agua en el recipiente usado.
- Se calculó el volumen (V) del recipiente, dividiendo el peso del agua que llena el recipiente entre la densidad del agua.
- Se llenó la tercera parte del recipiente con el material, emparejando la superficie con los dedos.
- Luego, se apisonó 25 veces de manera uniforme con una varilla; después se llenó hasta las 2/3 partes y se repitió el apisonado, para que por último llenar

el recipiente y apisonarlo el mismo número de veces que las anteriores ocasiones.

- Finalmente se determinó el peso del recipiente más la cantidad de material necesaria para llevarlo.

### Datos preliminares

**Peso recipiente:** 5.30 kg

**Peso del agua:** 14.10 kg

**Densidad agua:** 1,000.00 kg/m<sup>3</sup>

**Volumen agua:** 0.0141 m<sup>3</sup>

**Tabla 26:** Ensayo de Peso Unitario Seco Compacto.

	MUESTRA 01	MUESTRA 02	MUESTRA 03
<b>Vol. recipiente (m<sup>3</sup>)</b>	0.0141	0.0141	0.0141
<b>Peso Recipiente (kg)</b>	5.30	5.30	5.30
<b>P. recipiente + agregado (kg)</b>	30.95	31.05	31.25
<b>P. agregado (kg)</b>	25.65	25.75	25.95
<b>PUSS (kg/m<sup>3</sup>)</b>	1,820	1,830	1,840
<b>PUSS prom. (kg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>1,830</b>		

Fuente y Elaboración: Autoría propia.

### Gravedad Específica y Absorción del Agregado Grueso (ASTM C-127 / NPT 400.021)

- Se mezcló una muestra representativa de manera uniforme, y se redujo a la cantidad necesaria.
- Como segundo paso, se descartó todo el material que pasó la malla N° 4 y luego se lavó el material, para así remover el polvo e impurezas.
- Después del proceso anterior, se seleccionó una cantidad considerable, a partir de la muestra mínima de ensayo, que para el tamaño de  $\frac{3}{4}$  " corresponde a 3 kg.
- Como siguiente paso, se llevó la muestra a la estufa una temperatura  $110 \pm 5$  °C por 24 horas o hasta obtener peso constante.
- Luego de sacó la muestra y se ventiló por aproximadamente 2 horas, para después sumergir en agua a una temperatura ambiente en un periodo de 24 horas  $\pm 4$  horas.

- Se removió la muestra del agua y se hizo rodar sobre un paño de tela absorbente hasta que se eliminó toda el agua visible; para después tomar el peso de la muestra en la condición de Saturado Superficialmente Seca.
- Una vez pasada la muestra, se colocó la muestra estado Saturada Superficialmente Seca en una cesta con alambre y se determinó su peso sumergido.
- Finalmente se dejó secar la muestra en la estufa, hasta obtener peso constante a una temperatura de 100 °C +/- 5°C y dejando enfriar a una temperatura ambiente hasta que la muestra haya enfriado a una temperatura cómoda al tacto, para después obtener su peso.

**Tabla 27:** Ensayo de Peso Específico y Porcentaje de Absorción del Agregado Grueso.

	P. sss (g)	P. sum. (g)	P. seco (g)	Pe. sss	Pea	Pem	% Absorción
<b>Muestra 01</b>	3,300.00	2,078.00	3,269.30	2.70	2.74	2.68	0.9
<b>Muestra 02</b>	3,300.50	2,082.00	3,271.60	2.71	2.75	2.68	0.9
			<b>PROMEDIO</b>	2.71	2.75	<b>2.68</b>	<b>0.9</b>

**Fuente y Elaboración:** Autoría propia.

### **Gravedad Específica y Absorción del Agregados Finos (ASTM C-128 / NTP 400.022)**

- Se mezcló uniformemente el material y se redujo por cuarteo hasta obtener una cantidad aproximada de 1 kg.
- Se colocó la muestra en la estufa a una temperatura de 110 ± 5 °C hasta obtener una masa constante.
- Una vez sacada la muestra de la estufa, se sumergió totalmente en agua y se dejó reposar por 24 horas.
- Se decantó el agua evitando la pérdida de los finos del material.
- Luego se colocó sobre una cocina pequeña, removiendo frecuentemente la muestra hasta lograr un secado superficial.
- Una vez seca la superficie, se colocó la muestra en el cono de ensayo en tres capas, cada 1/3 del volumen, compactando con 25 golpes por cada capa.

- Al realizar el ensayo, cuando al quitar el cono se derrumbó 1/3 de la parte de encima, se consiguió la condición de Saturada Superficialmente Seca en la muestra.
- Luego se introdujo en una fiola 500 g del material en condición Saturado Superficialmente Seco, para después llenar el frasco con agua hasta la marca de 500 cm<sup>3</sup> y se agitó el frasco para eliminar las burbujas por aproximadamente 20 minutos.
- Después de eliminar las burbujas de aire de la fiola, se llenó el frasco con agua hasta el punto de calibración.
- Como siguiente paso, se determinó el peso total del frasco, muestra y agua.
- Luego se removió la muestra del frasco y se llevó a la estufa a un secado contante a una temperatura de 110 ± 5 °C, para después dejar enfriar a temperatura ambiente por aproximadamente una hora y se determinó el peso.

**Tabla 28:** Ensayo de Peso Específico y Porcentaje de Absorción del Agregado Fino.

	Wo (g)	V (cm <sup>3</sup> )	Va	Pe. sss	Pea	Pem	% Absorción
<b>Muestra 01</b>	487.40	497.80	313.30	2.71	2.84	2.64	2.6
<b>Muestra 02</b>	487.40	497.60	313.20	2.71	2.84	2.64	2.6
			<b>PROMEDIO</b>	2.71	2.84	<b>2.64</b>	<b>2.6</b>

**Fuente y Elaboración:** Autoría propia.

## DISEÑO DE MEZCLA POR EL MÉTODO ACI-211

### PRIMER PASO: Selección de la Resistencia a la Compresión ( $f'c$ )

Se Seleccionó una resistencia de  $280 \text{ kg/cm}^2$ , ya que es el valor mínimo recomendado para Pavimentos Rígidos, según el Manual de Carreteras “Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos”, considerando también que la finalidad del proyecto de investigación es un concreto de uso para el tipo de pavimentos mencionados.

$$f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$$

### SEGUNDO PASO: Elección del Asentamiento.

De acuerdo con el uso del concreto se elige un tipo consistencia, en este caso por tratarse de un concreto para Pavimento Rígido es necesario el uso de una mezcla de consistencia “seca” valor que oscila entre 0” (0 mm) a 2”(50mm). Y por criterios de trabajabilidad de la mezcla, se hará uso de un asentamiento de 1”.

$$\text{Asentamiento} = 1''$$

### TERCER PASO: Elección del Tamaño Máximo Nominal (TMN) y Tamaño Máximo (TM).

El Tamaño Máximo Nominal del Agregado Grueso será de  $3/4''$ , siendo un requerimiento según el ACI 318S-11 que el TMN del agregado debe ser menor o igual que  $1/3$  del espesor de la losa ( $\text{TMN} \leq h/3$ ).

$$\text{TMN} = 3/4''$$

#### CUARTO PASO: Cálculo del Agua de la Mezcla y Contenido del Aire.

**Tabla 29:** Requisitos de Agua Mezcla y Contenido de Aire para distintos Requerimientos.

Revenimiento (asentamiento) (mm)	Agua, kilogramos por metro cúbico de concreto, para los tamaños de agregado indicados							
	3/8 pulg.	½ pulg.	¾ pulg.	1 pulg.	1 ½ pulg.	2 pulg.	3 pulg.	6 pulg.
<b>Concreto sin aire incluido</b>								
1" a 2" 25 a 50	207	199	190	179	166	154	130	113
3" a 4" 75 a 100	228	216	205	193	181	169	145	124
6" a 7" 150 a 175	243	228	216	202	190	178	160	-
Cantidad aproximada de aire atrapado en un concreto sin aire incluido, porcentaje	3	2.5	2	1.5	1	0.5	0.3	0.2
<b>Concreto con aire incluido</b>								
1" a 2" 25 a 50	181	175	168	160	150	142	122	107
3" a 4" 75 a 100	202	193	184	175	165	157	133	119
6" a 7" 150 a 175	216	205	197	184	174	166	154	-
Promedio del contenido de aire total recomendado, para el nivel de exposición, porcentaje								
Exposición leve	4.5	4.0	3.5	3.0	2.5	2.0	1.5	1.0
Exposición moderada	6.0	5.5	5.0	4.5	4.5	4.0	3.5	3.0
Exposición severa	7.5	7.0	6.0	6.0	5.5	5.0	4.5	4.0

Fuente: ACI 211.1.

El concreto diseñado, será del tipo "sin aire incluido".

Considerando un  $TMN = 3/4"$

Dato ya obtenido de  $Asentamiento = 1"$

Por lo tanto, según la tabla, corresponde a la cantidad de  $Agua = 190 L/m^3$ .

También, corresponde la cantidad de  $Aire incluido = 2\%$ .

#### QUINTO PASO: Selección de la Relación AMC ó AC.

Se Seleccionó, mediante la siguiente tabla, la Resistencia a la Compresión Media Requerida.

**Tabla 30:** Determinación del  $f'_{cr}$  cuando no hay data histórica para calcular "s".

Resistencia a compresión especificada, $f'_c$ , kg/cm <sup>2</sup>	Resistencia a compresión media requerida, kg/cm <sup>2</sup>
Menos de 210	$f'_c + 70$
210 a 350	$f'_c + 84$
Más de 350	$1.10 f'_c + 50$

Fuente: Adaptada del ACI 318.

$$f'_{cr} = f'_c + 84 \text{ (kg/cm}^2\text{)}$$

$$f'_{cr} = 280 + 84 \text{ (kg/cm}^2\text{)}$$

$$f'_{cr} = 364 \text{ kg/cm}^2$$

Ahora, para determinar la relación Agua/ Cemento (A/C), se hizo uso de la siguiente tabla:

**Tabla 31:** Dependencia entre la Relación Agua – Material Cementante y la Resistencia a la Compresión.

Resistencia a Compresión a los 28 Días, kg/cm <sup>2</sup> (Mpa)	Relación agua-material cementante en masa	
	Cemento sin aire incluido	Cemento con aire incluido
450 (45)	0.38	0.31
400 (40)	0.43	0.34
350 (35)	0.48	0.40
300 (30)	0.55	0.46
250 (35)	0.62	0.53
200 (20)	0.70	0.61
150 (15)	0.80	0.72

**Fuente:** Adaptada del ACI 211.1 del ACI 211.3.

Nos ubicamos en la parte de la tabla donde se encuentra e interpolamos hasta llegar al valor correspondiente para el  $f'_{cr}$  trabajado.

$$f'_{cr} = 364 \text{ kg/cm}^2$$

$$400 \text{ ————— } 0.43$$

$$364 \text{ ————— } x$$

$$350 \text{ ————— } 0.48$$

Interpolando, llegamos al valor de:  $x = 0.466$

Por lo tanto: Relación a/c = 0.4666

### SEXTO PASO: Cálculo del Contenido de Cemento

Ya habiendo realizado los pasos anteriores como la cantidad de agua y la relación a/c, despejamos la formula mostrada a continuación, con el fin de encontrar la cantidad de cemento de diseño.

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

$$\text{Contenido de cemento (kg / m}^3\text{)} = \frac{190 \text{ (L / m}^3\text{)}}{0.466}$$

$$\text{Contenido de cemento} = 408 \text{ kg / m}^3$$

**Tabla 32:** Resumen de datos hasta momento.

Materiales	P. seco (kg/m <sup>3</sup> )	Volumen (m <sup>3</sup> )
Cemento Tipo 1	408	0.1308
Agua	190	0.1900
Agregado fino		
Agregado Grueso		
Aire (2%)	-	0.0200
Balance volúmenes		0.3408
Saldo volumen		0.6592

**Fuente y Elaboración:** Autoría propia.

### SÉPTIMO PASO: Estimación del Agregado Fino y Grueso.

Ya en este paso, se determina los volúmenes absolutos de los agregados, teniendo en consideración los siguientes datos: (TMN A.G.= 3/4" y MF A.F.= 2.57)

**Tabla 33:** Volumen de Agregado Grueso por Volumen Unitario de Concreto.

Tamaño máximo nominal del agregado mm (pulg.)	Volumen del agregado grueso varillado (compactado) en seco por volumen unitario de concreto para diferentes módulos de finura de agregado fino			
	2.40	2.60	2.80	3.00
9.5 (3/8)	0.50	0.48	0.46	0.44
12.5 (1/2)	0.59	0.57	0.55	0.53
19.00 (3/4)	0.66	0.64	0.62	0.60
25 (1)	0.71	0.69	0.67	0.65
37.5 (1 1/2)	0.75	0.73	0.71	0.69
50 (2)	0.78	0.76	0.74	0.72
75 (3)	0.82	0.80	0.78	0.76
150 (6)	0.87	0.85	0.83	0.81

**Fuente y Elaboración:** Autoría propia.

$$2.40 \quad \text{-----} \quad 0.66$$

$$2.57 \quad \text{-----} \quad x$$

$$2.60 \quad \text{-----} \quad 0.64$$

Interpolando, llegamos al valor de:  $x = 0.6430$

Por tanto, el factor AG = 0.6430

$$\text{Peso seco AG} = \text{PUSC (AG)} \times \text{Factor AG}$$

$$\text{Peso seco AG} = 1,550 \times 0.6430$$

$$\text{Peso seco AG} = 996.65$$

$$\text{Peso seco AG} = 997 \text{ kg/m}^3$$

Por tanto, El volumen Absoluto de AG. es:

$$\text{Vol. Abs. AG} = 0.3720 \text{ m}^3$$

Ahora calculamos, el Volumen absoluto y Peso Seco del Agregado Fino.

