

**UNIVERSIDAD PRIVADA ANTENOR ORREGO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**



---

**“DISEÑO DE UN PAVIMENTO RÍGIDO AGREGANDO ELASTÓMERO  
TERMOPLÁSTICO EN LA PROVINCIA DE TRUJILLO – LA LIBERTAD”**

---

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

**LÍNEA DE INVESTIGACIÓN: ESTRUCTURAS Y MATERIALES**

**AUTORES:** BR. CASTILLO CERNA, CÉSAR ENRIQUE

BR. SÁNCHEZ GUZMÁN, DANTE RODRIGO

**ASESOR:** Ms. DURAND ORELLANA, ROCÍO DEL PILAR

**TRUJILLO - PERÚ**

**2017**

**“DISEÑO DE UN PAVIMENTO RÍGIDO AGREGANDO ELASTÓMERO  
TERMOPLÁSTICO EN LA PROVINCIA DE TRUJILLO – LA LIBERTAD”**

---

Presidente

Ing. Rolando Ochoa Zevallos  
CIP: 9133

---

Secretario

Ing. William Conrad Galicia Guarniz  
CIP: 96091

---

Vocal

Ing. Juan Paul Henríquez Ulloa  
CIP: 118101

---

Asesor

Ms. Rocío Del Pilar Durand Orellana  
CIP: 60518

## **PRESENTACIÓN**

### **Señores Miembros del Jurado:**

En concordancia con lo estipulado por el reglamento de Grados y Títulos de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Privada Antenor Orrego, ponemos a sus consideraciones la presente Tesis Profesional titulada:

**“DISEÑO DE UN PAVIMENTO RIGIDO AGREGANDO ELASTOMERO TERMOPLASTICO EN LA PROVINCIA DE TRUJILLO – LA LIBERTAD”**; para obtener el Título Profesional de Ingeniero Civil.

Agradecemos al presente jurado, por los conocimientos a lo largo de nuestra formación profesional y su presencia en nuestra sustentación.

Atentamente.

---

Br. Castillo Cerna César Enrique

---

Br. Sánchez Guzmán Dante Rodrigo

## **DEDICATORIA**

*Esta tesis va dedicada a:*

*Mis padres Enrique Castillo y Rosmery Cerna por los valores morales que inculcaron en mí y darme fuerzas para seguir adelante todos los días.*

*A mi hermana Ethel y mi sobrina Micaela por alegrarme con su amor.*

*A todas esas personas especiales que están día a día conmigo.*

*Todo esto va para ustedes.*

**Castillo Cerna, César Enrique**

## DEDICATORIA

*A mis padres Dante y Magna, por su comprensión, paciencia y apoyo incondicional en este camino largo. Siendo ellos mi razón de superación por ser un ejemplo para mí de profesionalismo y dedicación.*

*A mi hermana por acompañarme en buenos y malos momentos*

**Sánchez Guzmán, Dante Rodrigo**

## **AGRADECIMIENTO**

Nuestro más profundo agradecimiento a la Municipalidad Provincial de Trujillo, del Departamento de La Libertad; quienes desinteresadamente, y con espíritu altruista nos brindaron la información requerida para hacer realidad la presente investigación; a la empresa DINO quienes colaboraron con nosotros brindándonos su laboratorio para nuestra investigación. Nuestro especial agradecimiento a la Universidad Privada Antenor Orrego y a los profesores de la carrera profesional de Ingeniería quienes con su apoyo permanente Científico y Tecnológico ha hecho posible la culminación de nuestra carrera profesional. Nuestro Agradecimiento muy sinceros a la Ing. Rocío del Pilar Durand Orellana, asesor de la presente tesis; quien con su apoyo permanente y estímulo constante en la búsqueda del conocimiento y la información relevante ha hecho posible la culminación de la presente tesis en la que volcamos nuestras inquietudes y experiencias.

## **INDICE**

CAPÍTULO I:	1
INTRODUCCIÓN	2
1.1. Planteamiento del Problema:	2
1.2. Formulación del Problema:	4
1.3. Justificación de la Investigación:	4
1.4. Objetivos General y Específico:	4
1.5. Hipótesis:	5
1.6. Marco Referencial:	6
CAPÍTULO II:	12
METODOLOGÍA	13
2.1. La Cantera:	13
2.2. Materiales para la Mezcla de Concreto:	13
2.3. Diseño de Mezcla del Concreto:	16
2.4. Propiedades del Concreto:	21
CAPÍTULO III:	32
3.1. Cemento:	33
3.2. Cantera:	33
3.3. Agua:	33
3.4. Resumen de las Características de los Agregados:	33
3.5. Resultados de diseño de mezcla realizados:	34
3.6. Resultados de Ensayos en Concreto Fresco:	34
3.7. Resultados de Ensayos en Concreto Endurecido:	36
CAPITULO IV:	44
INTRODUCCIÓN	45
CAPÍTULO V:	47
5.1. CONCLUSIONES	48
5.2. RECOMENDACIONES	49
5.3. BIBLIOGRAFÍA:	50
ANEXOS:	51

## INDICE DE CUADROS

Cuadro I – 1: Operacionalización de las Variables.....	5
Cuadro II - 1: Requisitos Granulométricos del Agregado Grueso.....	14
Cuadro II - 2: Requisitos Granulométricos del Agregado Fino .....	15
Cuadro II - 3: Relación Agua – Cemento (A/C) .....	16
Cuadro II - 4: Especificaciones del Concreto .....	17
Cuadro II - 5: Revenimientos para diferentes tipos de Estructuras .....	18
Cuadro II - 6: Volumen de agua por m <sup>3</sup> .....	19
Cuadro II - 7: Relación Agua – Cemento en Peso.....	19
Cuadro II - 8: Volumen de Agregado Grueso por m <sup>3</sup> .....	20
Cuadro III - 1: Resumen de las Propiedades de los Agregados.....	33
Cuadro III - 2: Dosificación de Concreto sin Elastómero Termoplástico.....	34
Cuadro III - 3: Dosificación de Concreto con Elastómero Termoplástico.....	34
Cuadro III - 4: Asentamiento de Concreto.....	35
Cuadro III - 5: Pesos Unitarios de los dos Tipos de Concreto.....	36
Cuadro III - 6: Resistencia a la compresión de diferentes edades – ensayo N° 1 .....	37
Cuadro III - 7: Resistencia a la compresión de diferentes edades – ensayo N° 2 .....	38
Cuadro III - 8: Resistencia a la compresión de diferentes edades – ensayo N° 3 .....	39
Cuadro III - 9: Resistencia a la compresión de diferentes edades – ensayo N° 4 .....	40
Cuadro III - 10: Resistencia a la compresión de diferentes edades – ensayo N° 5 .....	41
Cuadro III - 11: Resistencia a la compresión de diferentes edades – ensayo N° 6 .....	42
Cuadro III - 12: Resultados de ensayo de flexión a edad de 28 días.....	43
Cuadro IV - 1: Datos para realizar la curva de resistencia a la compresión.....	45
Cuadro V - 1: Dosificación de un concreto f'c = 280 Kg/cm <sup>2</sup> por método ACI.....	48
Cuadro V - 2: Propiedades mecánicas f'c = 280 Kg/cm <sup>2</sup> .....	48
Cuadro V - 3: Comparación de ambos tipos de mezcla.....	49
Cuadro Anexo - 1: Resultados Granulométricos del Agregado Fino.....	52
Cuadro Anexo - 2: Porcentajes que pasa el Agregado Grueso por cada Malla...	52

Cuadro Anexo - 3: Resultados Granulométricos del Agregado Grueso.....	53
Cuadro Anexo - 4: Volumen de Molde para Agregado Fino.....	55
Cuadro Anexo - 5: Peso Unitario Suelto del Agregado Fino.....	56
Cuadro Anexo - 6: Peso Unitario Compactado del Agregado Fino.....	56
Cuadro Anexo - 7: Volumen de Molde para Agregado Grueso.....	57
Cuadro Anexo - 8: Peso Unitario Suelto del Agregado Grueso.....	57
Cuadro Anexo - 9: Peso Unitario Suelto del Agregado Grueso.....	57
Cuadro Anexo - 10: Contenido de Humedad del Agregado Fino.....	58
Cuadro Anexo - 11: Contenido de Humedad del Agregado Grueso (3/4").....	58
Cuadro Anexo - 12: Elección del Revenimiento Según el Tipo de Construcción. .....	59
Cuadro Anexo - 13: Cantidad de Agua por m <sup>3</sup> de Concreto.....	59
Cuadro Anexo - 14: Elección de la Relación Agua – Cemento (A/C).....	60
Cuadro Anexo - 15: Peso Volumétrico de Acuerdo al Tamaño del Agregado.....	60
Cuadro Anexo - 16: Suma de materiales Volumétricos.....	61
Cuadro Anexo - 17: Corrección por humedad y absorción de los Materiales.....	61
Cuadro Anexo - 18: Dosificación de Concreto f'c = 280 Kg /cm <sup>2</sup> sin Elastómero Termoplástico.....	62
Cuadro Anexo - 19: Elección del Revenimiento Según el Tipo de Construcción.....	63
Cuadro Anexo - 20: Cantidad de Agua por m <sup>3</sup> de Concreto.....	63
Cuadro Anexo - 21: Elección de la Relación Agua – Cemento (A/C).....	64
Cuadro Anexo - 22: Peso Volumétrico de Acuerdo al Tamaño del Agregado.....	64
Cuadro Anexo - 23: Suma de materiales Volumétricos.....	65
Cuadro Anexo - 24: Corrección por humedad y absorción de los Materiales.....	65
Cuadro Anexo - 25: Dosificación de Concreto f'c = 280 Kg /cm <sup>2</sup> con Elastómero Termoplástico.....	66

### **INDICE DE FIGURAS**

Figura N° 1: Tamaños de caucho triturado.....	15
Figura N° 2: Ensayo de consistencia o slump .....	22
Figura N° 3: Ensayo de slump.....	23
Figura N° 4: Ensayo de temperatura. ....	23

Figura N° 5: Muestra de concreto en el recipiente. ....	24
Figura N° 6: Elaboración y curado de probetas.Figura N° 7: Muestra de concreto en el recipiente. ....	24
Figura N° 8: Elaboración y curado de probetas. ....	25
Figura N° 9: Curado de las muestras de concreto. ....	26
Figura N° 10: Proceso de muestreo de probetas. ....	26
Figura N° 11: Ensayo de compresión del concreto. ....	27
Figura N° 12: Ensayo de compresión del concreto. ....	28
Figura N° 13: Ensayo de resistencia a la Flexión. ....	28
Figura N° 14: Ensayo de resistencia a la Flexión. ....	29
Figura N° 15: Ensayo de Resistencia a la Flexión en el Momento de Ruptura. ...	29
Figura N° 16: Curado de los Bloques de Concreto para Ensayo de Permeabilidad. ....	30
Figura N° 17: Bloques siendo sometidos a agua. ....	31
Figura N° 18: Muestras Para Ensayo de Contenido de Humedad ....	52
Figura N° 19: Viga de Concreto para Ensayo de Resistencia a la Flexión ....	52
Figura N° 20: Ruptura de Viga en Ensayo de Resistencia a la Flexión ....	52
Figura N° 21: Ruptura de Viga en Ensayo de Resistencia a la Flexión ....	52
Figura N° 22: Elaboración de Probetas para Ensayo de Resistencia a la Compresión ....	52
Figura N° 23: Tamizado de Arena Fina ....	52
Figura N° 24: Muestra de Elastómero Termoplástico Triturado. ....	52
Figura N° 25: Ensayo de Asentamiento (Slump) ....	52

## RESUMEN

En la presente tesis de investigación se tuvo como objetivo diseñar una mezcla de concreto agregándole Elastómero Termoplástico para un pavimento rígido como medida de repavimentación en la ciudad de Trujillo, a través de la técnica del Whitetopping.

Para el cumplimiento de este objetivo, se determinó un diseño de mezcla para un concreto de  $f'c = 280 \text{ Kg/cm}^2$  el al cual se le realizaron dos (2) diseños, una mezcla convencional y la otra agregando Elastómero Termoplástico, a este último se le redujo en un 10% la cantidad de agregado fino. Es necesario saber las propiedades mecánicas de los agregados para determinar las proporciones de estos en la mezcla, los cuales fueron recolectados de la quebrada de León y se utilizó el cemento TIPO I de Cementos Pacasmayo por ser el más comercial de la zona.

Los dos (2) tipos de mezcla se sometieron a los mismos ensayos, resistencia a la compresión con probetas de 11 cm x 21 cm, donde se realizaron nueve (9) muestras por cada tipo de mezcla, los cuales se ensayaron a 3, 7 y 28 días de curado. El siguiente ensayo fue el de resistencia a la flexión a través de la elaboración de vigas con dimensiones de efectuándose el mismo tipo de muestreo. Así también como los ensayos de asentamiento (Slump), temperatura y peso específico.

Se desarrolló un método experimental de forma empírica ya que no estaba sujeto a normatividad, se quiso demostrar la permeabilidad de cada tipo de muestra en este método, en el cual no se obtuvieron los resultados esperados.

## **ABSTRACT**

In this thesis the research aims to design a mixture of concrete Elastomer Thermoplastic for a rigid pavement as a measure of resurfacing in the city of Trujillo, through Whitetopping technique.

In order to fulfill this objective, a mixture design for a concrete of  $f_c = 280 \text{ Kg / cm}^2$  was determined, all of which was done two (2) designs, a conventional mixture and another aggregate Thermoplastic Elastomer, the latter was reduced in 10% the amount of fine aggregate. It is necessary to know the mechanical properties of the aggregates to determine the proportions of these in the mixture, which were collected from the Ravine de León and used the cement TYPE I of Cementos Pacasmayo because it is more commercial in the area.

The two (2) blend types are joined to the same tests, compressive strength with 11 cm x 21 cm specimens, where nine (9) samples were made for each type of mixture, which were tested at 3, 7 And 28 days of curing. The following test was of the flexural strength through the elaboration of beams with the dimensions of performing the same type of sampling. As well as the tests of settlement, temperature and specific weight.

An experimental method was developed empirically since it was not subject to normativity, it was wanted to demonstrate the permeability of each type of sample in this method, in which the expected results were not obtained.

# **CAPÍTULO I:**

---

## PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

## INTRODUCCIÓN

### 1.1. Planteamiento del Problema:

En el año 2017 el Perú sufrió graves daños debido al fenómeno del niño costero, siendo la provincia de Trujillo muy afectada por dicho hecho. El desborde de las quebradas que se encuentran cerca de la ciudad provocó la venida de huaicos dejando un gran deterioro de las vías principales y secundarias de la ciudad.

El mal estado de las vías después de estos escurrimientos de agua genera un gran riesgo a la seguridad de las personas y los vehículos que transitan en ellas. La restauración de las pistas producirá un gasto y des-habilitación de estas por el tiempo que llevará su reconstrucción; debido a esto se necesita tener una alternativa de repavimentación el cual permita su rápida rehabilitación como es la técnica Whitetopping donde se utiliza el concreto hidráulico reemplazando al asfalto como carpeta de rodadura subsanando el deterioro que vemos en las pistas.

A este pavimento le agregamos elastómero termoplástico en fibras lo que debido a su gran capacidad de adherencia y también a que el elastómero termoplástico conocido como caucho es muy difícil de degradar.

La implementación del caucho reciclado de llantas en el área de la construcción, especialmente para pavimentos ha sido estudiada y aplicada en varios países del mundo como Estados Unidos, Inglaterra, Brasil México, Venezuela, Colombia entre otros, con mucho éxito, en España.

El parque vehicular en el Perú, según datos estadísticos desde el año 2006 hasta el año 2015 se registraron entre 197,700 y 512,700 vehículos, teniendo así un crecimiento anual del 1% En el mismo rango de tiempo se registró una relación de entre 70.2 y 164.6 vehículos por cada mil habitantes, teniendo un crecimiento promedio de 1.08%, siendo en los años 2006 y 2015 siendo los de

menor tasa de crecimiento con 0.41% y 0.68% respectivamente<sup>1</sup>, concentrando así el 24.7% del número de vehículos que circulan en la comunidad andina. Teniendo una proyección para el año 2020 de 696,700 vehículos.<sup>2</sup>

Actualmente en nuestro país no existe un estudio específico como medida de conservación sobre la reutilización del caucho sintético debido a su degradación demasiado lenta se requiere hacer un proceso de pulverización lo cual cumplirá como degradación artificial, siendo este de costo muy elevado provocando que los desechos del caucho contribuyan a la contaminación. Por ello las empresas reencauchadoras optan por su venta y reutilización.

En la ciudad de Trujillo solo existe una reencauchadora generando desperdicios de caucho en forma de fibras que son vendidas a otras empresas para su reutilización como son el caso de, Paymetsa, Grupo Ramos, Siconor Perú S.A.C a los cuales se les vende entre 90 – 80 toneladas en el caso del primero y entre 50 – 30 toneladas en el caso de las últimas dos empresas según reporta. Estas empresas las emplean en la fabricación de pisos sintéticos y aislantes acústicos<sup>3</sup>.

Sabiendo que el tiempo de vida promedio de una llanta es de 5 años, en el año 2015 hubo cerca de 635,000 llantas en desuso y para el año 2020 habrá cerca de 760,000 llantas en desuso, de los cuales el 30% son reutilizados y reencauchados, quedando un 70% para ser trasladado a los botaderos Municipales<sup>4</sup>.

La escasa información y difusión de este tipo de mezcla con residuo de llanta hace que nuestro país no esté a la vanguardia en cuanto a nuevas tecnologías en pavimentos a comparación de los países vecinos como es el caso de Colombia, Chile, Brasil; ante esta problemática surge la necesidad de evaluar

---

<sup>1</sup> Superintendencia Nacional de los Registros Públicos (SUNARP 2015)

<sup>2</sup> Comunidad Andina de Naciones (CAN 2015).

<sup>3</sup> RENOVA 2017

<sup>4</sup> Parqueo Automotriz 2015

y analizar el comportamiento físico-mecánico de este tipo de pavimentación comparándolo con el pavimento rígido convencional.

## **1.2. Formulación del Problema:**

¿De qué manera agregar elastómero termoplástico variará las propiedades mecánicas en el diseño de un pavimento rígido?

## **1.3. Justificación de la Investigación:**

El proyecto de tesis se justifica académicamente porque permitirá aplicar los conocimientos adquiridos a nivel de pregrado además de los nuevos conocimientos que obtendremos en el proceso de nuestra investigación.

Orientado a reutilizar el caucho como medida de reciclaje agregándola en una mezcla de concreto para la repavimentación de las pistas de Trujillo afectadas por el fenómeno del niño costero

Al agregar caucho en la mezcla de concreto usado para la repavimentación significará una reducción en el costo económico a mediano y largo plazo por el mantenimiento con respecto al concreto convencional debido que se reducirá en diferentes proporciones los materiales en su elaboración (Agregado Fino).

## **1.4. Objetivos General y Específico:**

### **1.4.1. Objetivo General:**

- Diseñar un pavimento rígido agregando elastómero termoplástico en la provincia de Trujillo – departamento de La Libertad.

### **1.4.2. Objetivos Específicos:**

- Obtener una dosificación de concreto  $f'c = 280 \text{ Kg/cm}^2$ .
- Determinar las propiedades del elastómero termoplástico
- Determinar las propiedades mecánicas de un concreto con agregado de elastómero termoplástico
- Comparar los resultados obtenidos de los ensayos de un concreto agregándole elastómero termoplástico con las normas vigentes.

## 1.5. Hipótesis:

### 1.5.1. General:

Agregar elastómero termoplástico mejora las propiedades mecánicas de un concreto usado para la pavimentación en la provincia de Trujillo – departamento de La Libertad.

### 1.5.2. Variables:

#### - Dependientes:

(Y) Características mecánicas del concreto promedio  $f'c = 280 \text{ Kg/cm}^2$  para repavimentar las pistas de Trujillo.

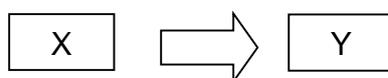
(Y<sub>1</sub>) Resistencia a la acción del concreto  $f'c = 280 \text{ Kg/cm}^2$  para repavimentar las pistas de Trujillo agregando elastómero termoplástico.

#### - Independiente:

(X) Diseño de mezcla de concreto  $f'c = 280 \text{ Kg/cm}^2$  para pavimentar las pistas de Trujillo.

(X<sub>1</sub>) Mezcla de concreto  $f'c = 280 \text{ Kg/cm}^2$  para repavimentar las pistas de Trujillo agregando elastómero termoplástico.