$$\text{Vol. AF} = \text{Volumen faltante agregados} - \text{Volumen AG}$$

$$\text{Vol. AF} = 0.6592 - 0.3720$$

$$\text{Vol. AF} = 0.2872 \text{ m}^3$$

$$\text{Peso seco AF} = 0.2872 \times 2640$$

$$\text{Peso seco AF} = 758.208$$

$$\text{Peso seco AF} = 758 \text{ kg/m}^3$$

Ya obteniendo los últimos datos, mostrados anteriormente; podemos determinar el Peso Seco y el Volumen de Todos los materiales, que serán agrupados en la siguiente tabla:

**Tabla 34:** Resumen de Datos.

<b>Materiales</b>	<b>P. seco (kg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Volumen (m<sup>3</sup>)</b>
<b>Cemento Tipo 1</b>	408	0.1308
<b>Agua</b>	190	0.1900
<b>Agregado fino</b>	758	0.2872
<b>Agregado Grueso</b>	997	0.3720
<b>Aire (2%)</b>	-	0.0200
<b>Total</b>	2,353	1.0000

**Fuente y Elaboración:** Autoría propia.

Ahora realizaremos las correcciones por Humedad y % Absorción de los agregados

### **Corrección por % Absorción**

Para realizar la corrección por Absorción, se utilizarán las siguientes formulas:

$$\text{Correc. Peso AG sss} = \text{Peso AG seco} \times \left( 1 + \frac{\% \text{ abs}}{100} \right)$$

$$\text{Correc. Peso AF sss} = \text{Peso AF seco} \times \left( 1 + \frac{\% \text{ abs}}{100} \right)$$

**Tabla 35:** Corrección por % Absorción.

Materiales	P. seco (kg/m <sup>3</sup> )	Volumen (m <sup>3</sup> )	% Absorción	Corrección por % Absorción	Peso SSS (kg/m <sup>3</sup> )
Cemento Tipo 1	408	0.1308			408
Agua	190	0.1900			190
Agregado fino	758	0.2872	2.6	692x (1+2.6/100)	778
Agregado Grueso	997	0.3720	0.9	997x (1+0.9/100)	1,006
Aire (2%)	-	0.0200			
TOTAL	2,353	1.0000			2,382

**Fuente y Elaboración:** Autoría propia.

### Corrección por % Humedad

Para realizar la corrección por Humedad, se utilizarán las siguientes formulas:

$$\text{Correc. Peso AG Hum.} = \text{Peso AG seco} \times \left( 1 + \frac{\% \text{Hum}}{100} \right)$$

$$\text{Correc. Peso AF Hum.} = \text{Peso AF seco} \times \left( 1 + \frac{\% \text{Hum}}{100} \right)$$

$$\text{Aporte de Agua AG} = \text{Peso AG seco} \times \left( \frac{\% \text{Hum} - \% \text{abs}}{100} \right)$$

$$\text{Aporte de Agua AF} = \text{Peso AF seco} \times \left( \frac{\% \text{Hum} - \% \text{abs}}{100} \right)$$

**Tabla 36:** Corrección por % Humedad.

Materiales	P. seco (kg/m <sup>3</sup> )	Peso SSS (kg/m <sup>3</sup> )	% Humedad	Agua de Humedad	Peso húmedo (kg/m <sup>3</sup> )
Cemento Tipo 1	408	408			408
Agua	190	190			202
Agregado fino	758	778	1.7	-6.82	771
Agregado Grueso	997	1,006	0.4	-4.99	1001
Aire (2%)	-				
TOTAL	2,353	2,382			2,382

**Fuente y Elaboración:** Autoría propia.

## Resumen de los Pesos (Seco, S.S.S. y Húmedo)

Finalmente, se transcriben todos los pesos obtenidos en una tabla resumen, como se muestra continuación:

**Tabla 37:** Resumen de pesos (Seco, S.S.S y Húmedo).

Materiales	P. seco (kg/m <sup>3</sup> )	Peso SSS (kg/m <sup>3</sup> )	Peso húmedo (kg/m <sup>3</sup> )
<b>Cemento Tipo 1</b>	408	408	408
<b>Agua</b>	190	190	202
<b>Agregado fino</b>	758	778	771
<b>Agregado Grueso</b>	997	1006	1001
<b>Aire (2%)</b>	-	-	-
<b>PUC (kg/cm<sup>2</sup>)</b>	2,353	2,382	2,382

Fuente y Elaboración: Autoría propia.

## ENSAYOS FÍSICOS

### Determinación del Asentamiento del Concreto (ASTM C-143 / NTP 339.035)

- Como primer paso, se humedeció el Cono del Abrams y posteriormente se colocó en una superficie plana, húmeda y no absorbente.
- Después, se sujeta el molde con los pies, y se llena con la muestra de concreto fresco en tres capas, aproximadamente, 1/3 del volumen por capa.
- Se compactó la primera capa con 25 golpes haciendo uso de la varilla, los golpes fueron distribuidos uniformemente en su sección transversal. Los golpes se aplicaron en forma de espiral, hacia el centro del molde.
- Una vez llenadas todas las capas, se enrazó; para después retirar el molde, que se alzó cuidadosamente en sentido completamente vertical.
- Finalmente, se midió el asentamiento, mediante la diferencia de altura del molde y la altura medida sobre el centro de la base superior del espécimen.
- Se realizaron los asentamientos para las cuantías de refuerzo de:
  - Concreto de refuerzo de fibra a 0 kg/m<sup>3</sup> de macrofibras de PVC.
  - Concreto de refuerzo de fibra a 3 kg/m<sup>3</sup> de macrofibras de PVC.
  - Concreto de refuerzo de fibra a 4 kg/m<sup>3</sup> de macrofibras de PVC.
  - Concreto de refuerzo de fibra a 5 kg/m<sup>3</sup> de macrofibras de PVC.

## ENSAYOS MECÁNICOS

### Determinación de la Resistencia a la Compresión de Testigos Cilíndricos (ASTM C-39 / NTP 339.034)

- Primero retiró las probetas de la posa de curado, luego se cercioró que el diámetro individual de un cilindro no difiera del otro lado del mismo en 2%.
- Inmediatamente después de haber verificado las medidas, las probetas fueron llevadas a la máquina de ensayo, en condición húmeda.
- Se colocó el bloque de carga inferior sobre la plataforma de la máquina de ensayo, debajo del bloque superior. Y a su vez se limpió las superficies de los bloques inferior y superior, colocándose el espécimen sobre el bloque inferior.
- Antes de iniciar a ensayar los especímenes, se verificó que el indicador de carga sea cero.
- Se aplicó una carga sin golpes bruscos, a una velocidad correspondiente en el rango de  $0,25 \pm 0,05$  MPa/s. Cuya velocidad se mantuvo más que todo durante la segunda parte del ciclo de ensayo.
- La carga se aplicó hasta que el indicador de carga, en la pantalla de la máquina, comenzó a decrecer continuamente.
- Luego se registró la carga de rotura soportada por el espécimen, y el patrón de la falla.
- Finalmente, se determinó la resistencia a la compresión, dividiendo la carga máxima soportada entre el promedio de área de la sección transversal.

$$f'c = \frac{P}{(\pi d^2 / 4)}$$

### **Determinación de la Resistencia a la Flexión en Vigas Simplemente Apoyadas con Cargas a los Tercios del Tramo (ASTM C-78 / NTP 339.078)**

- Se retiró las muestras de la posa de curado, cerciorándose que todos los lados del espécimen deben formar ángulos rectos con las caras superior e inferior.
- Se centró la muestra sobre los bloques de carga y también sobre el sistema de carga con relación a la fuerza aplicada.
- Se refrendó las superficies de contacto de la muestra con láminas de cuero de 6.4mm de espesor y 30 mm de ancho, extendidos en todo el ancho de la muestra; para eliminar cualquier vacío o separación.
- La carga que se aplicó a una velocidad constante, dentro del rango de los 0.9 a 1.2 (Mpa /s) hasta que ocurrió la rotura.
- Se midió las muestra después del ensayo.
- Se tomó la cantidad de tres medidas en cada dimensión (bordes y centro), con precisión a 1.3 mm, para determinar así el ancho promedio, altura promedio y la ubicación de la línea de fractura de la probeta en la sección de falla.
- Finalmente, se tomó la medida de la carga máxima de rotura del espécimen.
- Como la fractura se dio en la zona de tensión, dentro del tercio libre, el módulo de rotura se calculó mediante la siguiente formula:

$$M' r = \frac{P.l}{b.d^2}$$

## DISEÑO DE UN PAVIMENTO RÍGIDO POR EL MÉTODO AASHTO 93

Se diseñará, a partir de los datos reales, obtenidos de la obra: "Mejoramiento de la carretera Oyon - Ambo, tramo 1: Oyon - desvío Cerro de Pasco (km 134+978 – km 157+420)" y los resultados obtenidos de la cuantía de refuerzo óptima en el concreto, de la presente investigación.

**Del expediente técnico del proyecto en mención, se tomaron los siguientes datos:**

### REQUISITOS DEL DISEÑO

- a) PERIODO DE DISEÑO (Años): 20
- b) NUMERO DE EJES EQUIVALENTES TOTAL (W18): 7.12E+06
- c) SERVICIABILIDAD INICIAL (pi): 4.5
- d) SERVICIABILIDAD FINAL (pt): 2.5
- e) FACTOR DE CONFIABILIDAD (R): 90%
- f) DESVIACION ESTANDAR NORMAL (Zr): -1.282
- g) DESVIACION ESTANDAR GLOBAL (So): 0.35
- h) COEFICIENTE DE TRANSMISIÓN DE CARGA (J): 2.8
- i) COEFICIENTE DE DRENAJE (Cd): 1.00

### PROPIEDADES DE LOS MATERIALES

El valor soporte de la subrasante (CBR, %) - reemplazo con material CBR = 20%

- a) MODULO DE REACCIÓN DE LA SUBRASANTE (Kc, pci): 240

**De los resultados del concreto patrón y del concreto con cuantía de refuerzo de (5 kg/m<sup>3</sup>):**

Resistencia a la compresión promedio concreto patrón: 330 kg/cm<sup>2</sup>

- Con este dato, se determinará el Módulo de Elasticidad del concreto, con la siguiente correlación recomendada por el ACI:

$$E = 57,000 \times (f'c)^{0.5} \quad (f'c \text{ en PSI})$$

$$f'c = 330 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \times \frac{2.20\text{lb}}{1\text{kg}} \times \frac{(2.54\text{cm})^2}{(1\text{in})^2}$$

$$f'c = 4,693.66 \frac{\text{lb}}{\text{in}^2}$$

$$f'c = 4,694 \text{ PSI}$$

$$E = 57,000 \times (4,694)^{0.5}$$

$$E = 3,905,228 \text{ PSI}$$

Resistencia a la compresión promedio concreto con fibras ( $5 \text{ kg/m}^3$ ):  $370 \text{ kg/cm}^2$

$$E = 57,000 \times (f'c)^{0.5} \quad (f'c \text{ en PSI})$$

$$f'c = 370 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \times \frac{2.20\text{lb}}{1\text{kg}} \times \frac{(2.54\text{cm})^2}{(1\text{in})^2}$$

$$f'c = 5,262.58 \frac{\text{lb}}{\text{in}^2}$$

$$f'c = 5,263 \text{ PSI}$$

$$E = 57,000 \times (5,263)^{0.5}$$

$$E = 4,135,153 \text{ PSI}$$

Resistencia a la Flexión promedio del Concreto Patrón:  $49.5 \text{ kg/cm}^2$

También conocida como: el Módulo de Rotura ( $Sc$ ) =  $704.06 \text{ PSI}$

Resistencia a la Flexión promedio del Concreto con fibras ( $5 \text{ kg/m}^3$ ):  $59.5 \text{ kg/cm}^2$

Módulo de Rotura ( $Sc$ ) =  $846.29 \text{ PSI}$

### Diseño del Pavimento empleando dos tipos de concreto

Teniendo ya los datos de entrada, se procederá a diseñar dos pavimentos por el método AASHTO 93; uno utilizando el módulo de elasticidad ( $E_c$ ) y el módulo de rotura ( $Sc$ ) del concreto patrón, de la presente investigación; y otro utilizando el concreto reforzado a  $5 \text{ kg/m}^3$  de fibra, con su ( $E_c$ ) y ( $Sc$ ).