### 1.5.3. Operacionalización de las Variables:



Cuadro I - 1: Operacionalización de las Variables

Variable	Indicador	Medición
(X)	Concreto $f'c = 280 \text{ Kg/cm}^2$ .	Diseño de mezcla
(Y)	Características mecánicas	Pruebas experimentales

## 1.6. Marco Referencial:

- Según M. De la Cruz Romero (2016) en su Tesis de Maestría en Ingeniería Estructural y de la construcción titulada, "*Características de la adherencia en refuerzos de Ultra-Thin Whitetopping (UTW) – Barcelona – España*" donde explica que su trabajo, mediante a los ensayos realizados, se pudo obtener con éxito la determinación de las propiedades resistentes de las diferentes técnicas de adherencia entre la mezcla bituminosa y el hormigón de refuerzo. El capítulo 4 de este documento, muestra el análisis de los resultados, para la obtención de la mejor técnica durable, donde se realizaron ensayos de Pull-Out, LCB y Slant Shear. En el caso del ensayo "Pull-Out", las probetas sin tratamiento fueron las que presentaron mayor resistencia a tracción de 0,56 MPa. Así mismo en el ensayo LCB, las probetas de Asfalto-Sin tratamiento presentaron una resistencia mayor de corte de 1,12 MPa. Para el ensayo Slant Shear, las probetas abujardadas presentaron una resistencia mayor con un promedio de 6,23. Con la finalidad de determinar si las rugosidades superficiales de las bases de asfalto abujardadas influyen en los resultados, se realizó una gráfica de rugosidad superficial versus LCB, y se pudo determinar que los valores no fueron influenciados por la rugosidad de la junta. Esto se puede deber a que el abujardado no le incorporó la rugosidad necesaria para obtener una mayor superficie de anclaje, es posible que la rugosidad empleada por el abujardado sea tan mínima que para el ensayo fue una superficie rugosa poco significativa. Luego de obtener los valores de los ensayos antes descritos, se realizó un análisis de correlaciones de los ensayos entre sí, con el fin de determinar si algunos ensayos puedan depender del otro. Se realizaron correlaciones en gráficas sobre PullOut-LCB, PullOut-Slant Shear, y LCB-Slant Shear, donde después de analizar las gráficas, no se pudo determinar ningún tipo de correlación significativa. Con el fin de probar el ensayo más adecuado en la determinación de la adherencia en la interfaz asfalto-hormigón se realizó una evaluación llamada Múltiples Criterios de Evaluación (MCA), el cual demostró que el ensayo LCB es el método de ensayo más adecuado de acuerdo con los criterios y factores de ponderación utilizados, con una puntuación 102. Para finalizar se realizó un criterio de rotura, donde se

utilizaron tres curvas, donde ha de utilizarse la aplicación del criterio de Griffith, una interpolación lineal y modelo propuesto. Mediante al criterio Mohr-Coulomb, se analizaron varias gráficas comparativas ante las técnicas adherentes: sin tratamiento, abujardada y con el ECR1.

- Según Eraso y Ramos (2015) sobre “Estudio del comportamiento Mecánico del Concreto, sustituyendo parcialmente el agregado fino por caucho molido recubierto con polvo Calcáreo”, ya culminados y estudiados los resultados obtenidos en los diferentes ensayos realizados para evaluar la influencia mecánica que existe en la sustitución de caucho molido por agregado fino en una mezcla de concreto, se puede concluir y recomendar: El concreto con remplazo de caucho molido por agregado fino, presentó en su estado fresco un mayor asentamiento, esto debido a que el caucho por su menor capacidad de absorción hace que la pasta tenga más fluidez. Es decir que entre más contenido de caucho presente en la mezcla mayor es su asentamiento.

La resistencia a la compresión disminuyó significativamente respecto al concreto patrón, esto debido a la baja adherencia que existe entre la pasta y el caucho al igual que ambas poseen características mecánicas diferentes, en otras palabras el caucho cuando es sometido a unas determinadas cargas tiende a deformarse por sus propiedades elásticas a diferencia de la pasta que lo envuelve.

La resistencia a la tracción directa se vio afectada igualmente con la adición de caucho molido, aunque el caucho tratado con polvo calcáreo se comportó de mejor manera, esto puede deberse a una mejora en la adherencia entre pasta y caucho. Al igual los especímenes con remplazos de agregado fino presentaron fracturas al momento de ser ensayados pero no se separaron, gracias a las propiedades de ductilidad del caucho y su capacidad de absorción de energía.

El módulo de elasticidad disminuyó a medida que se aumentaba el porcentaje de caucho molido dentro de la mezcla. Debido a la disminución de la resistencia de compresión a medida que se aumentaba el contenido de caucho.

Se observó en las curvas de Resistencia vs Deformación unitaria, que la deformación del concreto con caucho era mayor a la deformación del concreto patrón con respecto a una misma carga aplicada, suministrando una capacidad adicional de absorción de energía.

Aunque sean bajas las resistencias a compresión de los concretos modificados, estos experimentan una mayor deformación lo cual abre la posibilidad de nuevas investigaciones sobre este tema y sus posibles usos. La mezcla que presentó mejor comportamiento referente a la resistencia a compresión fue la C5 la cual corresponde a la mezcla tratada con polvo calcáreo y remplazo del 5% de caucho molido, ya que esta mezcla cumple con la resistencia de referencia de 15Mpa.

En futuros estudios relacionados con este tema se recomienda ajustar las cantidades de agua en los materiales utilizados especialmente cuando el caucho es tratado con otras adiciones ya que con esto se lograría una mayor calidad en la pasta y mejor control en la fluidez de esta.

- Según Torres (2014), en su Tesis sobre “Valoración de Propiedades Mecánicas y de Durabilidad de Concreto Adicionado con Residuos de Llantas de Caucho – Bogotá – Colombia”, consistió en valorar las propiedades mecánicas y de durabilidad del concreto con sustitución de residuos de llantas de caucho, reemplazando parcialmente el agregado fino en volumen.

Para el desarrollo del trabajo se prepararon cuatro tipos de mezclas, la primera sin adición de grano de caucho, la segunda reemplazando el 10% del agregado fino por la misma cantidad en volumen de caucho, la tercera y cuarta mezcla de la misma forma, pero con porcentajes de reemplazo de 20% y 30% respectivamente. Se evaluaron las propiedades mecánicas como: resistencia a la compresión y a la flexión; ensayos de durabilidad como: penetración de cloruros, carbonatación, absorción y propiedades eléctricas como resistividad e impedancia. Los ensayos mecánicos y de durabilidad se evaluaron en edades de 28 y 90 días y en el caso de la resistencia a la compresión se ensayaron las muestras a los 3, 7, 28 y 90 días.

Finalmente se concluye que la resistencia a la compresión y flexión disminuye con la adición de caucho en la mezcla. Respecto a los ensayos de durabilidad: la penetración de cloruros para en ensayos RCPT aumenta con los porcentajes de 20% y 30% de adición de caucho, sin embargo para el 10% la penetración disminuye respecto a la muestra con 0% de reemplazo en ensayos realizados a 90 días, para los ensayos realizados con el método NTBUILD-492 la penetración del ion cloruro es directamente proporcional con el aumento en porcentaje de sustitución de caucho; el aumento en los valores de profundidad de carbonatación son directamente proporcionales con el aumento de porcentaje de adición de caucho; respecto a los valores de absorción superficial, estos disminuyen con el reemplazo parcial de caucho para edades de 28 días, sin embargo, este comportamiento se invierte para ensayos realizados a 90 días, teniendo mejor comportamiento las muestras con menos porcentaje de sustitución de caucho.

Por último, se concluye que las propiedades eléctricas de cada mezcla son únicas y varían respecto a la edad de ensayo y a la velocidad a la que circula la corriente eléctrica a través de las muestras, así mismo la resistividad de las muestras disminuye con el aumento en porcentaje de adición de caucho.

### **1.6.1. Definiciones Básicas:**

#### **1.6.1.1. Elastómero Termoplástico:**

Los elastómeros termoplásticos (TPE) o cauchos termoplásticos, son una clase de copolímeros o una mezcla de polímero (por lo general un plástico y un caucho) con ambas propiedades termoplásticas y elastoméricas. Mientras que la mayoría de los elastómeros son termoestables, los TPE son relativamente fáciles de usar en la producción, por ejemplo, mediante moldeo por inyección. Los elastómeros termoplásticos presentan las ventajas típicas sea de los plásticos que de los cauchos. La principal diferencia entre los elastómeros termoestables y elastómeros termoplásticos es el tipo de reticulación de sus estructuras. De hecho, la reticulación es un factor estructural

fundamental que contribuye a dar las altas propiedades elásticas.

Los elastómeros termoplásticos tienen la característica de ser reciclable, ya que pueden ser moldeados, extruidos y reutilizados como el plástico, pero también tienen las propiedades elásticas típicas del caucho, que en su lugar no es reciclable debido a sus características termoestables. El TPE puede ser fácilmente coloreado por la mayoría de los colorantes, consume menos energía y también es posible controlar la calidad del producto de forma más económica.

Los TPE se utilizan cuando los elastómeros convencionales no pueden proporcionar la gama necesaria de propiedades físicas necesarias al producto. Estos materiales encuentran una amplia aplicación en los aparatos del automóvil y del hogar. También son ampliamente utilizados para los catéteres ya que los copolímeros en bloque de nylon ofertan suavidad para los pacientes. Los copolímeros en bloque de estireno se utilizan en las suelas de los zapatos debido a la facilidad de procesamiento, y ampliamente como adhesivos. Los TPE también se usan comúnmente para la suspensión de los casquillos para aplicaciones de alto rendimiento en los coches gracias a su mayor resistencia a la deformación con respecto a las suspensiones de caucho. **Wave swiss. Elastómeros Termoplásticos (TPE). Recuperado de <http://www.waveswiss.com/es/materiales/elastomero-termoplastico-tpe>. [Fecha de Acceso: 24 de Abril del 2017]**

#### **1.6.1.2. Whitetopping (Carpeta Blanca):**

Es un recubrimiento de concreto realizado con cemento Portland, construido sobre un pavimento asfáltico existente. Éste tiene la finalidad de rehabilitar aeropistas, carreteras y calles con excelentes resultados al asegurar una solidez y

durabilidad mayor que el pavimento flexible, permitiendo además descartar que el agua circule por las roderas o se estanque provocando baches. El sistema consiste en la colocación de una losa de concreto hidráulico, eliminando así los mantenimientos continuos y sus correspondientes costos. El resultado tras su aplicación es un pavimento de gran calidad que brinda una larga vida útil en buenas condiciones de operación. El Whitetopping satisface la demanda de la ciudadanía de transitar en calles seguras y con excelentes condiciones de servicio por más tiempo, ya que cuenta con más de 15 años de vida útil como se ha comprobado en países de Europa y Estados Unidos principalmente. El diseño de Whitetopping considera una fuerte unión entre dos capas, minimizando la necesidad de un espesor adicional. Está catalogado como una de las formas más efectivas existentes en el mercado, de rehabilitación de un pavimento flexible. Su uso ofrece numerosos beneficios. Además de los que se han mencionado, Whitetopping puede proveer de un tránsito suave que ayuda a mejorar significativamente la vida funcional del pavimento. Además, en oposición a la reconstrucción completa con una nueva base, el Whitetopping utiliza al pavimento asfáltico existente como una base sólida, proveyendo estabilidad adicional. **Instituto Mexicano del Cemento y el Concreto. Construcción y Tecnología en Concreto (2009). Recuperado de <http://www.imcyc.com/revistacyt/feb11/pavimentos>. [Fecha de Acceso: 24 de Abril del 2017].**

## **CAPÍTULO II:**

---

METODOLOGÍA

## **METODOLOGÍA**

### **2.1. La Cantera:**

Para el desarrollo de la investigación, fue necesaria la recolección de agregados las cuales fueron tomadas de la cantera de León la cual se encuentra ubicada al nor-oeste de la ciudad de Trujillo con un área de 100 hectáreas. De donde se puede extraer arena gruesa, fina, gravilla, piedra chancada entre otros. Siendo estos fundamentales para el sector de la construcción, estructuras, vías, presas, entre otros. Estos materiales pasan por un proceso de limpieza, triturado y clasificación para sus diversos usos.

### **2.2. Materiales para la Mezcla de Concreto:**

#### **2.2.1. Cemento:**

Es un conglomerante formado a partir de la mezcla de caliza y arcilla calcinadas, posteriormente molidas, que tiene la propiedad de endurecerse al contacto con el agua. Mezclado con los agregados y agua, se forma una mezcla homogénea llamada concreto, para el diseño de esta investigación se usó un tipo de cemento Portland Tipo I.

#### **2.2.2. Los Agregados:**

Se define como agregado al conjunto de partículas inorgánicas de origen natural cuyas dimensiones están comprendidas entre los límites fijados en la NTP 400.011. Siendo separadas en agregados gruesos y finos esta clasificación es resultado del ensayo granulométrico la cual está determinada por:

- Tamaño Máximo: Corresponde al menor tamiz por el que pasa toda la muestra de agregado.
- Tamaño Nominal Máximo: Corresponde al menor tamiz en el cual se produce el primer retenido.
- Módulo de Fineza: Es la fineza promedio obtenida después de los ensayos granulométricos.

## 2.2.2.1. Clasificación de los Agregados:

### a) Agregado Fino:

Es el material que pasa por el tamiz 3/8" y queda retenido en la malla N° 200.

### b) Agregado Grueso:

Es aquel que queda retenido en el tamiz N° 4 y proviene de la desintegración de rocas. Para el desarrollo de la investigación se usó la piedra de 3/4" o Huso 67.

### c) Requisitos de los Agregados:

Los agregados finos y gruesos según la norma ASTM C-33 y NTP 400-037 deberán cumplir con las gradaciones establecidas en la **NTP 400.012**

**Cuadro II - 1: Requisitos Granulométricos del Agregado Grueso**

TAMAÑO N°	TAMAÑO NOMINAL EN PULGADAS	PORCENTAJES PASANTES EN PESO PARA CADA MALLA STANDARD												
		4" (100 mm)	3 1/2" (90mm)	3" (75 mm)	2 1/2" (63 mm)	2" (50 mm)	1 1/2" (37.5 mm)	1" (25mm)	3/4" (19mm)	1/2" (12.5 mm)	3/8" (9.5 mm)	N° 4 (4.75 mm)	N° 8 (2.36 mm)	N° 16 (1.18 mm)
1	3 1/2" a 1 1/2"	100	90 a 100	-----	25 a 60	-----	0 a 15	-----	0 a 5	-----	-----	-----	-----	-----
2	2 1/2" a 1 1/2"	-----	-----	100	90 a 100	35 a 70	0 a 15	-----	0 a 5	-----	-----	-----	-----	-----
3	2" a 1"	-----	-----	-----	100	90 a 100	35 a 70	0 a 15	-----	0 a 5	-----	-----	-----	-----
357	2" a Malla # 4	-----	-----	-----	100	95 a 100	-----	35 a 70	-----	10 a 30	-----	0 a 5	-----	-----
4	1 1/2" a 3/4"	-----	-----	-----	-----	100	90 a 100	20 a 55	0 a 15	-----	0 a 5	-----	-----	-----
467	1 1/2" a Malla # 4	-----	-----	-----	-----	100	95 a 100	-----	35 a 70	-----	10 a 30	0 a 5	-----	-----
5	1" a 1/2"	-----	-----	-----	-----	-----	100	90 a 100	20 a 55	0 a 10	0 a 5	-----	-----	-----
56	1" a 3/8"	-----	-----	-----	-----	-----	100	90 a 100	40 a 85	10 a 40	0 a 15	0 a 5	-----	-----
57	1" a Malla # 4	-----	-----	-----	-----	-----	100	95 a 100	-----	25 a 60	-----	0 a 10	0 a 5	-----
6	3/4" a 3/8"	-----	-----	-----	-----	-----	-----	100	90 a 100	20 a 55	0 a 15	0 a 5	-----	-----
67	3/4" a Malla # 4	-----	-----	-----	-----	-----	-----	100	90 a 100	-----	20 a 55	0 a 10	0 a 5	-----
7	1/2" a Malla # 4	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	100	90 a 100	40 a 70	0 a 15	0 a 5	-----
8	3/8" a Malla # 4	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	85 a 100	0 a 30	0 a 10	0 a 5

Fuente: ASTM C-33

**Cuadro II - 2: Requisitos Granulométricos del Agregado Fino**

Tamiz	Límites Totales	% Pasa por los tamices normalizados		
		C	M	F
9.5 mm ( 3/8" )	100	100	100	100
4.75 mm ( N°4 )	89 – 100	95 – 100	85 – 100	89 – 100
2.38 mm ( N°8 )	65 – 100	80 – 100	65 – 100	80 – 100
1.20 mm ( N° 16 )	45 – 100	50 – 85	45 – 100	70 – 100
0.60 mm ( N° 30 )	25 – 100	25 – 60	25 – 80	55 – 100
0.30 mm ( N° 50 )	5 – 70	10 – 30	5 – 48	5 – 70
0.15 mm ( N° 100 )	0 – 12	2 – 10	0 – 12*	0 – 12*

Fuente: ASTM C-33

**d) Agregado Proveniente de Residuo de Llantas:**

El proceso de trituración consiste en reducir el tamaño de las llantas a través de máquinas trituradoras, este resultado se puede emplear para la elaboración de nuevos productos, existiendo dos (2) de trituración que son la mecánica y la criogénica.



**Figura N° 1: Tamaños de caucho triturado.**

**2.2.3. Agua para el Concreto:**

El tipo de agua que se utilizará para la elaboración de una mezcla de concreto, puede ser potable (aptas para el consumo humano) y no potable (No aptas para el consumo humano) esta influenciará en la formación del gel, la manipulación y en su estado de endurecimiento por el diferente tipo de reacción química que poseen.

#### 2.2.4. Relación Agua – Cemento (A/C):

Es el cociente del agua entre el cemento, que influenciará en la trabajabilidad de la mezcla en estado fresco, también en la resistencia y durabilidad en estado endurecido. Esta relación variará de acuerdo al tipo de resistencia que se quiere obtener, siendo la relación inversamente proporcional a la resistencia alcanzada en 28 días.

Cuadro II - 3: Relación Agua – Cemento (A/C)

Resistencia a la Compresión en 28 días ( $f'c$ ) (Kg/cm <sup>2</sup> )	Relación Agua – Cemento en Peso	
	Concreto sin Aire	Concreto con Aire
450	0.38	-
400	0.43	-
350	0.48	0.40
300	0.55	0.46
280	0.57	0.49
250	0.62	0.53
210	0.68	0.59
175	0.80	0.66

Fuente: Método ACI (American Concrete Institute).

#### 2.3. Diseño de Mezcla del Concreto:

El diseño de mezclas de concreto es un proceso que consiste en el cálculo de proporciones de los ingredientes disponibles (Cemento, Agregados, Agua) y la determinación de sus cantidades relativas para producir concreto con el grado requerido de manejabilidad, que al endurecer a la velocidad apropiada adquiere las propiedades de resistencia, durabilidad, peso unitario, estabilidad de volumen y apariencia. **(Sánchez De Guzmán. 1996).**

Se debe cumplir para el diseño de mezcla que son las siguientes:

**Cuadro II - 4: Especificaciones del Concreto**

<b>Especificaciones del Concreto</b>	
<b>a)</b>	Máximo y Mínimo Asentamiento
<b>b)</b>	Tamaño Máximo y Mínimo nominal del agregado
<b>c)</b>	Resistencia a la compresión mínima necesaria
<b>d)</b>	Relación máxima de agua cemento
<b>e)</b>	Peso Unitario mínimo

### **2.3.1 Método ACI 211:**

Este método usa como parámetros de cálculo las características de los agregados (grueso y fino). El procedimiento parte en función al tamaño máximo nominal del agregado grueso y del módulo de fineza del agregado fino o de datos estadísticos previos aplicando una desviación estándar. Después del procesamiento de datos se obtienen: La relación Agua-Cemento (A/C), Contenido de cemento y agregados, resumen de materiales por metro cubico, ajuste por humedad del agregado, conversiones de pesos y/o volúmenes.

#### **2.3.1.1 Desarrollo del Método Paso a Paso:**

##### **a) Elección del Máximo Revenimiento:**

Se deberá tener en cuenta para que tipo de estructura se desea diseñar lo cual permitirá determinar el asentamiento del revenimiento a través de tablas.