El diseño del Pavimento se hará utilizando la siguiente Ecuación:

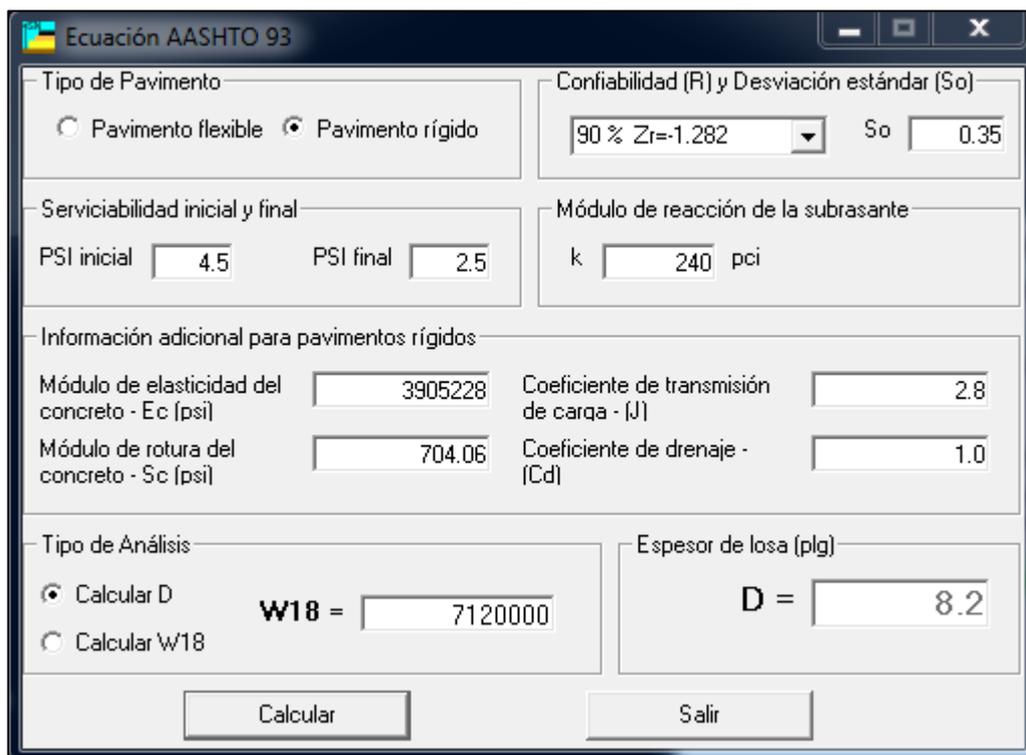
$$\text{Log}_{10} W_{82} = Z_R S_0 + 7.35 \text{Log}_{10} (D + 25.4) - 10.39 + \frac{\text{Log}_{10} \left( \frac{\Delta \text{PSI}}{4.5 - 1.5} \right)}{1 + \frac{1.25 \times 10^{19}}{(D + 25.4)^{8.46}}} + (4.22 + 0.32 P_t) \times \text{Log}_{10} \left( \frac{M_r C_{dx} (0.09 D^{0.75} - 1.132)}{1.51 \times J \left( 0.09 D^{0.75} - \frac{7.38}{(E_c / k)^{0.25}} \right)} \right)$$

### **PAVIMENTO RÍGIDO CON EL CONCRETO PATRÓN**

El diseño del pavimento rígido se llevó a cabo, ingresando los datos en el software: *Ecuación AASHTO 93*.

Este pavimento se trabajó con los datos de entrada del expediente y las características del Concreto Patrón: ( $E=3,905,228$  PSI) y ( $Sc=704.06$  PSI).

**Figura 15:** Diseño del pavimento rígido con el concreto patrón, con el software Ecuación. AASHTO 93.



**Fuente y Elaboración:** Autoría propia.

Se obtuvo, según el programa; el pavimento rígido tendrá un espesor de capeta de rodadura "D" de 8.2" diseñado con los datos presentados anteriormente.

### PAVIMENTO RÍGIDO CON EL CONCRETO REFORZADO CON FIBRAS (5 kg/m<sup>3</sup>)

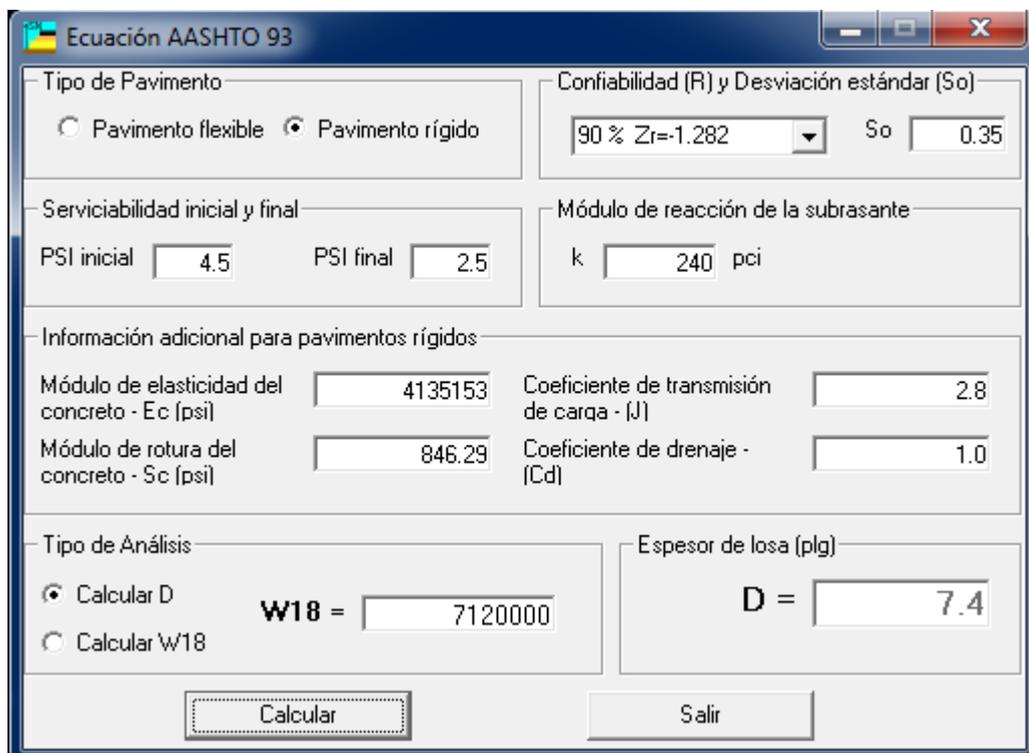
Para el caso del diseño de este Pavimento Rígido, también se realizó ingresando los datos en el software: *Ecuación AASHTO 93*.

Correspondiente a este pavimento a base de concreto con fibras, fue trabajado con los datos de entrada del expediente y las características del Concreto Reforzado con fibras de PVC a (5 kg/m<sup>3</sup>).

$$E = 4,135,153 \text{ PSI}$$

$$S_c = 846.29 \text{ PSI}$$

**Figura 16:** Diseño del Pavimento Rígido con el Concreto Reforzado con cuantía de (5 kg/m<sup>3</sup>), con el software *Ecuación AASHTO 93*.



The screenshot shows the 'Ecuación AASHTO 93' software interface with the following data:

- Tipo de Pavimento:**  Pavimento rígido
- Confiabilidad (R) y Desviación estándar (So):** 90 % Zr=-1.282, So = 0.35
- Serviciabilidad inicial y final:** PSI inicial = 4.5, PSI final = 2.5
- Módulo de reacción de la subrasante:** k = 240 pci
- Información adicional para pavimentos rígidos:**
  - Módulo de elasticidad del concreto - E<sub>c</sub> (psi) = 4135153
  - Módulo de rotura del concreto - S<sub>c</sub> (psi) = 846.29
  - Coefficiente de transmisión de carga - (J) = 2.8
  - Coefficiente de drenaje - (C<sub>d</sub>) = 1.0
- Tipo de Análisis:**  Calcular D,  Calcular W18
- W18 =** 7120000
- Espesor de losa (plg):** D = 7.4

**Fuente y Elaboración:** Autoría propia.

Con los presentados anteriormente, siendo ingresados al programa, se obtuvo un pavimento rígido espesor "D" de 7.4"

## CAPÍTULO 6. RESULTADOS

### Análisis Granulométrico de Agregados Finos y Gruesos (ASTM C-136/NPT 400.012)

#### Análisis granulométrico del Agregados Fino (ASTM C-136 / NPT 400.012)

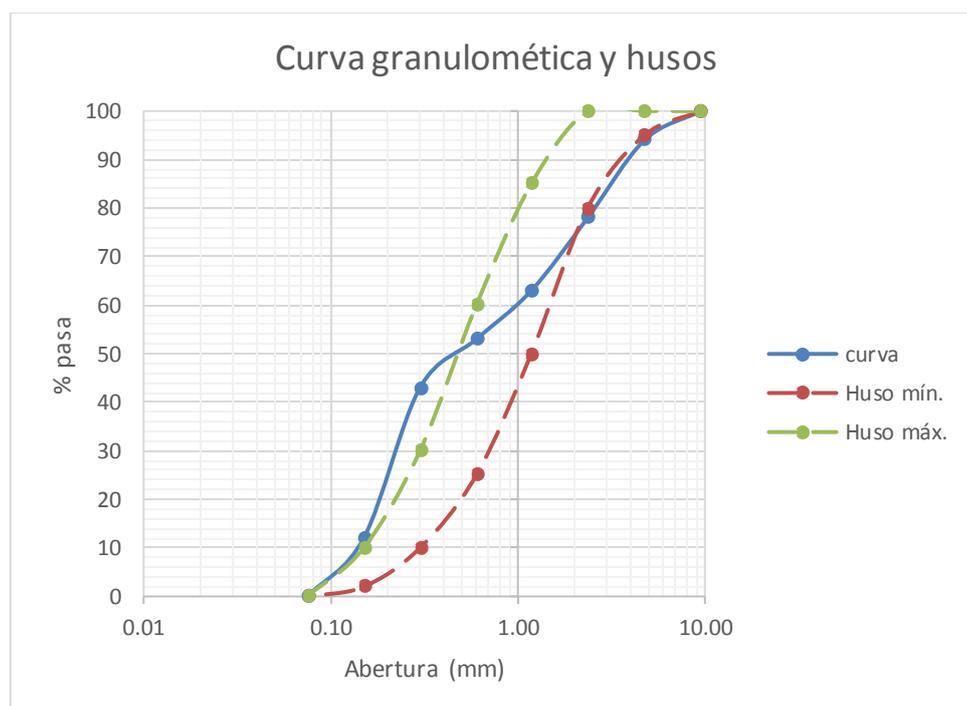
**Tabla 38:** Resultados de Análisis granulométrico del Agregado Fino y Husos.

TAMIZ		Huso (Tabla N°02) NTP 400.037 /ASTM C 33		Peso Retenido (g)	% Retenido	% Retenido Acumulado	% Pasa
Número	Abertura (mm)	Límite inferior	Límite superior				
3/8	9.50	100	100	0.00	0	0	100
N.º 4	4.75	95	100	84.88	6	6	94
N.º 8	2.36	80	100	208.39	16	22	78
N.º 16	1.18	50	85	198.73	15	37	63
N.º 30	0.60	25	60	139.62	10	47	53
N.º 50	0.30	10	30	127.24	10	57	43
N.º 100	0.15	2	10	418.77	31	88	12
FONDO	0.00			153.90	12	100	0
				1,331.53	100		

Fuente y Elaboración: Autoría propia.

Módulo de finura: 2.57

**Figura 17:** Curva Granulométrica del Agregado Fino y Husos.



Fuente y Elaboración: Autoría propia.

### Análisis granulométrico de Agregados Grueso (ASTM C-136 / NPT 400.012)

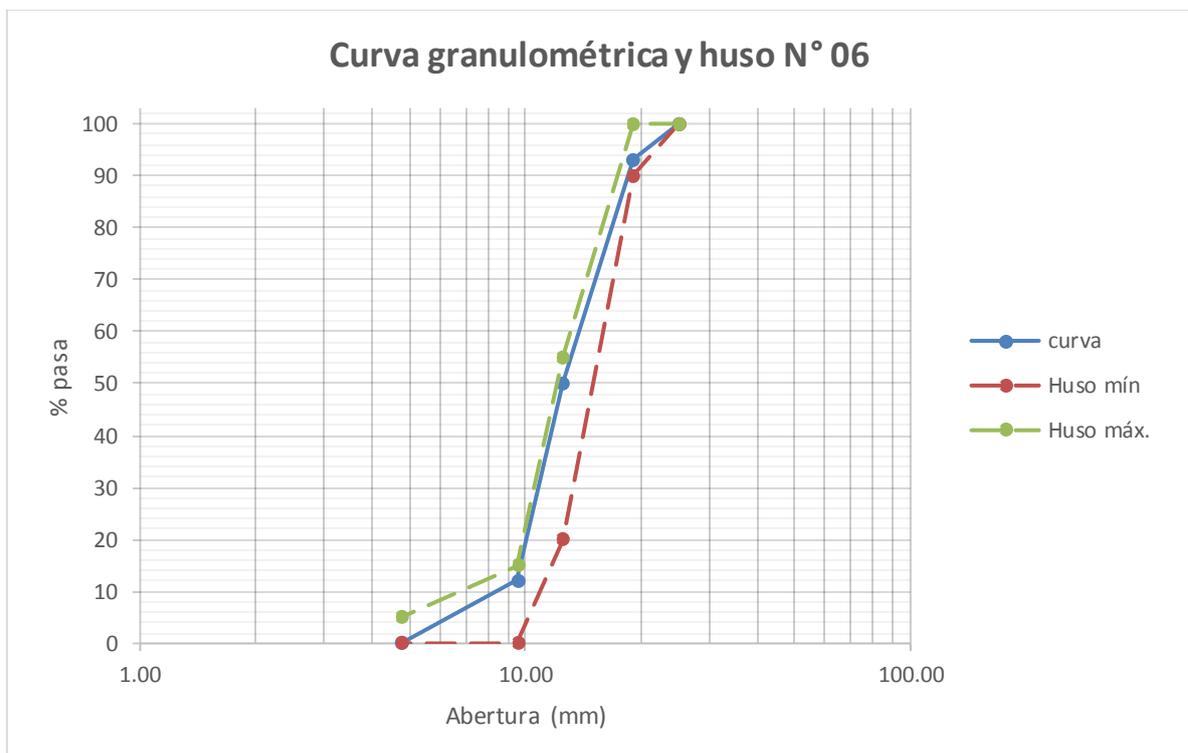
**Tabla 39:** Resultados de Análisis granulométrico del Agregado Grueso y Husos.

TAMIZ		Huso N° 6 NTP 400.037/ASTM C 33		Peso Retenido (g)	% Retenido	% Retenido Acumulado	% Pasa
Número	Abertura (mm)	Límite inferior	Límite superior				
2	50.00			0.00	0	0	100
1 1/2	37.50			0.00	0	0	100
1	25.00	100	100	0.00	0	0	100
3/4	19.00	90	100	332.64	7	7	93
1/2	12.50	20	55	2,166.41	43	50	50
3/8	9.50	0	15	1,904.90	38	88	12
N.º 4	4.75	0	5	596.05	12	100	0
N.º 8	2.36			0.00	0	100	0
FONDO	0.00			0.00	0	100	0
				5,000.00	100		

Fuente y Elaboración: Autoría propia.

Módulo de finura: 6.95

**Figura 18:** Curva Granulométrica del Agregado Grueso y Husos.



Fuente y Elaboración: Autoría propia.

**Contenido de Humedad Total Evaporable de los Agregados por Secado (ASTM C-566/ NPT 339.185)**

**Contenido de Humedad del Agregado Grueso (ASTM C-566 / NPT 339.185)**

$$\%W = 0.4$$

**Contenido de Humedad del Agregado Fino (ASTM C-566 / NPT 339.185)**

$$\%W = 1.7$$

**Peso Unitario y de Vacíos de los Agregados (ASTM C-29 / NPT 400.017)**

**Peso Unitario Seco Suelto del Agregado Grueso (ASTM C-29 / NPT 400.017)**

$$PUSS = 1,440 \text{ kg/m}^3$$

**Peso Unitario Seco Compacto del Agregado Grueso (ASTM C-29 / NPT 400.017)**

$$PUSC = 1,550 \text{ kg/m}^3$$

**Peso Unitario Seco Suelto del Agregado Fino (ASTM C-29 / NPT 400.017)**

$$PUSS = 1,750 \text{ kg/m}^3$$

**Peso Unitario Seco Compacto del Agregado Fino (ASTM C-29 / NPT 400.017)**

$$PUSC = 1,5830 \text{ kg/m}^3$$

**Gravedad Específica y Absorción del Agregado Grueso (ASTM C-127 / NPT 400.021)**

$$Pe = 2.68$$

$$\% \text{ Absorción} = 0.9$$

**Gravedad Específica y Absorción del Agregados Finos (ASTM C-128 / NTP 400.022)**

$$Pe = 2.64$$

$$\% \text{ Absorción} = 2.6$$

## DISEÑO DE MEZCLA POR EL MÉTODO ACI-211

**Tabla 40:** Pesos (Seco, S.S.S y Húmedo) del concreto  $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$  diseñado.

Materiales	P. seco ( $\text{kg/m}^3$ )	Peso SSS ( $\text{kg/m}^3$ )	Peso húmedo ( $\text{kg/m}^3$ )
Cemento Tipo 1	408	408	408
Agua	190	190	202
Agregado fino	758	778	771
Agregado Grueso	997	1006	1001
Aire (2%)	-	-	-
PUC ( $\text{kg/cm}^2$ )	2,353	2,382	2,382

Fuente y Elaboración: Autoría propia.

## ENSAYOS FÍSICOS

### Determinación del Asentamiento del Concreto (ASTM C-143 / NTP 339.035)

**Tabla 41:** Resultados del Asentamiento en el concreto en función a la cuantía de refuerzo.

ASENTAMIENTO		
( $\text{kg/m}^3$ ) Fibras	cm	Pulgadas
0	2.5	1"
3	2.0	3/4"
4	1.5	1/2"
5	1.0	1/2"

Fuente y Elaboración: Autoría propia.

## ENSAYOS MECÁNICOS

### Determinación de la Resistencia a la Compresión de Testigos Cilíndricos (ASTM C-39 / NTP 339.034)

**Tabla 42:** Resultados de la Resistencia a la Compresión del concreto en función a la cuantía de refuerzo.

Dosificación		Dimensiones		Carga (Kg)	f'c (kg/cm <sup>2</sup> )	f'c prom. (kg/cm <sup>2</sup> )
		D (mm)	A (cm <sup>2</sup> )			
0	1	150.90	178.84	59317	332	330
	2	151.10	179.32	58910	329	
	3	150.80	178.60	58923	330	
3 kg/m <sup>3</sup>	1	150.80	178.60	61202	343	336
	2	150.90	178.84	59886	335	
	3	150.80	178.60	58767	329	
4 kg/m <sup>3</sup>	1	151.00	179.08	60694	339	339
	2	150.80	178.60	60994	342	
	3	150.90	178.84	59956	335	
5 kg/m <sup>3</sup>	1	150.80	178.60	66273	371	370
	2	151.00	179.08	66103	369	
	3	150.90	178.84	66071	369	

**Fuente y Elaboración:** Autoría propia.

**Determinación de la Resistencia a la Flexión en Vigas Simplemente Apoyadas con Cargas a los Tercios del Tramo (ASTM C-78 / NTP 339.078)**

**Tabla 43:** Resultados del Resistencia a la Flexión del concreto en función a la cuantía de refuerzo.

Dosificación		Dimensiones			Carga (Kg)	M'r (kg/cm <sup>2</sup> )	M'r prom. (kg/cm <sup>2</sup> )
		Ancho (mm)	Peralte (mm)	Luz libre A. (mm)			
0	1	150	150	450	3691	49.0	49.5
	2	150	150	450	3703	49.5	
	3	150	150	450	3696	49.5	
3 kg/m <sup>3</sup>	1	150	150	450	3952	53.0	53.0
	2	150	150	450	3998	53.0	
	3	150	150	450	3979	53.0	
4 kg/m <sup>3</sup>	1	150	150	450	4160	55.5	55.5
	2	150	150	450	4164	55.5	
	3	150	150	450	4205	55.0	
5 kg/m <sup>3</sup>	1	150	150	450	4478	59.5	59.5
	2	150	150	450	4493	60.0	
	3	150	150	450	4452	59.5	

Fuente y Elaboración: Autoría propia.

## DISEÑO DE UN PAVIMENTO RÍGIDO POR EL MÉTODO AASHTO 93

### Pavimento Rígido con el Concreto Patrón

Espesor de capeta de Rodadura “D”= 8.2” (20.8 cm).

### Pavimento Rígido con el Concreto Reforzado con Fibras (5 kg/m<sup>3</sup>)

Espesor de Carpeta de Rodadura “D” de 7.4” (18.8 cm).

## ANÁLISIS DE COSTOS

### a) Análisis de costos unitarios del concreto sin fibras

En cuanto a los costos unitarios, se considera un primer cálculo haciendo uso del software S10, sin considerar las fibras.

**Tabla 44:** Resultados de Análisis de costos unitarios.

Partida	01.05.06	CONCRETO FC= 280 KG/CM2						
Rendimiento	m3/DIA	MO. 60.0000	EQ. 60.0000			Costo unitario directo por : m3	354.02	
Código	Descripción Recurso			Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
		Mano de Obra						
0101010002	CAPATAZ			hh	0.9998	0.1333	23.12	3.08
0101010003	OPERARIO			hh	0.9998	0.1333	20.10	2.68
0101010004	OFICIAL			hh	3.0000	0.4000	16.51	6.60
0101010005	PEON			hh	8.0003	1.0667	14.85	15.84
								28.20
		Equipos						
0301010006	HERRAMIENTAS MANUALES			%mo		5.0000	28.20	1.41
0301290001	VIBRADOR PARA CONCRETO			hm	3.0000	0.4000	5.66	2.26
								3.67
		Subpartidas						
010713000103	CONCRETO fc=280 kg/cm2			m3		1.0000	322.15	322.15
								322.15

**Fuente y Elaboración:** Autoría propia.

Según la tabla el costo asciende 354.02 soles por metro cúbico de concreto.

### b) Análisis de costos unitarios de fibras de PVC reciclado.

**Tabla 45:** Resultados de análisis de costos unitarios para la elaboración de la fibra.

Recurso	Unidad	Cantidad	Costo (s/)	Parcial (s/)
Mano de obra	hh	1.0000	3.54	3.54
Residuo PVC	kg	1.0000	1.28	1.28
Herramientas para cortar en tiras	%mo	5.0000	3.54	0.18
<b>Costo total de fibra</b>				<b>5.00</b>

**Fuente y Elaboración:** Autoría propia.

Se estima que el costo por 1 kilogramo de fibra reciclada de PVC es de s/ 5.00.

**c) Costos total de fibras por metro cúbico de concreto.**

Correspondiente al diseño del pavimento, se llevará a cabo con una cuantía de refuerzo óptima de  $5 \text{ kg/m}^3$ , donde se utilizará 5 kg de fibras por metro cúbico concreto, detallándose cálculo del costo total de las fibras en la siguiente tabla:

**Tabla 46:** Resultados del costo total de fibra en el concreto reforzado

Recurso	Unidad	Cantidad	Costo (s/)	Parcial (s/)
Fibra de PVC reciclado	kg	5.0000	5.00	25.00
Costo total de fibra utilizada por $\text{m}^3$ concreto				<b>25.00</b>

**Fuente y Elaboración:** Autoría propia.

Es decir, que el concreto reforzado ( $5 \text{ kg-fibra /m}^3$ ) tendrá un costo de s/ 25.00 por cada metro cúbico.

**d) En la carretera, por metro lineal, utilizando el concreto patrón:**

Considerando las siguientes dimensiones:

Largo = 1.00 m

Ancho = 9.00 m

Espesor = 0.21 m

$$\text{Volumen Concreto (patrón)} = 1.00 \text{ m} \times 9.00 \text{ m} \times 0.21 \text{ m} = 1.89 \text{ m}^3$$

$$\text{Volumen Concreto (patrón)} = 1.89 \text{ m}^3$$

Por tanto, por metro lineal, se utilizará:  $1.89 \text{ m}^3$  de concreto.

**Tabla 47:** Resultados de costos por metro, kilómetro y tramo total; utilizando concreto patrón.

Pavimento (concreto patrón)	Longitud (m)	Volumen por (1 m <sup>3</sup> )	Parcial (m <sup>3</sup> )	Costo 1 m <sup>3</sup> concreto (s/)	Costo Total (s/)
Metro lineal	1	1.89	1.89	354.02	669.10
Kilómetro	1,000.00	1.89	1,890.00	354.02	669,097.80
Trato total del proyecto	22,442.00	1.89	42,415.38	354.02	15,015,892.83

**Fuente y Elaboración:** Autoría propia.

**e) En la carretera, por metro lineal, utilizando el concreto reforzado de ( $5 \text{ kg/m}^3$ ):**

Considerando las dimensiones:

Largo = 1 m

Ancho = 9 m

Espesor (reducido por el uso de fibras) = 0.19 m

$$\text{Volumen Concreto (reforzado)} = 1.00 \text{ m} \times 9.00 \text{ m} \times 0.19 \text{ m} = 1.71 \text{ m}^3$$

$$\text{Volumen Concreto (reforzado)} = 1.71 \text{ m}^3$$

Por tanto, por metro lineal, se utilizará: 1.71 m<sup>3</sup> de concreto.

**Tabla 48:** Resultados de costos por metro, kilómetro y tramo total, utilizando concreto reforzado.

Pavimento (Concreto reforzado)	Longitud (m)	Volumen por (1 m <sup>3</sup> )	Parcial (m <sup>3</sup> )	Costo (s/)	Costo (s/) Total
<b>Metro lineal</b>					<b>648.12</b>
Concreto	1	1.71	1.71	354.02	605.37
Fibras (5 kg/m <sup>3</sup> )	1	1.71	1.71	25.00	42.75
<b>Kilómetro</b>					<b>648,124.20</b>
Concreto	1,000.00	1.71	1,710.00	354.02	605,374.20
Fibras (5 kg/m <sup>3</sup> )	1,000.00	1.71	1,710.00	25.00	42,750.00
<b>Trato total del proyecto</b>					<b>14,545,203.30</b>
Concreto	22,442.00	1.71	38375.820	354.02	13,585,807.80
Fibras (5 kg/m <sup>3</sup> )	22,442.00	1.71	38375.820	25.00	959,395.50

Fuente y Elaboración: Autoría propia.

#### f) Comparación de costos del concreto patrón y reforzado (5 kg/m<sup>3</sup>):

**Tabla 49:** Cuadro de comparación de costos de concreto patrón y reforzado

	Concreto patrón (s/)	Concreto (5 kg/m <sup>3</sup> ) (s/)	Ahorro (s/)	Ahorro (%)
<b>Metro lineal (1m)</b>	669.10	648.12	20.98	3.24
<b>Kilómetro (1 km)</b>	669,097.80	648,124.20	20,973.60	3.24
<b>Tramo (22,442 m)</b>	15,015,892.83	14,545,203.30	470,689.50	3.24

Fuente y Elaboración: Autoría propia.

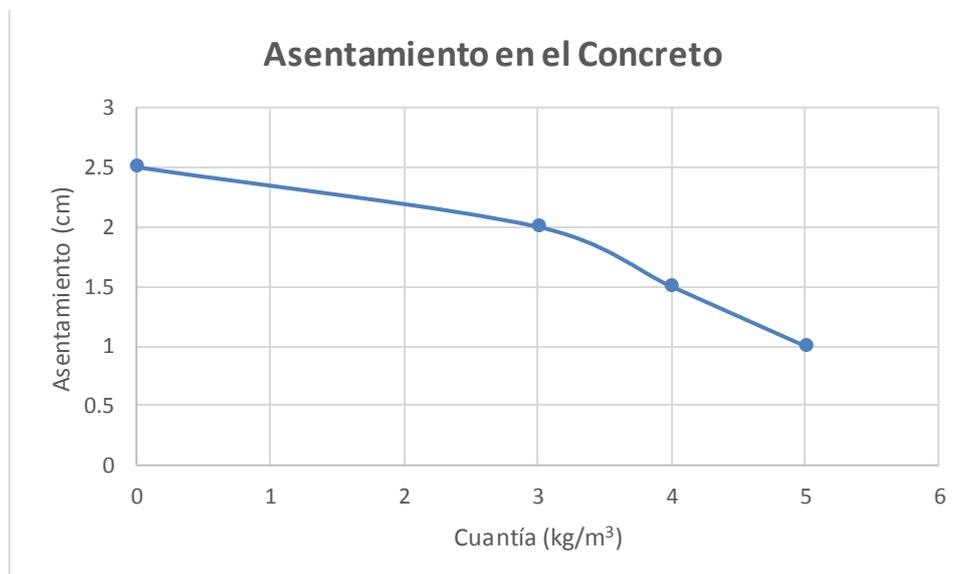
## CAPÍTULO 7. DISCUSIÓN

En lo que corresponde a la discusión de los resultados, se presentará la caracterización de los agregados, las propiedades físico - mecánicas, el diseño del pavimento rígido y la comparación de costos.