**Cuadro II - 5: Revenimientos para diferentes tipos de Estructuras**

TIPOS DE ESTRUCTURAS	REVENIMIENTOS (cm)	
	Máximo	Mínimo
Muros de Cimentación y Zapatas	7.5	2.5
Vigas y Muros Reforzados	10	2.5
Columnas para Edificios	10	2.5
Pavimentos y Losas	7.5	2.5
Concretos Masivos	7.5	2.5

Fuente: Método ACI (American Concrete Institute).

**b) Elección de Tamaño Máximo del Agregado:**

Debe ser el mayor disponible económicamente y guardar relación con el tipo de estructura. El tamaño máximo no debe exceder:  $1/5$  de la menor dimensión entre los costados de los moldes,  $1/3$  del espesor de las losas y  $3/4$  del espacio libre mínimo entre varillas de refuerzo individuales, paquetes de varillas.

**c) Selección del Volumen de Agua y Contenido de Aire:**

El volumen unitario de agua es seleccionado en función del asentamiento del revenimiento y al tamaño máximo del agregado en función de tablas.

**Cuadro II - 6 : Volumen de agua por m<sup>3</sup>**

Asentamiento	Agua en lt/m <sup>3</sup> , para TNM agregados y consistencia indicadas							
	3/8"	1/2"	3/4"	1"	1 1/2"	2"	3"	6"
Concreto sin aire incorporado								
1" a 2"	207	199	190	179	166	154	130	113
3" a 4"	228	216	205	193	181	169	145	124
6" a 7"	243	228	216	202	190	178	160	--
Concreto con aire incorporado								
1" a 2"	181	175	168	160	150	142	122	107
3" a 4"	202	193	184	175	165	157	133	119
6" a 7"	216	205	187	184	174	166	154	--

Fuente: Método ACI (American Concrete Institute).

#### **d) Selección de la Relación Agua/Cemento (A/C):**

Es la razón existente entre el peso del agua con respecto al peso del cemento. Procediendo a su selección de acuerdo a su resistencia a los 28 días según se requiera.

**Cuadro II - 7: Relación Agua – Cemento en Peso**

Resistencia a la Compresión en 28 días (f'c) (Kg/cm <sup>2</sup> )	Relación Agua – Cemento en Peso	
	Concreto sin Aire	Concreto con Aire
450	0.38	-
400	0.43	-
350	0.48	0.40
300	0.55	0.46
280	0.57	0.49
250	0.62	0.53
210	0.68	0.59
175	0.80	0.66

Fuente: Método ACI (American Concrete Institute).

**e) Determinación del contenido de Cemento:**

Se obtiene a través del contenido de agua estimado entre la relación agua cemento (A/C), este diseño debe conducir a estimar una mayor cantidad de cemento.

$$\text{Cantidad de Cemento} = \frac{\text{Cantidad de Agua}}{\text{Relacion Agua Cemento (A/C)}} \text{ Kg/ m}^3$$

**f) Estimación de Contenido de Agregado Grueso:**

Se muestra el volumen de agregado, en m<sup>3</sup>, con base al peso volumétrico varillado seco (PVV), para un m<sup>3</sup> de concreto. Este volumen se convierte a peso seco del agregado grueso requerido en un m<sup>3</sup> de concreto, multiplicándolo por el peso volumétrico varillado en seco por m<sup>3</sup> de agregado grueso.

**Cuadro II - 8: Volumen de Agregado Grueso por m<sup>3</sup>**

TNM del Agregado Grueso	Volumen del Agregado Grueso Seco y Compactado por Unidad de Volumen de Concreto para Diversos Módulos de Finura (h/ho)			
	2.40	2.60	2.80	3.00
3/8"	0.50	0.48	0.46	0.44
1/2"	0.59	0.57	0.55	0.53
3/4"	0.66	0.64	0.62	0.60
1"	0.71	0.69	0.67	0.65
1 1/2"	0.76	0.74	0.72	0.70
2"	0.78	0.76	0.74	0.72
3"	0.81	0.79	0.77	0.75
6"	0.87	0.85	0.83	0.81

Fuente: Método ACI (American Concrete Institute).

### **g) Determinación de Volúmenes Absolutos:**

Calculo de cantidad requerida de agregados finos, implica al empleo de volúmenes desplazados por los componentes (Gravedad Especifica). En este caso, el volumen total desplazado por los componentes conocidos (El agua, aire, cemento y agregado grueso) se resta del volumen unitario del concreto para obtener el volumen requerido de agregado fino.

### **h) Determinación del Agregado fino:**

Una vez determinada la cantidad de volúmenes de los componentes, sin la cantidad de agregado fino, se emplea la diferencia volumétrica por el peso específico de la arena.

$$\text{Cantidad de Arena} = (1 \text{ m}^3 - \text{Vol. Materiales}) \times P_e \text{ Arena}$$

### **i) Corrección por Humedad:**

Este paso consiste en ajustar las mezclas por humedad de los agregados para luego realizar los ajustes a las mezclas de prueba.

## **2.4 Propiedades del Concreto:**

La mezcla de concreto ya elaborada, debe cumplir ciertos requerimientos mínimos a través de ensayos para garantizar su correcto diseño y seguridad de las estructuras para que el será empleado; en este sentido estos ensayos se dividen en dos (2) estados del concreto que son:

### **2.4.1. Concreto Fresco:**

Para la extracción de muestras de concreto fresco, necesitaran ser vertidos en contenedores metálicos, de tamaños adecuados para evitar la segregación de desperdicios, posteriormente se tiene que homogenizar la mezcla antes de la realización de los ensayos.

### 2.4.1.1. Ensayo de Consistencia o Slump:

Este ensayo consiste en describir el comportamiento del concreto en su estado fresco, pudiendo obtener la consistencia, influenciada principalmente por el contenido de agua en la mezcla.

Se procede a colocar la muestra de concreto en 3 capas, en un molde troncocónico de dimensiones: 30 cm (12") de alto, 10 cm (4") en la parte superior y 20 cm (8") en la parte inferior, luego se compacta cada capa mediante 25 golpes con una varilla de acero de 5/8" con punta redondeada, la última capa se enrasa para luego levantar el molde verticalmente. Por último se mide la diferencia de alturas del molde invertido y el asentamiento del concreto. **(ASTM C 143; Norma Técnica Peruana 400.035)**

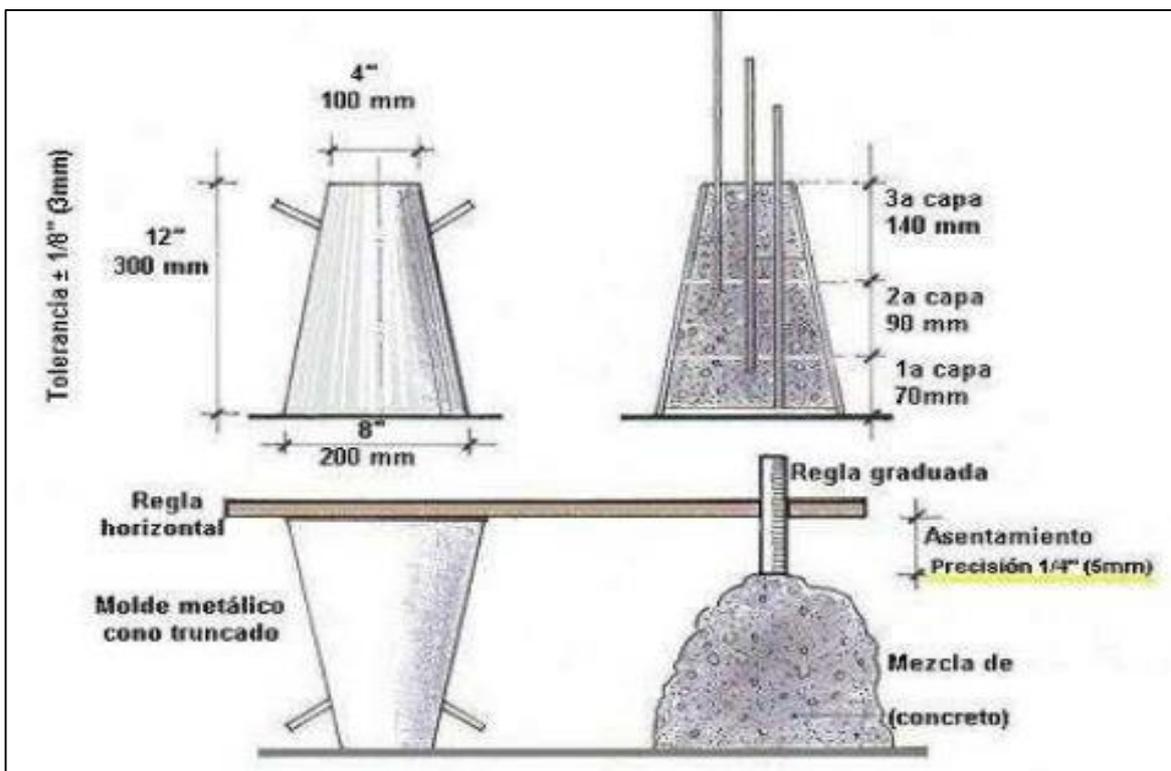


Figura N° 2: Ensayo de consistencia o slump



Figura Nº 3: Ensayo de slump.

#### 2.4.1.2. Ensayo de Temperatura:

Este método de prueba permite medir la temperatura de mezclas de hormigón recién mezclado. Puede usarse para verificar que el hormigón satisfaga requerimientos específicos de temperatura.

En hormigones con tamaño máximo de agregado mayor a 3 pulgadas (75 mm) podrá requerir hasta 20 minutos para transferir el calor del agregado al mortero. **(ASTM C 1064)**



Figura Nº 4: Ensayo de temperatura.

### 2.4.1.3. **Peso Unitario y Rendimiento:**

Este ensayo cubre la determinación de la densidad del concreto fresco, rendimiento y contenido de aire. Para la obtención del rendimiento es necesario tener 3 resultados del ensayo de peso específico para obtener muestras representativas.

$$PUCF = \frac{\text{Peso Total (Kg)} - \text{Peso Recipiente (Kg)}}{\text{Volumen del Recipiente (m}^3\text{)}} \text{Kg/m}^3$$

$$\text{Rendimiento} = \frac{\text{Peso total de la Tanda (Kg)}}{\text{Peso Unitario Promedio (Kg/m}^3\text{)}}$$



Figura N° 5: Muestra de concreto en el recipiente.

### 2.4.1.4. **Elaboración y Curado de Probetas:**

Para poder realizar las muestras de concreto cilíndricas se utilizaron moldes de 11 cm de diámetro y 21 centímetros de alto.

Se elaboraron dos (2) tipos de diseño de concreto, una mezcla con agregado de elastómero termoplástico (Caucho), reduciendo en 10% la cantidad de agregado fino

y la segunda una mezcla convencional de concreto sin agregado de elastómero termoplástico.

Para el desarrollo de estas muestras se realizaron 36 probetas de concreto, las cuales fueron ensayadas a las edades de 3, 7 y 28 días de curado, siendo necesario ensayar tres (3) probetas de cada tipo de mezcla, para cada edad en los días programados.

El proceso de muestreo empieza con el vaciado de la mezcla de concreto en tres (3) capas al molde previamente limpiada y aceitada. Se debe verificar la superficie horizontal sobre la cual se realizará el ensayo. Las tres (3) capas serán golpeadas 25 veces por una varilla de 5/8" de forma helicoidal, en la última capa se debe eliminar el material excedente y se procederá a enrasar obteniendo un acabado, será golpeado el molde por un martillo de goma de 12 a 15 veces, para eliminar vacíos.

Las probetas en estado endurecido serán retiradas de los moldes entre 20 y 24 horas. Después se procede al curado de concreto la cual consiste en colocar las probetas en agua para que cumplan las edades determinadas y así alcancen su mayor resistencia. **(ASTM C 31; NTP.339.033)**

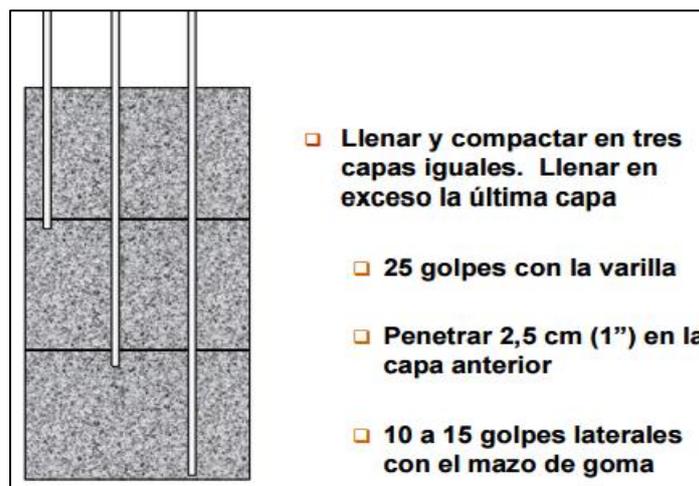


Figura N° 8: Elaboración y curado de probetas.



**Figura Nº 9: Curado de las muestras de concreto.**



**Figura Nº 10: Proceso de muestreo de probetas.**

## **2.4.2. Concreto Endurecido:**

Estas muestras son tomadas después del tiempo de fraguado del concreto fresco y una vez alcanzada las edades de las muestras someterlas a máximos esfuerzos y determinar sus propiedades.

### **2.4.2.1. Resistencia a la Compresión del Concreto:**

Se establece a través de ensayos mecánicos, sometiéndolos a cargas axiales en especímenes con edades 3, 7 y 28 días, tres (3) muestras de concreto por cada tipo de mezclas.

La resistencia depende principalmente de la concentración de la pasta de cemento la cual se expresa en términos de la relación a/c en peso.

La resistencia se ve influenciada por el tipo de curado inicial, el tamaño de la probeta, la velocidad de descarga, la esbeltez de la probeta, el estado de humedad, el refrendado, etc. La máquina de ensayo a utilizar es una prensa manual de uso corriente, la maquina está provista de dos bloques de



**Figura N° 11: Ensayo de compresión del**

acero de superficie endurecida, entre los cuales se comprimen. **(ASTM C 39; NTP.339.03)**

#### **2.4.2.2. Resistencia a la Flexión:**

El ensayo de resistencia del concreto a la flexión se hizo realizando vigas, simplemente apoyadas con carga en los tercios medios, llamado módulo de rotura después de cumplir edades de curados utilizando tres (3) muestras de concreto por cada tipo de mezcla. **(ASTM C 78; NTP.339.0178)**

$$R = \frac{PL}{bd^2} \text{ Dónde:}$$

**Figura N° 12: Ensayo de compresión del concreto.**

**Figura N° 13: Ensayo de resistencia a la Flexión.**

R = Módulo de rotura (MPa)

P = Carga máxima aplicada indicada por la máquina de ensayo (N)

L = Distancia entre apoyos (mm)

b = Ancho promedio de la probeta en la fractura (mm)

d = Altura promedio de espécimen en el lugar de la fractura (mm)



**Figura Nº 14: Ensayo de resistencia a la Flexión.**



**Figura Nº 15: Ensayo de Resistencia a la Flexión en el Momento de Ruptura.**

#### **2.4.2.3. Permeabilidad y Penetración:**

La permeabilidad en el concreto La permeabilidad en el concreto se refiere a la cantidad de migración de agua u otras sustancias liquidas por los poros del material en un determinado tiempo; y así ser el resultado de: la composición de la porosidad en la pasta de concreto, la hidratación o la asociación con la liberación de calor o calor de hidratación y

evaporación del agua de mezcla, la temperatura del concreto, y la formación de cavidades y grietas por contracción plástica en el concreto durante el tiempo de fraguado. Y así, el concepto de durabilidad en concretos **(Torres et al., 2007)**.

Para el desarrollo de este ensayo, se recurrió a la elaboración de un proceso de nuestro proceso creado por nosotros, el cual consiste en crear dos (2) bloques de concreto de dimensiones 45 cm x 45 cm x 10 cm. Siendo elaborado uno de ellos con adición de elastómero termoplástico y el otro una mezcla convencional de concreto, después fueron curados a 28 días.

Para la obtención de datos fabricamos dos (2) contenedores de agua para cada muestra, uno empotrado en la muestra y el otro como recipiente receptor del agua que pasó a través del bloque de concreto.



**Figura N° 16: Curado de los Bloques de Concreto para Ensayo de Permeabilidad.**



**Figura N° 17: Bloques siendo sometidos a agua.**

## **CAPÍTULO III:**

---

### PROCESAMIENTO DE DATOS

### 3.1. Cemento:

El cemento portland utilizado en la presente tesis es de la marca Pacasmayo del tipo I, siendo este el de mayor comercialización en la ciudad de Trujillo.

### 3.2. Cantera:

Los agregados utilizados fueron extraídos de la cantera cuyos datos informativos se presentan a continuación:

- **DENOMINACION** : Cantera de León
- **UBICACIÓN**
  - **Sector** : El Milagro
  - **Distrito** : Huanchaco
  - **Provincia** : Trujillo
  - **Dpto.** : La Libertad

### 3.3. Agua:

Para la dosificación y su posterior realización de los ensayos, se utilizó agua potable de la ciudad de Trujillo.

### 3.4. Resumen de las Características de los Agregados:

Cuadro III - 1: Resumen de las Propiedades de los Agregados

Ensayo	Agregado Fino	Agregado Grueso
Módulo de Finura	3.14	-
Tamaño Máximo Nominal	-	$\frac{3}{4}$ "
Peso Unitario Seco y Suelto	1696.4	1611.46
Peso Unitario Seco y Compactado	1869.49	1666.46
Peso Específico de los Sólidos	2.68	2.74
Contenido natural de Humedad (w%)	3.5	2.0
Porcentaje de Absorción (%)	1.4	1.8

### 3.5. Resultados de diseño de mezcla realizados:

#### 3.5.1. Mezcla sin adición de Elastómero Termoplástico:

a. **Relación Agua/Cemento = 0.57**

b. **Relación de Materiales para la Dosificación:**

Relación volumétrica de materiales en una dosificación sin adición de elastómero termoplástico.

**Cuadro III - 2: Dosificación de Concreto sin Elastómero Termoplástico**

<b>Cemento</b>	<b>Agregado Fino</b>	<b>Agregado Grueso</b>	<b>Agua</b>
1	2.95	3.07	0.43

#### 3.5.2. Mezcla con adición de Elastómero Termoplástico:

Relación volumétrica de materiales en una dosificación sin adición de elastómero termoplástico.

a. **Relación Agua/Cemento = 0.57**

b. **Relación de Materiales para la Dosificación:**

Relación volumétrica de materiales en una dosificación sin adición de elastómero termoplástico.

**Cuadro III - 3: Dosificación de Concreto con Elastómero Termoplástico**

<b>Cemento</b>	<b>Agregado Fino</b>	<b>Agregado Grueso</b>	<b>Agua</b>
1	2.65	3.07	0.43

### 3.6. Resultados de Ensayos en Concreto Fresco:

Después de los ensayos realizados en concreto fresco considerando un solo asentamiento para cada tipo de mezcla, se consideró los siguientes tipos de ensayos:

### 3.6.1. Ensayo de Consistencia o Slump:

Para el desarrollo de este ensayo se utilizó la norma. **(ASTM C 143; Norma Técnica Peruana 400.035).**

Cuadro III - 4: Asentamiento de Concreto

<b>Tipo de Mezcla</b>	<b>Asentamiento (Plg)</b>
Diseño de Mezcla de Concreto sin Elastómero Termoplástico (Kg/Cm <sup>3</sup> )	<b>2.4</b>
Diseño de Mezcla de Concreto con Elastómero Termoplástico (Kg/Cm <sup>3</sup> )	<b>7.5</b>

### 3.6.2. Ensayo de Temperatura del Concreto:

Al momento de ser vertido el concreto a la carretilla se colocó un termómetro analógico para poder obtener la temperatura del concreto en su estado fresco, obteniendo:

**Temperatura con elastómero termoplástico = 26.5 °C**

**Temperatura sin elastómero termoplástico = 26.7 °C**

### 3.6.3. Ensayo de Peso unitario del Concreto:

Para el desarrollo de este ensayo se necesitó un molde para el concreto el cual tiene:

- **Volumen = 0.00707 m<sup>3</sup>**
- **Peso = 7.16 Kg**
- **Peso del Concreto sin Elastómero Termoplástico (Sin recipiente) = 16.9 Kg**
- **Peso del Concreto con Elastómero Termoplástico (Sin recipiente) = 16.74**

$$\text{Peso Unitario} = \frac{\text{Peso del Concreto (Sin recipiente)Kg}}{\text{Volumen (m}^3\text{)}}$$

$$\text{Peso Unitario}_{sc} = \frac{16.9 \text{ Kg}}{0.00707 \text{ (m}^3\text{)}} = 2390.38 \text{ Kg/m}^3$$

$$\text{Peso Unitario}_{cc} = \frac{16.74 \text{ Kg}}{0.00707 \text{ (m}^3\text{)}} = 2367.75 \text{ Kg/m}^3$$

**Cuadro III - 5: Pesos Unitarios de los dos tipos de Concreto**

<b>Concreto sin elastómero termoplástico</b>	<b>Concreto agregando 10% de elastómero termoplástico</b>
2390.38 Kg/m <sup>3</sup>	2367.75 Kg/m <sup>3</sup>

### **3.7. Resultados de Ensayos en Concreto Endurecido:**

#### **3.7.1. Ensayos de compresión a diferentes edades.**

En esta parte se muestran los cuadros representativos del análisis de los resultados de la resistencia de los concretos a compresión agregando elastómero termoplástico y sin este a edades de (3, 7, 28 días).