- Realizando el Análisis granulométrico del Agregado Fino, se pudo calcular el módulo de finura del agregado fino (MF), obteniéndose así un valor de 2.57, encontrándose dicho valor en el rango de 2.3 y 3.1, siendo un resultado óptimo, ya que la norma ASTM C33 así lo recomienda.
- En lo correspondiente al análisis granulométrico del agregado grueso, se obtuvo, que el Tamaño Máximo fue de 1", mientras que el tamaño máximo nominal fue de 3/4", valores que tienen concordancia, considerando que el TMN el retenido por el tamiz inmediato menor al tamaño Máximo.
- El contenido de humedad (%W) de los agregados fue ampliamente variable uno respecto a otro, ya que para el Agregado Grueso se obtuvo un (%W = 0.4), mientras que en el Agregado Fino dio un valor correspondiente a ((%W = 1.7).
- En lo que corresponde al peso unitario seco suelto (PUSS) del Agregado Fino, al realizar el ensayo, se obtuvo un valor de 1,750  $kg/m^3$ ; y para el Agregado Grueso, se obtuvo un valor correspondiente a 1,440  $kg/m^3$ ; siendo el valor del Agregado Fino, mayor.
- En el ensayo del peso unitario seco compacto (PUSC), para el agregado fino nos dio un valor correspondiente a 1,830  $kg/m^3$ , mientras que para el Agregado Grueso nos dio un valor promedio de a 1,550  $kg/m^3$ ; siendo el valor del primer agregado, superior al segundo.
- El peso específico (Pe) del agregado grueso obtuvo una cifra correspondiente a 2.68, y por otro lado para el agregado fino se calculó un valor promedio de 2.64.
- Correspondiente a la absorción de los agregados (% Abs.), para el agregado grueso se obtuvo un valor de 0.9, mientras que para el Agregado Fino se dio un valor de 2.6.

- Con respecto al diseño de mezcla por el método ACI 211, resultó que para un concreto de resistencia a la compresión ( $f_c = 280 \text{ kg/cm}^2$ ), tendrá un Peso Húmedo de  $2,382 \text{ kg/m}^3$ , con un valor de cemento del 17.13%, agua del 8.48%, Agregado Fino del 32.37% y Agregado Grueso 42.02%.
- En relación con el asentamiento del concreto en estado fresco, se apreció que el concreto patrón ( $0 \text{ kg/m}^3$ ) se dio un asentamiento correspondiente a 2.5 cm; por otro lado, con una cuantía de refuerzo  $3 \text{ kg/m}^3$ , el asentamiento fue de 2.0 cm; en otra circunstancia, para una cuantía de  $4 \text{ kg/m}^3$ , se presentó un asentamiento 1.5 cm; y finalmente con una cuantía de  $5 \text{ kg/m}^3$  se dio un asentamiento de 1.0 cm. Se denota pérdida del asentamiento por la incorporación de las macrofibras de PVC, ya que, a medida que se incorporando estas, disminuye la caída de la mezcla; fenómeno que es producido por la absorción de agua por parte de las fibras, en la mezcla de concreto.

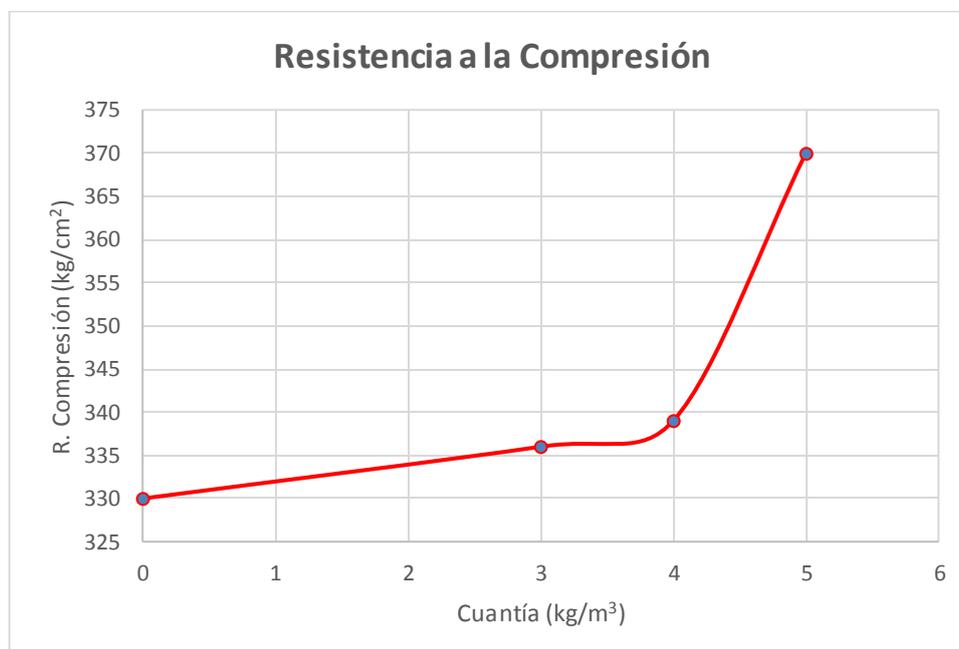
**Figura 19:** Curva de Asentamiento en Concreto en función a la Cuantía de Refuerzo.



**Fuente y Elaboración:** Autoría propia.

- En los correspondiente a la Resistencia a la Compresión, en la *figura 20* los resultados evidencian un aumento en la resistencia a la compresión a medida que se incorporan las fibras de PVC. Teniendo como base un concreto patrón de resistencia dada de  $330 \text{ kg/cm}^2$ ; aumentado a  $336 \text{ kg/cm}^2$ , con una cuantía de  $3 \text{ kg/m}^3$ ; por otro lado, para una cuantía de  $4 \text{ kg/m}^3$ , se produjo una resistencia de  $339 \text{ kg/cm}^2$ ; y por último al reforzar con una cuantía  $5 \text{ kg/m}^3$  se dispara la resistencia a  $370 \text{ kg/cm}^2$ . Se puede evidenciar, que la cuantía óptima de refuerzo fue la de  $5 \text{ kg/m}^3$ , donde se dio una crecida en la resistencia a la compresión del 12 % respecto al concreto patrón. La fibra ejerce un mecanismo de puenteo, transmitiendo esfuerzos y a su vez le proporciona la capacidad de continuar recibiendo carga en condición agrietada sin fallar, según Gonzales, que cita a [Pujadas 2008; Plaza 2010]. Por otro lado, según (Van Chanh, 2005) citado por Gonzales (2013) expone que la adición de fibras tiene poco efecto sobre la resistencia a la compresión.

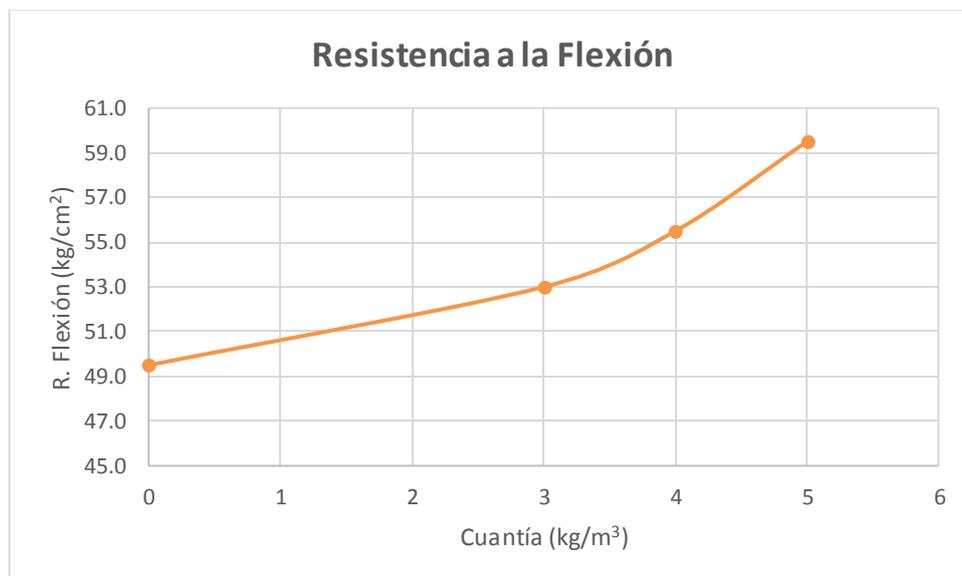
**Figura 20:** Curva de Resistencia a la Compresión del Concreto en función a la Cuantía de Refuerzo.



**Fuente y Elaboración:** Autoría propia.

- En cuanto, al efecto de la fibra de PVC sobre la Resistencia a la Flexión del concreto, se vio afectado positivamente, según la (figura 21); ya que al reforzar el concreto con una cuantía óptima de  $5 \text{ kg/m}^3$  se obtuvieron ganancias de un 20% respecto al concreto patrón. Por otro lado, los refuerzos de  $0 \text{ kg/m}^3$ ,  $3 \text{ kg/m}^3$ ,  $4 \text{ kg/m}^3$  y  $5 \text{ kg/m}^3$ , se pudieron obtener cifras de  $49.5 \text{ kg/cm}^2$ ;  $53.0 \text{ kg/cm}^2$ ;  $55.5 \text{ kg/cm}^2$ ;  $59.5 \text{ kg/cm}^2$  respectivamente. Los resultados de la crecida de la Resistencia a Flexión surgen a partir de un mecanismo de puente, donde se conoce que la fibra genera una acción diferenciada en el control de la micro fisura y la macro fisura en el concreto según [Pujadas 2008; Plaza 2010] citado por Gonzales (2013).

**Figura 21:** Curva de Resistencia a la Flexión del Concreto en función a la Cuantía de Refuerzo.



**Fuente y Elaboración:** Autoría propia.

- Lo correspondiente a los espesores de capa de rodadura, se pudo obtener, que al diseñar con los valores de concreto patrón nos arrojó un valor de 20.8 cm; mientras que con los valores del concreto reforzado con una cuantía de  $5 \text{ kg/m}^3$  se calculó un espesor de 18.8 cm, siendo principalmente, la razón de la reducción del espesor, el incremento de la resistencia a la flexión en el concreto reforzado, principalmente. Cabe considerar que, la incorporación de fibras reduce en 2 cm el espesor de capa de rodadura al diseñar el pavimento por el método AASHTO 93.

- En lo que corresponde al análisis de costos, se obtuvo, que el costo del concreto patrón por metro lineal asciende a 669.10 soles; mientras que el concreto con una cuantía óptima de  $5 \text{ kg/m}^3$  arrojó un costo de 648.12 soles por metro carretera, considerando que este último costo se obtuvo sumando la cantidad de concreto utilizado debido a la reducción del espesor, que se debió a la incorporación de fibras y al costo de las mismas. A nivel de comparación de los resultados, se presenta un ahorro del 3.24 % utilizando concreto reforzado con fibras de PVC. Ahorrando s/ 20.98 por metro lineal de carretera, s/ 20,973.60 por km. y s/ 470,689.50 en todo el tramo especificado del proyecto.

## CONCLUSIONES

- Al evaluar los tipos de residuos de tapicería, se obtuvo la cuantía más óptima sobre la resistencia a la compresión, módulo de rotura, asentamiento; siendo ésta la de  $5 \text{ kg/m}^3$ , produciendo una disminución de espesor de carpeta de rodadura, generando así, una reducción en costos de concreto en un Pavimento Rígido de  $280 \text{ kg/cm}^2$  y pudiéndose así mitigar los impactos ambientales al hacer uso de los materiales de reciclaje.
- Al determinar la resistencia a la compresión de los especímenes de concreto, se pudo comprobar, que la cuantía con fibras de PVC, que respondió de manera más óptima fue la de  $5 \text{ kg/m}^3$ , aumentando su resistencia en un 12 % respecto al concreto patrón.
- En la comparación de la resistencia a la flexión de las probetas con fibra de residuo PVC de tapicería con el concreto patrón; se obtuvo, que, con una cuantía de refuerzo de  $5 \text{ kg/m}^3$ , se obtuvo las mejores resistencias, con una ganancia del 20% sobre el concreto base.
- Se dimensionó la pérdida del grado de trabajabilidad del concreto reforzado con fibras de PVC recicladas y al compararlo con el asentamiento del concreto patrón, se obtuvo, que principalmente el concreto con mejores propiedades mecánicas, de una cuantía de  $5 \text{ kg/m}^3$ , tuvo una pérdida de sólo  $1.5 \text{ cm}$ .
- Se calculó el espesor de la carpeta de rodadura de un pavimento rígido por el método AASHTO-93 con el módulo de elasticidad y módulo de rotura, del concreto patrón y el reforzado con las fibras recicladas; obteniéndose un espesor de  $20.8 \text{ cm}$  con un concreto patrón y otro de  $18.8 \text{ cm}$  con el concreto reforzado.
- Al comparar los espesores de una carpeta de rodadura diseñada con un concreto patrón de  $280 \text{ kg/cm}^2$  y otra reforzada con fibras a base de

residuos de tapicería se obtuvo una diferencia de 2.0 *cm* en reducción de espesor de esta capa.