Mencionamos que consideramos una sustitución del 10% en el volumen de agregado fino.

Se empleó para el diseño de mezclas el método ACI.

Empleado para la compresión el neopreno.

$$\sigma = F/A \text{ (Kg/cm}^2\text{)}$$

$\sigma$ = Esfuerzo (Kg/cm<sup>2</sup>)

**F**= Fuerza Ejercida Sobre la Muestra de Concreto

**A**= Área Sobre la que es Ejercida la Fuerza

**a. Resultados de Agregando 10% elastómero termoplástico.**

**Cuadro III - 6: Resistencia a la compresión de diferentes edades – ensayo N° 01**

Días Curados y Rotura.	Relación (a/c)	Dimensiones		Esfuerzo Ultimo (Kg/cm <sup>2</sup> )	Promedio Esfuerzo (Kg/cm <sup>2</sup> )	Porcentaje de Resistencia Alcanzado
		Diámetro (cm)	Altura (cm)			
3	0.6	10	21	136.36	132.71	47%
3	0.6	10	21	126.43		
3	0.6	10	21	135.35		
7	0.6	10	21	154.35	153.38	55%
7	0.6	10	21	142.58		
7	0.6	10	21	163.20		
28	0.6	10	21	232.88	238.99	85%
28	0.6	10	21	238.22		
28	0.6	10	21	245.86		

**Cuadro III - 7: Resistencia a la compresión de diferentes edades – ensayo N° 02**

Días Curados y Rotura.	Relación (a/c)	Dimensiones		Esfuerzo Ultimo (Kg/cm <sup>2</sup> )	Promedio Esfuerzo ( Kg/cm <sup>2</sup> )	Porcentaje de Resistencia
		Diámetro (cm)	Altura (cm)			
3	0.6	10	21	124.23	124.23	44%
3	0.6	10	21	126.43		
3	0.6	10	21	122.61		
7	0.6	10	21	151.81	151.68	54%
7	0.6	10	21	142.58		
7	0.6	10	21	160.66		
28	0.6	10	21	234.15	239.41	86%
28	0.6	10	21	239.5		
28	0.6	10	21	244.59		

**Cuadro III - 8: Resistencia a la compresión de diferentes edades – ensayo N° 03**

Días Curados y Rotura.	Relación (a/c)	Dimensiones		Esfuerzo Ultimo (Kg/cm <sup>2</sup> )	Promedio Esfuerzo ( Kg/cm <sup>2</sup> )	Porcentaje de Resistencia
		Diámetro (cm)	Altura (cm)			
3	0.6	10	21	140.44	130.37	47%
3	0.6	10	21	126.79		
3	0.6	10	21	123.89		
7	0.6	10	21	159.45	153.38	55%
7	0.6	10	21	151.49		
7	0.6	10	21	149.20		
28	0.6	10	21	240.51	240.68	86%
28	0.6	10	21	238.22		
28	0.6	10	21	243.32		

**b. Resultados de sin elastómero termoplástico.**

**Cuadro III - 9: Resistencia a la compresión de diferentes edades – ensayo N° 04**

Días Curados y Rotura.	Relación (a/c)	Dimensiones		Esfuerzo Ultimo (Kg/cm <sup>2</sup> )	Promedio Esfuerzo (Kg/cm <sup>2</sup> )	Porcentaje de Resistencia
		Diámetro (cm)	Altura (cm)			
3	0.6	10	21	144.13	148.29	53%
3	0.6	10	21	148.33		
3	0.6	10	21	152.41		
7	0.6	10	21	179.20	180.21	64%
7	0.6	10	21	183.21		
7	0.6	10	21	178.23		
28	0.6	10	21	275.02	286.65	102%
28	0.6	10	21	274.89		
28	0.6	10	21	310.03		

**Cuadro III - 10: Resistencia a la compresión de diferentes edades – ensayo N° 05**

Días Curados y Rotura.	Relación (a/c)	Dimensiones		Esfuerzo Ultimo (Kg/cm <sup>2</sup> )	Promedio Esfuerzo (Kg/cm <sup>2</sup> )	Porcentaje de Resistencia
		Diámetro (cm)	Altura (cm)			
3	0.6	10	21	146.68	144.05	51%
3	0.6	10	21	141.97		
3	0.6	10	21	143.49		
7	0.6	10	21	179.20	179.74	64%
7	0.6	10	21	181.93		
7	0.6	10	21	178.10		
28	0.6	10	21	275.02	287.03	103%
28	0.6	10	21	276.17		
28	0.6	10	21	309.91		

**Cuadro III - 11: Resistencia a la compresión de diferentes edades – ensayo N° 06**

Días Curados y Rotura.	Relación (a/c)	Dimensiones		Esfuerzo Ultimo (Kg/cm <sup>2</sup> )	Promedio Esfuerzo (Kg/cm <sup>2</sup> )	Porcentaje de Resistencia
		Diámetro (cm)	Altura (cm)			
3	0.6	10	21	148.08	147.91	53%
3	0.6	10	21	143.24		
3	0.6	10	21	152.41		
7	0.6	10	21	186.84	181.57	65%
7	0.6	10	21	180.02		
7	0.6	10	21	177.85		
28	0.6	10	21	276.29	286.61	102%
28	0.6	10	21	277.44		
28	0.6	10	21	306.09		

### **3.7.2. Resultados de ensayos de flexión a edad de 28 días.**

En esta parte se muestran los cuadros representativos del análisis de los resultados de la resistencia de los concretos a flexión agregando elastómero termoplástico y sin este a la edad de (28 días).

Mencionamos que consideramos una sustitución del 10% en el volumen de agregado fino.

Se empleó para el diseño de mezclas el método ACI.

NTP 339.078 Resistencia a la flexión del concreto en vigas simplemente apoyadas con cargas en el punto central. Método de ensayo (ASTM C293).

**Cuadro III - 12: Resultados de ensayo de flexión a edad de 28 días.**

Muestra	N° de muestra	Dimensiones			Resistencia a la flexión		
		Largo	Ancho	Altura	Fuerza (KN)	Rf (N/cm <sup>2</sup> )	Rf (N/cm <sup>2</sup> )
V-SC	1	500	150	150	29.70	3.969	40.44
V-CC	2	500	150	150	22.07	2.943	29.99

### **3.7.3. Ensayo de permeabilidad del concreto.**

Para el desarrollo de este ensayo se realizaron dos (2) bloques de 45cm x 45cm x 10cm para poder observar cuánta agua pasa y absorbe través de los bloques durante 24 horas. Obteniendo que ninguna de las dos muestras permitió el paso del agua sobre su sección, demostrando su alta resistencia a la penetración,

## **CAPITULO IV:**

---

### **ANALISIS DE LOS RESULTADOS**

## INTRODUCCIÓN

En la presente tesis se comparan y se analizan los resultados obtenidos de los diferentes ensayos tanto en un concreto fresco y endurecido, buscando sus interacciones y variaciones, que expresados en cuadros y gráficos nos proporcionan datos suficientes para formular las conclusiones y recomendaciones.

Como se menciona en los capítulos anteriores para este análisis se agregó elastómero termoplástico proveniente del desperdicio de una reencauchadora en proporción del 10% del volumen, sustituyéndola por el agregado fino que es la arena gruesa proveniente de la cantera El León, gracias a la ayuda de la empresa DINO. Así también la piedra Huso 67. Se recalca el tipo de diseño de mezcla que se emplea es por el método del ACI.

La experiencia obtenida durante todo el proceso de investigación con la ayuda de los resultados, permitirá visualizar mediante el análisis de los resultados, en qué medida aumenta o disminuye la resistencia a la compresión el agregar elastómero termoplástico en proporción de 10% al volumen sustituyendo por agregado fino.