- Se analizó la reducción de costos en el pavimento rígido con el software S10 obteniéndose una reducción de costos de alrededor de S/ 20.98 por metro de pavimentos rígido, al agregar las fibras en una cuantía de 5  $\text{kg}/\text{m}^3$  de concreto.
- Se calculó el diseño de mezcla por el método ACI 211 de un concreto de resistencia a la compresión de 280  $\text{kg}/\text{cm}^2$ ; con un peso de 2,382 por  $\text{m}^3$ ; obteniéndose una relación agua/cemento (*a/c*) de 0.47; una cantidad de cemento de 408 *kg*, de agua de 202 *L*, 771 *kg* de agregado Fino y 1,001 *kg* de agregado grueso.
- Se evitará de cierto modo degradación del medio ambiente, ya que, al utilizar estos desechos como refuerzo en el concreto; se reducirá la contaminación, evitando la incineración de estos materiales y mala disposición de los desechos de las tapicerías.
- Se reducirá el volumen de basura que llega a diaria los botaderos, periferias y terrenos baldíos que forman basureros clandestinos, proporcionando una forma adecuada de reutilización de estos desechos.
- Se encontró de manera empírica y a su vez práctica, la cantidad óptima de fibras a añadir como refuerzo en el concreto, encontrándose que en uno de resistencia de 280  $\text{kg}/\text{cm}^2$  la proporción fue de 5  $\text{kg}/\text{m}^3$ . Siendo los fines de ese concreto, la carpeta de rodadura de un pavimento rígido.
- Mediante la recopilación bibliográfica se pudo encontrar que el tamaño adecuado de las fibras de PVC, siendo este de 2 *mm* de ancho y 50 *mm* de largo; y la relación longitud-diámetro fue de 25.

## RECOMENDACIONES

- Se recomienda que, en futuras tesis relacionadas con el tema de investigación, estudiar cuantías de refuerzo de fibra PVC superiores a los 5  $kg/m^3$ , con un tamaño de residuo de 50 mm x 2 mm en los ensayos de resistencia a la compresión, flexión y asentamiento.
- Resultaría importante, que se realicen investigaciones utilizando fibra de PVC, con tamaños superior a los 50 mm tamaños, evaluando tamaño vs resistencia.
- Sería conveniente realizar el diseño de un pavimento rígido utilizando los datos del concreto reforzado con la cuantía de  $5kg/m^3$ , ya que haciendo caso a ello se obtendrán mejores resultados.
- Se recomienda guardar los agregados en sacos plastificados, para que así no se altere su condición natural. Deben ser almacenados en un lugar libre de humedad para que mantengan dicha condición.
- Se recomienda revisar los certificados de calibración de los equipos de laboratorio antes de realizar cualquier ensayo.
- Se recomienda realizar el ensayo de peso específico de la arena sobre una superficie no absorbente, ya sea vidrio o cerámica; considerando que de lo contrario puede interferir en los resultados de dicha prueba.
- Se recomienda realizar los ensayos, tanto de caracterización, como físicos y mecánicos con las versiones actuales de la normativa peruana o ASTM.
- Se recomendaría a las empresas que trabajen los materiales utilizados en la investigación, clasificarlos adecuadamente antes de arrojados a la basura.
- Se recomienda al gobierno del Perú promover y financiar las investigaciones de este tipo, para así poder reafirmar y cumplir con lo expuesto en la Ley General de los Residuos Sólidos.

## REFERENCIAS

- Amezcua, V. (2014). *¿Cuánto reciclamos en Latinoamérica?* [en línea] Recuperado el 2 de mayo de 2016, de <http://www.naturamedioambiental.com/cuanto-reciclamos-en-latinoamerica/>
- Barreda, M., Iaini, C. y Sota, J. (2011). *Hormigón reforzado con fibras de polipropileno: tramo experimental de un pavimento de hormigón.* [en línea] Recuperado el 8 de mayo de 2016, de <http://www.materiales-sam.org.ar/sitio/biblioteca/neuquen/Trabajos/1801.PDF>
- Cadima, M., Rosas J. y Aguirre F. (2005). *Comportamiento de Hormigones Reforzado con y sin Fibras.* [en línea] Recuperado el 2 de mayo de 2016, de <http://www.upb.edu/sites/default/files/6CadimaN5.pdf>
- Fernández, M. (2011). *Hormigón*, Novena edición: Colegio de Ingenieros de Caminos Canales y Puertos. Madrid. España.
- Hernández, J. (2011). *Estudio comparativo de la resistencia a la compresión en mezclas de concreto elaboradas con materiales de reciclaje: plástico y llantas.* (Tesis de Ingeniería). Universidad de San Carlos, Guatemala .
- Huerta, G. y Vásquez J. (2012). *Estudio de caracterización de los residuos sólidos urbanos, distrito de Trujillo.* [en línea] Recuperado el 2 de mayo de 2016, de <http://siar.regionlalibertad.gob.pe/admDocumento.php?accion=bajar&docadjunto=1412>
- Ingeniería Civil (s.f.). *Módulo de elasticidad del Hormigón - método Para su determinación.* [en línea] Recuperado el 8 de mayo de 2016, de <http://www.ingenierocivilinfo.com/2011/06/modulo-de-elasticidad-del-hormigon.html>

- Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto (2007). *Concreto reforzado con fibras* [en línea] Recuperado el 2 de mayo de 2016, de <http://www.grupohym.com/wp-content/uploads/2016/03/Concreto-reforzado-con-fibras.pdf>
- López, J. (2015). *Análisis de las propiedades del concreto reforzado con fibras cortas de acero y macrofibras de polipropileno: influencia del tipo y consumo de fibra adicionado*. (Tesis de maestría). Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad de México. México.
- Ley N°27314 (2014)- Decreto Supremo N° 057- 04- PCM Reglamento de la Ley General de Residuos Sólidos (2004) Art. 01: “Objetivo”. Dirección General de Salud Ambiental. Perú.
- Martínez, A. y Cote, M. (2014). *Diseño y Fabricación de Ladrillo Reutilizando Materiales a Base de PET*. [en línea] Recuperado el 7 de mayo de 2016, de <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/4974825.pdf>
- Mendoza, C., Aire, C. y Dávila, P. (2011). *Influencia de las fibras de polipropileno en las propiedades del concreto en estados plástico y endurecido*. [en línea] Recuperado el 2 de mayo de 2016, de <http://www.scielo.org.mx/pdf/ccid/v2n2/v2n2a3.pdf>
- Ministerio del Ambiente. (2009). *Tercer Informe Nacional de la Situación Actual de la Gestión de los Residuos sólidos*. Lima: MINAN.
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2013). *Manual de Carreteras: Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos*. Lima: MTC.
- National Ready Mixed Concrete Association (s.f.). *CPI 35 – Prueba de Resistencia a la compresión del concreto* [en línea] Recuperado el 2 de mayo de 2016, de <http://www.nrmca.org/aboutconcrete/cips/cip35es.pdf>

- Norma Técnica Peruana E060 (2009). *Concreto Armado* [en línea] Recuperado el 02 de mayo de 2016, de: <http://www.construccion.org.pe/normas/rne2012/rne2006.htm>
- Osorio, D. (2011). *¿Qué es el módulo de elasticidad en el concreto?* [en línea] Recuperado el 8 de mayo de 2016, de <http://blog.360gradosenconcreto.com/que-es-el-modulo-de-elasticidad-en-el-concreto/>
- Peñaloza, C. (2015). *Comportamiento mecánico de una mezcla para concreto reciclado usando neumáticos triturados como reemplazo del 10% y 30% del volumen del agregado fino para un concreto con fines de uso estructural*. (Tesis de Ingeniería). Universidad católica de Colombia, Colombia, Bogotá.
- Rivera, G. (2010). *Concreto simple*. [en línea] Recuperado el 2 de mayo de 2016, de <http://civilgeeks.com/2013/08/28/libro-de-tecnologia-del-concreto-y-mortero-ing-gerardo-a-rivera-l/>
- RT. (2012). *Escasez de basura: Suecia se ve obligada a importar residuos del resto de Europa*. [en línea] Recuperado el 2 de mayo de 2016, de <https://actualidad.rt.com/sociedad/view/54138-escasez-basura-suecia-se-ve-obligada-importar-residuos-resto-europa>
- Sánchez, D. (2001). *Tecnología del concreto y de mortero*. (Quinta edición) Colombia: Bhandar.
- SIKA (s.f.). *Sika Fiber Force PP/PE-700/55* [en línea] Recuperado el 07 de mayo de 2016, de: [https://col.sika.com/dms/getdocument.get/0467a714-afda-320db635cedc1a629b29/coht\\_SikaFiber%20Force%20PP%20PE%20700%2055.pdf](https://col.sika.com/dms/getdocument.get/0467a714-afda-320db635cedc1a629b29/coht_SikaFiber%20Force%20PP%20PE%20700%2055.pdf).
- Torres, H. (2014). *Valoración de propiedades mecánicas y de durabilidad de concreto adicionado con residuos de llantas de caucho*. (Tesis de maestría). Escuela Colombiana de ingeniería Julio Garavito, Bogotá, Colombia.

## ANEXOS

### ANEXO N°01. NORMA ASTM C78, RESISTENCIA A LA FLEXIÓN



Designation: C 78 – 02

### Standard Test Method for Flexural Strength of Concrete (Using Simple Beam with Third-Point Loading)<sup>1</sup>

This standard is issued under the fixed designation C 78; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reapproval. A superscript epsilon ( $\epsilon$ ) indicates an editorial change since the last revision or reapproval.

*This standard has been approved for use by agencies of the Department of Defense.*

**1. Scope**

1.1 This test method covers the determination of the flexural strength of concrete by the use of a simple beam with third-point loading.

1.2 The values stated in inch-pound units are to be regarded as the standard. The SI equivalent of inch-pound units has been rounded where necessary for practical application.

1.3 *This standard does not purport to address all of the safety concerns, if any, associated with its use. It is the responsibility of the user of this standard to establish appropriate safety and health practices and determine the applicability of regulatory limitations prior to use.*

**2. Referenced Documents**

2.1 *ASTM Standards:*

- C 31 Practice for Making and Curing Concrete Test Specimens in the Field<sup>2</sup>
- C 42 Test Method for Obtaining and Testing Drilled Cores and Sawed Beams of Concrete<sup>2</sup>
- C 192 Practice for Making and Curing Concrete Test Specimens in the Laboratory<sup>2</sup>
- C 617 Practice for Capping Cylindrical Concrete Specimens<sup>2</sup>
- C 1077 Practice for Laboratories Testing Concrete and Concrete Aggregates for Use in Construction and Criteria for Laboratory Evaluation<sup>2</sup>
- E 4 Practices for Force Verification of Testing Machines<sup>3</sup>

**3. Significance and Use**

3.1 This test method is used to determine the flexural strength of specimens prepared and cured in accordance with Test Methods C 42 or Practices C 31 or C 192. Results are calculated and reported as the modulus of rupture. The strength determined will vary where there are differences in specimen size, preparation, moisture condition, curing, or where the

beam has been molded or sawed to size.

3.2 The results of this test method may be used to determine compliance with specifications or as a basis for proportioning, mixing and placement operations. It is used in testing concrete for the construction of slabs and pavements (Note 1).

**4. Apparatus**

4.1 The testing machine shall conform to the requirements of the sections on Basis of Verification, Corrections, and Time Interval Between Verifications of Practices E 4. Hand operated testing machines having pumps that do not provide a continuous loading in one stroke are not permitted. Motorized pumps or hand operated positive displacement pumps having sufficient volume in one continuous stroke to complete a test without requiring replenishment are permitted and shall be capable of applying loads at a uniform rate without shock or interruption.

4.2 *Loading Apparatus*—The third point loading method shall be used in making flexure tests of concrete employing bearing blocks which will ensure that forces applied to the beam will be perpendicular to the face of the specimen and applied without eccentricity. A diagram of an apparatus that accomplishes this purpose is shown in Fig. 1.

4.2.1 All apparatus for making flexure tests of concrete shall be capable of maintaining the specified span length and distances between load-applying blocks and support blocks constant within  $\pm 0.05$  in. ( $\pm 1.3$  mm).

4.2.2 The ratio of the horizontal distance between the point of application of the load and the point of application of the nearest reaction to the depth of the beam shall be  $1.0 \pm 0.03$ .

4.2.3 If an apparatus similar to that illustrated in Fig. 1 is used: the load-applying and support blocks should not be more than  $2\frac{1}{2}$  in. (64 mm) high, measured from the center or the axis of pivot, and should extend entirely across or beyond the full width of the specimen. Each case-hardened bearing surface in contact with the specimen shall not depart from a plane by more than 0.002 in. (0.05 mm) and shall be a portion of a cylinder, the axis of which is coincidental with either the axis of the rod or center of the ball, whichever the block is pivoted upon. The angle subtended by the curved surface of each block should be at least  $45^\circ$  (0.79 rad). The load-applying and support blocks shall be maintained in a vertical position and in

<sup>1</sup> This test method is under the jurisdiction of ASTM Committee C09 on Concrete and Concrete Aggregates and is the direct responsibility of Subcommittee C09.61 on Testing for Strength.  
Current edition approved Jan. 10, 2002. Published March 2002. Originally published as C 78–30T. Last previous edition C 78–00.  
<sup>2</sup> Annual Book of ASTM Standards, Vol 04.02.  
<sup>3</sup> Annual Book of ASTM Standards, Vol 03.01.

Fuente: Norma ASTM C78

## ANEXO N°02. NORMA ASTM C39, RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN



**Designation: C39/C39M – 14**

### Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens<sup>1</sup>

This standard is issued under the fixed designation C39/C39M; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reappraisal. A superscript epsilon ( $\epsilon$ ) indicates an editorial change since the last revision or reappraisal.

*This standard has been approved for use by agencies of the U.S. Department of Defense.*

**1. Scope\***

1.1 This test method covers determination of compressive strength of cylindrical concrete specimens such as molded cylinders and drilled cores. It is limited to concrete having a density in excess of 800 kg/m<sup>3</sup> [50 lb/ft<sup>3</sup>].

1.2 The values stated in either SI units or inch-pound units are to be regarded separately as standard. The inch-pound units are shown in brackets. The values stated in each system may not be exact equivalents; therefore, each system shall be used independently of the other. Combining values from the two systems may result in non-conformance with the standard.

1.3 *This standard does not purport to address all of the safety concerns, if any, associated with its use. It is the responsibility of the user of this standard to establish appropriate safety and health practices and determine the applicability of regulatory limitations prior to use. (Warning—Means should be provided to contain concrete fragments during sudden rupture of specimens. Tendency for sudden rupture increases with increasing concrete strength and it is more likely when the testing machine is relatively flexible. The safety precautions given in the **Manual of Aggregate and Concrete Testing** are recommended.)*

1.4 The text of this standard references notes which provide explanatory material. These notes shall not be considered as requirements of the standard.

**2. Referenced Documents**

2.1 *ASTM Standards:*<sup>2</sup>

**C31/C31M Practice for Making and Curing Concrete Test Specimens in the Field**

**C42/C42M Test Method for Obtaining and Testing Drilled Cores and Sawed Beams of Concrete**

**C192/C192M Practice for Making and Curing Concrete Test Specimens in the Laboratory**

**C617 Practice for Capping Cylindrical Concrete Specimens**

**C670 Practice for Preparing Precision and Bias Statements for Test Methods for Construction Materials**

**C873 Test Method for Compressive Strength of Concrete Cylinders Cast in Place in Cylindrical Molds**

**C1077 Practice for Agencies Testing Concrete and Concrete Aggregates for Use in Construction and Criteria for Testing Agency Evaluation**

**C1231/C1231M Practice for Use of Unbonded Caps in Determination of Compressive Strength of Hardened Concrete Cylinders**

**E4 Practices for Force Verification of Testing Machines**

**E74 Practice of Calibration of Force-Measuring Instruments for Verifying the Force Indication of Testing Machines**

**Manual of Aggregate and Concrete Testing**

**3. Summary of Test Method**

3.1 This test method consists of applying a compressive axial load to molded cylinders or cores at a rate which is within a prescribed range until failure occurs. The compressive strength of the specimen is calculated by dividing the maximum load attained during the test by the cross-sectional area of the specimen.

**4. Significance and Use**

4.1 Care must be exercised in the interpretation of the significance of compressive strength determinations by this test method since strength is not a fundamental or intrinsic property of concrete made from given materials. Values obtained will depend on the size and shape of the specimen, batching, mixing procedures, the methods of sampling, molding, and fabrication and the age, temperature, and moisture conditions during curing.

4.2 This test method is used to determine compressive strength of cylindrical specimens prepared and cured in accordance with Practices **C31/C31M**, **C192/C192M**, **C617**, and **C1231/C1231M** and Test Methods **C42/C42M** and **C873**.

4.3 The results of this test method are used as a basis for quality control of concrete proportioning, mixing, and placing

<sup>1</sup> This test method is under the jurisdiction of ASTM Committee C09 on Concrete and Concrete Aggregates and is the direct responsibility of Subcommittee C09.61 on Testing for Strength.

Current edition approved Feb. 1, 2014. Published February 2014. Originally approved in 1921. Last previous edition approved in 2012 as C39/C39M-12a. DOI: 10.1520/C0039\_C0039M-14.

<sup>2</sup> For referenced ASTM standards, visit the ASTM website, [www.astm.org](http://www.astm.org), or contact ASTM Customer Service at [service@astm.org](mailto:service@astm.org). For *Annual Book of ASTM Standards* volume information, refer to the standard's Document Summary page on the ASTM website.

Fuente: Norma ASTM C39.

## ANEXO N°03. NORMA ASTM C143, ASENTAMIENTO.

ASTM Internacional ha autorizado la traducción de esta norma pero no se responsabiliza por la exactitud técnica o lingüística de la traducción. Sólo la edición inglesa que ASTM publicó y protegió por la propiedad literaria debe ser considerada la versión oficial.

This Spanish standard is based on ASTM C143/C143M – 12, Standard Test Method for Slump of Hydraulic-Cement Concrete, 2012, Copyright ASTM International, 100 Barr Harbor Drive, West Conshohocken, PA 19428-2959, USA. Translated and reprinted pursuant to license agreement with ASTM International.

Esta norma en español está basada en la norma ASTM C143/C143M – 12, Standard Test Method for Slump of Hydraulic-Cement Concrete, 2012, esta norma está protegida por los derechos de autor de la ASTM International, 100 Barr Harbor Drive, West Conshohocken, PA 19428-2959, USA. Traducida y reimpresa según el acuerdo de licencia con ASTM International.



Designación: C143/C143M-12

### Método de Ensayo Normalizado para Asentamiento de Concreto de Cemento Hidráulico<sup>1</sup>

Esta norma ha sido publicada bajo la designación fija C143/C143M; el número inmediatamente siguiente a la designación indica el año de adopción inicial o, en caso de revisión, el año de la última revisión. Un número entre paréntesis indica el año de la última reaprobación. Una epsilon ( $\epsilon$ ) como superíndice indica una modificación editorial desde la última revisión o reaprobación.

*Esta norma ha sido aprobada para su utilización por agencias del Department of Defense.*

#### 1. Alcance<sup>\*</sup>

1.1 Este método de ensayo cubre la determinación del asentamiento de concreto de cemento hidráulico, tanto en laboratorio como en el campo.

1.2 Los valores indicados en unidades SI o en unidades pulgada-libra deben ser considerados como los estándares. Dentro del texto, las unidades SI se muestran entre corchetes. Los valores indicados en cada sistema pueden no ser exactamente equivalentes; por eso, cada sistema debe ser utilizado independientemente del otro. La combinación de valores de los dos sistemas puede resultar en la no conformidad con la norma.

1.3 El texto de esta norma cita notas y notas a pie de página, las cuales proporcionan material explicativo. Estas notas y notas a pie de página (excluyendo aquellas que aparecen en tablas y figuras) no deben considerarse como requisitos de la norma.

1.4 *Esta norma no pretende dirigir todas las inquietudes sobre seguridad, si las hay, asociadas con su utilización. Es responsabilidad del usuario de esta norma establecer prácticas apropiadas de seguridad y salud y determinar la aplicabilidad de las limitaciones reguladoras antes de su uso. (Advertencia—Las mezclas cementicias hidráulicas frescas son cáusticas y pueden causar quemaduras químicas a la piel y tejidos en caso de exposición prolongada.<sup>2</sup>)*

#### 2. Documentos Citados

2.1 *Normas ASTM:*<sup>3</sup>

C31/C31M Practice for Making and Curing Concrete Test Specimens in the Field

<sup>1</sup>Esta especificación está bajo la jurisdicción del Committee C09 on Concrete and Concrete Aggregates de la ASTM y es responsabilidad directa del Subcommittee C09.60 on Testing Fresh Concrete.

Edition actual aprobada el 1 de noviembre de 2012. Publicada en noviembre de 2012. Aprobada originalmente en 1922. Última edición previa aprobada en 2010 como C143/C143M-10a DOE: 10.1520/C0143\_C0143M-12

<sup>2</sup>Vea la Sección sobre *Safety Precautions, Manual of Aggregate and Concrete Testing, Annual Book of ASTM Standards*, Vol. 04.02.

<sup>3</sup>Para consultar las normas ASTM citadas, visite el sitio web de ASTM, [www.astm.org](http://www.astm.org), o contacte el Servicio de Atención al Cliente de ASTM en [service@astm.org](mailto:service@astm.org). Para obtener información sobre *Annual Book of ASTM Standards*, consulte la página titulada *Document Summary* en el sitio web de ASTM.

**\*Al final de esta norma aparece una sección de Resumen de Cambios.**

Copyright © ASTM International, 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19428-2959, United States.  
Traducido por el Servicio Internacional del ICC.

Fuente: Norma ASTM C143.

**ANEXO N°04. FICHA TÉCNICA DE CEMENTO T1 DE PACAMAYO**



**PACASMAYO**

**CEMENTOS PACASMAYO S.A.A.**  
Calle La Colonia Nro.150 Urb. El Vivero de Monterrico Santiago de Surco - Lima  
 Carretera Panamericana Norte Km. 666 Pacasmayo - La Libertad  
 Teléfono 317 - 0000



SGC-REG-06-G0002  
Versión 01

**Cemento Portland Tipo I**

Conforme a la NTP 334.009 / ASTM C150  
Pacasmayo, 20 de Julio del 2016

COMPOSICIÓN QUÍMICA		CPSAA	Requisito NTP 334.009 / ASTM C150
MgO	%	2.2	Máximo 6.0
SO3	%	2.8	Máximo 3.0
Pérdida por Ignición	%	3.0	Máximo 3.5
Residuo Insoluble	%	0.73	Máximo 1.5

PROPIEDADES FÍSICAS		CPSAA	Requisito NTP 334.009 / ASTM C150
Contenido de Aire	%	8	Máximo 12
Expansión en Autoclave	%	0.10	Máximo 0.80
Superficie Específica	cm <sup>2</sup> /g	3770	Mínimo 2800
Densidad	g/mL	3.12	NO ESPECÍFICA

**Resistencia Compresión :**

Resistencia Compresión a 3días	MPa (Kg/cm <sup>2</sup> )	31.7 (323)	Mínimo 12.0 (Mínimo 122)
Resistencia Compresión a 7días	MPa (Kg/cm <sup>2</sup> )	38.5 (392)	Mínimo 19.0 (Mínimo 194)
Resistencia Compresión a 28días (*)	MPa (Kg/cm <sup>2</sup> )	46.5 (474)	Mínimo 28.0 (Mínimo 286)

**Tiempo de Fraguado Vicat :**

Fraguado Inicial	min	132	Mínimo 45
Fraguado Final	min	289	Máximo 375

Los resultados arriba mostrados, corresponden al promedio del cemento despachado durante el periodo del 01-06-2016 al 30-06-2016  
 La resistencia a la compresión a 28 días corresponde al mes de Mayo 2016  
 (\*) Requisito opcional.



Ing. Ivanoff V. Rojas Tello  
Superintendente de Control de Calidad

Fuente: Cementos Pacasmayo.

**ANEXO N°05. CERTIFICADO DE PRUBATAS ENSAYADAS DE LA UPN.**



**CONSTANCIA**  
**DE ENSAYOS EN LABORATORIOS**

El que suscribe, Wesley Leonardo Carrasco, hace constar por medio de la presente que el Sr. Erick Jeffry Fernández Altamirano, identificado con D.N.I N° 48317554, ha realizado ensayos de contenido de humedad, granulometría, peso específico y absorción, peso unitario, abrasión, asentamiento, compresión y flexión en las instalaciones del laboratorio de *Concreto y Estructuras* de esta universidad, requeridos para la tesis "*Evaluación de las Proporciones del Residuo PVC de Tapicería sobre la Resistencia a la Compresión, Flexión, Asentamiento y Costos en un Concreto para Pavimento Rígido*"; los resultados obtenidos se encuentran registrados en nuestro archivo.

Se expide esta certificación a solicitud del interesado, para los fines que estime conveniente.

Trujillo, 14 de septiembre del 2017



Wesley Leonardo Carrasco  
Asistente de Laboratorio  
Carrera de Ingeniería Civil

**ANEXO N°06. INFORME NRO 01, DATOS DE ENSAYOS A REALIZAR.**

 <p>UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE LABORATORIO DE CONCRETO Y ESTRUCTURAS</p>	<p>FACULTAD DE INGENIERÍA Trujillo – Perú</p> <hr/> <p>INFORME N.º 001- AGO-2017</p>
<p><b>Solicitante:</b> Erick Jeffry Fernández Altamirano - DNI 48317554</p> <p><b>Documento:</b> 01</p> <p><b>Institución:</b> Universidad Privada del Norte</p> <p><b>Título:</b> "Evaluación de las proporciones del residuo PVC de tapicería sobre la resistencia a la compresión, flexión, asentamiento y costos en un concreto para pavimento rígido".</p>	
<p><b>MUESTRA</b></p> <p><b>Especímenes:</b></p> <p>12 cilindros de concreto de dimensiones de 30 cm. de largo x 15 cm. de diámetro.</p> <p>12 vigas de concreto de dimensiones de 50 cm. de largo x 15 cm. de diámetro.</p> <p><b>Edad del Espécimen:</b> 28 días.</p> <p><b>Muestreador:</b> El Tesista</p>	
<p><b>ENSAYOS APLICADOS:</b></p> <ul style="list-style-type: none"><li>- NTP 339.033. Elaboración y curado de probetas cilíndricas de concreto (ASTM C 31). 12 vigas de concreto de dimensiones de 50 cm. de largo x 15 cm. de diámetro.</li></ul> <p><b>Edad del Espécimen:</b> 28 días.</p> <p><b>Muestreador:</b> El Tesista</p>	
<p><b>ENSAYOS APLICADOS:</b></p> <ul style="list-style-type: none"><li>- NTP 339.033. Elaboración y curado de probetas cilíndricas de concreto (ASTM C 31).</li></ul>	
<p><b>Encargado Laboratorio:</b> Wesley Leonardo Carrasco</p>	 <p>Wesley Leonardo Carrasco Asistente de Laboratorio Carrera de Ingeniería Civil</p>
<p>Trujillo, 02 agosto del 2017</p>	
<p>INFORME N.º 001- AGO-2017</p>	

**Fuente:** propia

**ANEXO N°07. FORMATO NRO 01, RESULTADOS DE ASENTAMIENTO.**



UNIVERSIDAD  
PRIVADA DEL NORTE  
LABORATORIO DE CONCRETO Y ESTRUCTURAS

FACULTAD DE INGENIERÍA  
Trujillo – Perú

**PARÁMETROS DEL EQUIPO:** F-25EX-F-Co-Pilot, precisión  $\pm 0.5\%$

Modo	Unidades	Velocidad de carga (Kg/s)
Mode 1 Compresión	SI	550
Mode 2 Flexión	SI	46

**PARÁMETROS DE LAS MUESTRAS:**

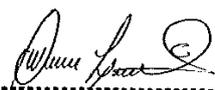
Fecha de vaciado concreto	Fecha de rotura	Estructura	Tiempo Curado
03/07/2017	01/08/2017	Viga Concreto de reforzado con fibras de PVC	28 días
04/07/2017	02/08/2017	Cilindro Concreto de reforzado con fibras de PVC	28 días

**NTP 339.035. Medición del asentamiento del concreto por el método del cono de Abrams (ASTM C 143).**

ASENTAMIENTO		
(kg/cm <sup>3</sup> ) Fibras	cm	Pulgadas
0	2.5	1"
3	2.0	3/4"
4	1.5	1/2"
5	1.0	1/2"

**Encargado Laboratorio:** Wesley Leonardo Carrasco

Trujillo, 02 agosto del 2017



Wesley Leonardo Carrasco  
Asistente de Laboratorio  
Carrera de Ingeniería Civil

**Fuente:** propia

**ANEXO N°08. FORMATO NRO 01, RESULTADOS DE R. FLEXIÓN Y COMPRESIÓN.**



UNIVERSIDAD  
PRIVADA DEL NORTE  
LABORATORIO DE CONCRETO Y ESTRUCTURAS

**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
Trujillo – Perú

INFORME N. ° 001- AGO-2017

- NTP 339.034. Resistencia a la compresión en muestras cilíndricas de concreto (ASTM C 39).

Dosificación		Dimensiones		Carga (Kg)	F'c (kg/cm <sup>2</sup> )
		L (mm)	D (mm)		
0	1	300.30	150.90	59317	331.67
	2	300.20	151.10	58910	328.53
	3	300.20	150.80	58923	329.91
3 kg/m <sup>3</sup>	1	300.40	150.80	61202	342.67
	2	300.20	150.90	59886	334.85
	3	300.30	150.80	58767	329.03
4 kg/m <sup>3</sup>	1	300.40	151.00	60694	338.92
	2	300.10	150.80	60994	341.50
	3	300.30	150.90	59956	335.25
5 kg/m <sup>3</sup>	1	300.50	150.80	66273	371.06
	2	300.50	151.00	66103	369.13
	3	300.30	150.90	66071	369.44

- NTP 339.078. Resistencia a la flexión del concreto en vigas simplemente apoyadas con carga en los puntos tercios del tramo (ASTM C 78).

Dosificación		Dimensiones			Carga (Kg)	M'r (kg/cm <sup>2</sup> )
		Ancho (mm)	Peralte (mm)	Luz libre Apoyos (mm)		
0	1	150.25	150.20	450.10	3691	49.01
	2	150.30	150.00	450.15	3703	49.29
	3	150.30	150.10	450.10	3696	49.13
3 kg/m <sup>3</sup>	1	150.20	150.10	450.20	3952	52.58
	2	150.30	150.10	450.10	3998	53.14
	3	150.25	150.20	450.20	3979	52.85
4 kg/m <sup>3</sup>	1	150.20	150.10	450.30	4160	55.36
	2	150.20	150.30	450.30	4164	55.26
	3	150.25	150.30	450.20	4205	55.77
5 kg/m <sup>3</sup>	1	150.30	150.20	450.10	4478	59.44
	2	150.35	150.00	450.20	4493	59.79
	3	150.30	150.10	450.10	4452	59.18

Encargado Laboratorio: Wesley Leonardo Carrasco



Wesley Leonardo Carrasco  
Asistente de Laboratorio  
Carrera de Ingeniería Civil

Trujillo, 01 agosto del 2017

Fuente: propia

**ANEXO N°09. CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN DE LA PRENSA DE CONCRETO.**

<b>METROTEC</b>		<b>METROLOGÍA &amp; TÉCNICAS S.A.C.</b> <small>Servicios de Calibración y Mantenimiento de Equipos e Instrumentos de Medición Industriales y de Laboratorio</small>
<i>Área de Metrología</i> <i>Laboratorio de Fuerza</i>		<b>CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN</b> <b>MT - LF - 097 - 2017</b>
		Página 1 de 3
1. Expediente	17086	Este certificado de calibración documenta la trazabilidad a los patrones nacionales o internacionales, que realitan las unidades de la medición de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades (SI).
2. Solicitante	UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE S.A.C.	
3. Dirección	Av. Del Ejército Nro. 920 Urb. El Molino - Trujillo - Trujillo - LA LIBERTAD.	
4. Equipo	PRENSA DE CONCRETO	Los resultados son válidos en el momento de la calibración. Al solicitante le corresponde disponer en su momento la ejecución de una recalibración, la cual está en función del uso, conservación y mantenimiento del instrumento de medición o a reglamento vigente.
Capacidad	250000 lbf	
Marca	FORNEY	
Modelo	F-25EX-F-CPILDT	
Número de Serie	12117	
Procedencia	U.S.A.	
Identificación	NO INDICA	
Indicación	DIGITAL	
Marca	FORNEY	
Modelo	TA-1252	
Número de Serie	NO INDICA	METROLOGÍA & TÉCNICAS S.A.C. no se responsabiliza de los perjuicios que pueda ocasionar el uso inadecuado de este instrumento, ni de una incorrecta interpretación de los resultados de la calibración aquí declarados.
Resolución	1 lbf	
Ubicación	LABORATORIO DE CONCRETO - PABELLON C. INGENIERIA CIVIL.	Este certificado de calibración no podrá ser reproducido parcialmente sin la aprobación por escrito del laboratorio que lo emite.
5. Fecha de Calibración	2017-04-25	El certificado de calibración sin firma y sello carece de validez.
Fecha de Emisión	Jefe del Laboratorio de Metrología	Sello
2017-04-28		
 JUAN C. QUISPE MORALES		
<small>Metrología &amp; Técnicas S.A.C. Av. San Diego de Alcalá No. 71 Lote J4, Urb. San Diego - LIMA - PERÚ Tel.: (51) 340-0642 Cel.: (51) 971 439 272 / 971 439 282 RPM: 9849272 / 8971439282 / 8942635342</small>		<small>www: metrologia@metrologiatecnicas.com ventas@metrologiatecnicas.com WEB: www.metrologiatecnicas.com</small>

**Fuente:** Laboratorio de Estructuras y Concreto

## ANEXO N°10. PANEL FOTOGRÁFICO DE PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

**Figura 22:** Fibras de PVC reciclado.



**Fuente:** propia

**Figura 23:** Ensayo de Análisis granulométrico (ASTM C-136)



**Fuente:** propia

**Figura 24:** Ensayo de Contenido de Humedad Evaporable (ASTM C-566)



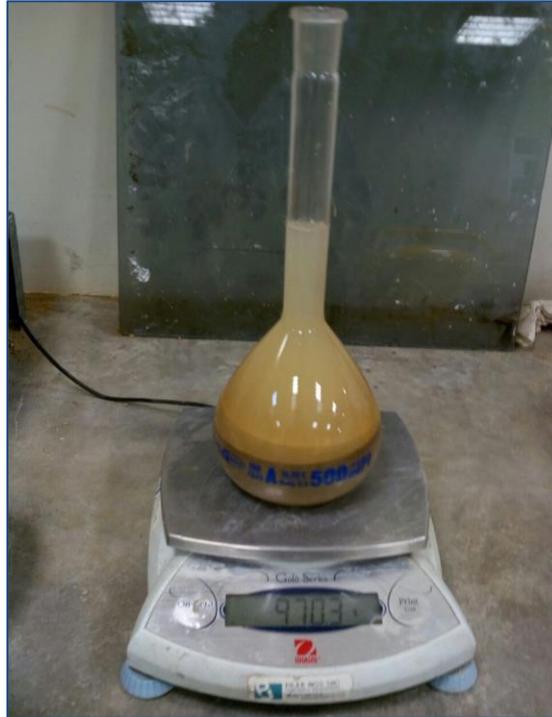
Fuente: propia

**Figura 25:** Ensayo de PUSS y PUSC (ASTM C-136)



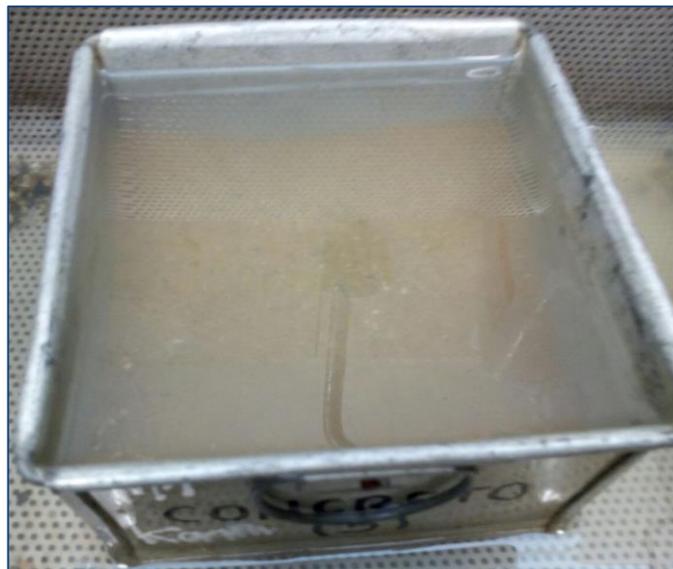
, Fuente: propia

**Figura 26:** Ensayo de Gravedad Específica Agregado Fino (ASTM C-128)



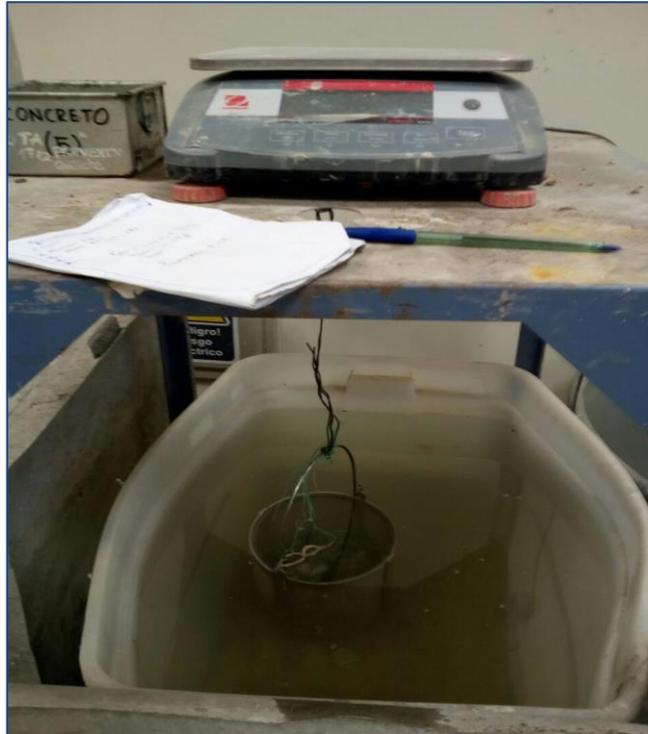
**Fuente:** propia

**Figura 27:** Ensayo de Absorción Agregado Fino (ASTM C-128)



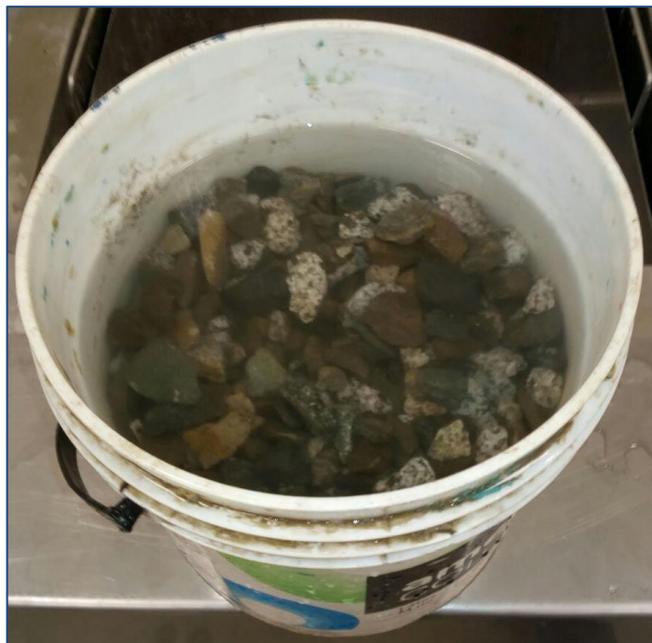
**Fuente:** propia

**Figura 28:** Ensayo de Gravedad Específica Agregado Grueso (ASTM C-127)



Fuente: propia

**Figura 29:** Ensayo de Absorción Agregado Grueso (ASTM C-127)



Fuente: propia

**Figura 30:** Ensayo de Asentamiento en el Concreto, con 0 kg/m<sup>3</sup> de fibra (ASTM C-143)



**Fuente:** propia

**Figura 31:** Ensayo de Asentamiento en el Concreto, con 3 kg/m<sup>3</sup> de fibra (ASTM C-143)



**Fuente:** propia

**Figura 32:** Ensayo de Asentamiento en el Concreto, con 4 kg/m<sup>3</sup> de fibra (ASTM C-143)



**Fuente:** propia

**Figura 33:** Ensayo de Asentamiento en el Concreto, con 5 kg/m<sup>3</sup> de fibra (ASTM C-143)



**Fuente:** propia

**Figura 34:** Llenado de moldes de 15 cm x 30 cm (ASTM C-31)



Fuente: propia

**Figura 35:** Curado de probetas (ASTM C-31)



Fuente: propia

**Figura 36:** Vigas después de los 28 días de curado (ASTM C-31)



**Fuente:** propia

**Figura 37:** Probetas cilíndricas después de los 28 días de curado (ASTM C-31)



**Fuente:** propia

**Figura 38:** Ensayo de Resistencia a la Compresión (ASTM C-39)



Fuente: propia

**Figura 39:** Especímenes ya ensayados a compresión (ASTM C-39)



Fuente: propia

**Figura 40:** Ensayo de Resistencia a la Flexión (ASTM C-78)



**Fuente:** propia

**Figura 41:** Viga ensayada a flexión reforzada al 5 kg/m<sup>3</sup> (ASTM C-78)



**Fuente:** propia

**Figura 42:** Probetas ya ensayadas a Flexión (ASTM C-78)



**Fuente:** propia