Lo cual nos proporcionará datos para poder obtener el objetivo que es la ecuación potencial deseada, con su margen de error porcentual.

$$Y=AX_B\mp C$$

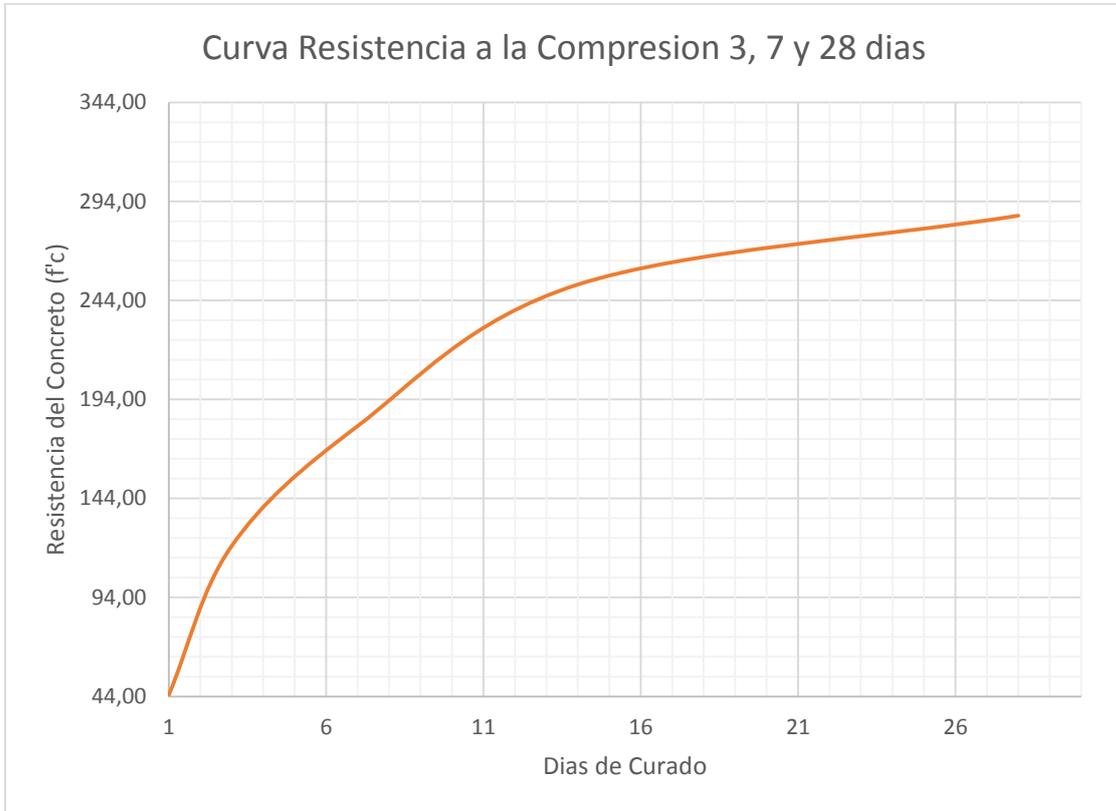
Promedio de porcentaje de resistencia a la compresión para una mezcla sin elastómero termoplásticos y una mezcla agregando este en un 10%

**Cuadro IV - 1 Datos para realizar la curva de resistencia a la compresión.**

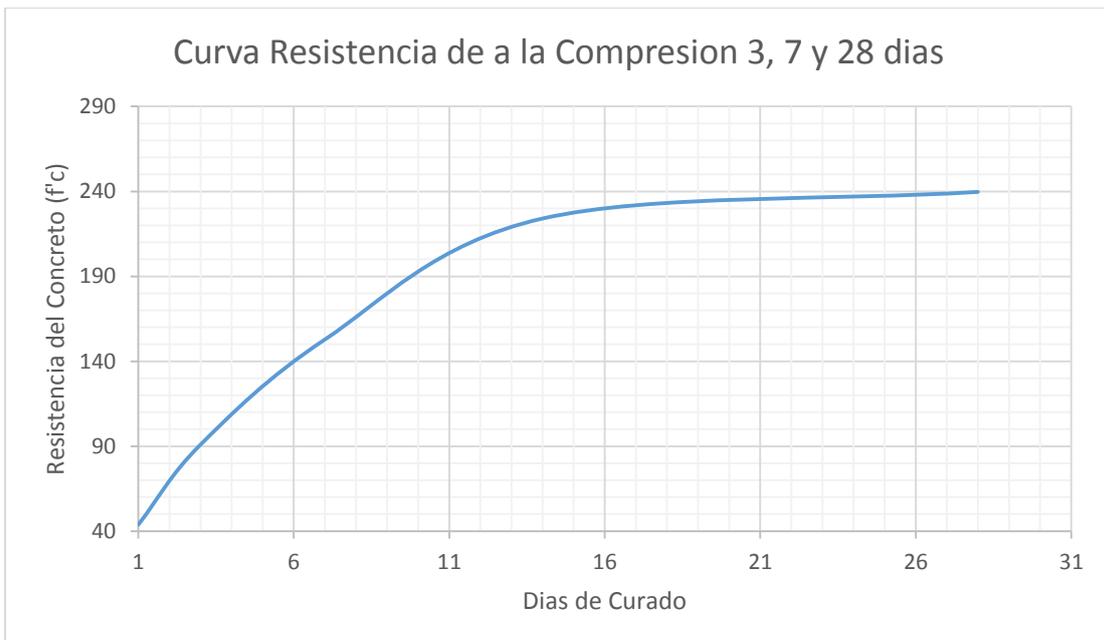
Días curado y rotura	Concreto sin elastómero termoplástico		Concreto con un 10% de elastómero termoplástico	
	Esfuerzo promedio (Kg/cm <sup>2</sup> )	% Resistencia	Esfuerzo promedio (Kg/cm <sup>2</sup> )	% Resistencia
3	146.75	52%	129.10	46%
7	180.51	64%	152.81	55%
28	286.76	102%	239.69	86%

## Gráficos:

**Tabla Nº 1: Curva de Resistencia del Concreto sin adición de elastómero termoplástico**



**Tabla Nº 2 Curva de Resistencia del Concreto con adición de elastómero termoplástico**



## **CAPÍTULO V:**

---

### **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

## 5.1. CONCLUSIONES

- La dosificación que se obtuvo para un concreto  $f'c = 280 \text{ Kg/cm}^2$  fue mediante al método de dosificación del ACI. Obteniendo una proporción de:

**Cuadro V - 1: Dosificación de un concreto  $f'c = 280 \text{ Kg/cm}^2$  por método ACI**

Cemento	Agregado Fino	Agregado Grueso	Agua
1	2.95	3.07	0.43

Para  $1 \text{ m}^3$  de concreto.

- El elastómero termoplástico, pertenece a la familia de los polímeros vulcanizados, obteniendo las siguientes propiedades:

Forma	Sólidos en forma de Granulados y polvo
Color	Negro
Olor	Caucho
Densidad ( $\text{gr/cm}^3$ )	0.4 – 0.50
Pesos Específico	0.98
Humedad (%)	<0.75
Punto de Combustión	300 – 450

- Las propiedades mecánicas del concreto  $f'c = 280 \text{ Kg/cm}^2$  a 28 días de curado fueron:

**Cuadro V - 2: Propiedades Mecánicas del concreto  $f'c = 280 \text{ Kg/cm}^2$**

	Resistencia a la Compresión ( $\text{Kg/cm}^2$ )	Resistencia a la Flexión ( $\text{Kg/cm}^2$ )
Concreto sin elastómero termoplástico	286.76	40.44
Concreto con un 10% de elastómero termoplástico	239.69	29.99

Se concluye que la muestra con adición de elastómero termoplástico disminuyó estas propiedades mecánicas por la sustitución del agregado fino.

- Después del curado a 28 días de las muestras de concreto se obtuvo que:

**Cuadro V - 3: Comparación de ambos tipos de mezcla**

Días curado y rotura	Concreto sin elastómero termoplástico		Concreto con un 10% de elastómero termoplástico	
	Esfuerzo promedio (Kg/cm <sup>2</sup> )	% Resistencia	Esfuerzo promedio (Kg/cm <sup>2</sup> )	% Resistencia
28	286.76	102%	239.69	86%

Con los resultados obtenidos se verificó que con una disminución del 10% del agregado fino y el aumento del elastómero termoplástico, no se obtienen mejores resultados en comparación a otras investigaciones del mismo tipo realizadas en otros países como Colombia, el cual realizó diferentes tipos de proporciones en el diseño de mezcla, llegando a concluir también que el elastómero disminuye su resistencia.

## 5.2. RECOMENDACIONES

- Para investigaciones posteriores, se debe realizar un diseño de mezcla agregando el elastómero termoplástico en diferentes proporciones menores al 10% para poder obtener mejores resultados en los ensayos.
- Se recomienda que para obtener un mejor resultado ensayar las probetas en una mayor cantidad de edades 1, 3, 14 y 28 días, así obtener mayor cantidad de datos para una mejor visualización de la curva de resistencia.
- Se recomienda considerar el ensayo Brasileiro para hallar un valor de la resistencia a tracción del concreto (ASTM C-496) para obtener un mejor concepto de la propiedad del concreto.
- Se recomienda realizar la corrección por humedad de los agregados (grueso y fino) antes de cada tanda de mezcla de concreto para obtener una mezcla eficiente sin afectar la resistencia del concreto por exceso de agua.
- Para el correcto desarrollo de los ensayos es necesario apearse a los lineamientos normativos que se exigen para evitar que esto influya en los resultados de los datos como: desencofrar entre las 24h – 48h después de realizado la mezcla, los 25 golpes a cada nivel de capa de

concreto para las probetas, moldes de medidas estandarizados y normadas.

### 5.3. BIBLIOGRAFÍA:

- Peru.com – Economía y Finanzas, recuperado 23 de marzo de 2015  
<http://www.peru.com/actualidad/economia-y-finanzas/capeco-construccion-registrara-crecimiento-superior-8-2015-noticia-338847>
- Comité ACI 201. (1998). Guía para la Durabilidad del Concreto, Sección Centro-Sur del American Concrete Institute, Guía del consumidor de concreto premezclado de Cemex. Suplemento mexicano del Comité ACI 201 4ta ed. EUA.
- Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto. (2008). Pruebas de resistencia a la compresión del concreto. Revista Imcyc. Recuperado 28 de abril de 2014, a partir de <http://www.imcyc.com/ct2006/junio06/PROBLEMAS.pdf>
- Gaspar, D., Sagrera, J., González, V., y Marín, M. (2013). Acción del agua de mar sobre un cemento portland resistente a los sulfatos. Influencia de la adición de escorias y de cenizas volantes. Recuperado 28 de abril de 2014, a partir de <http://materconstrucc.revistas.csic.es/index.php/materconstrucc/article/view/731/787>
- Decenio internacional para la Acción “Agua fuente de vida”. (2014). Departamento de Asuntos Económicos y Sociales de ONU-DAES. Recuperado 25 de abril de 2014, a partir de <http://www.un.org/spanish/waterforlifedecade/scarcity.shtml>
- Chávez, J. y Buendía, H. (2003). Perfiles de penetración de cloruro en estado iónico en concretos del rango a/c 0.45 a 0.965. Revista del Instituto de Investigación de la Facultad de Ingeniería Geológica Minera, Metalúrgica y Geográfica, Vol 6, No 12. Recuperado 16 de abril de 2014, a partir de <http://revistasinvestigacion.unmsm.edu.pe/index.php/iigeo/rt/printerFriendly/743/0>

**ANEXOS:**

---

## Características de los Agregados:

### 1. Ensayo Granulométrico de los Agregados

- Agregado Fino (Arena Gruesa)

Máximo = N°4

Máximo Nominal = N°8

Recipiente= 121.6 gr.

Cuadro Anexo - 1: Resultados Granulométricos del Agregado Fino

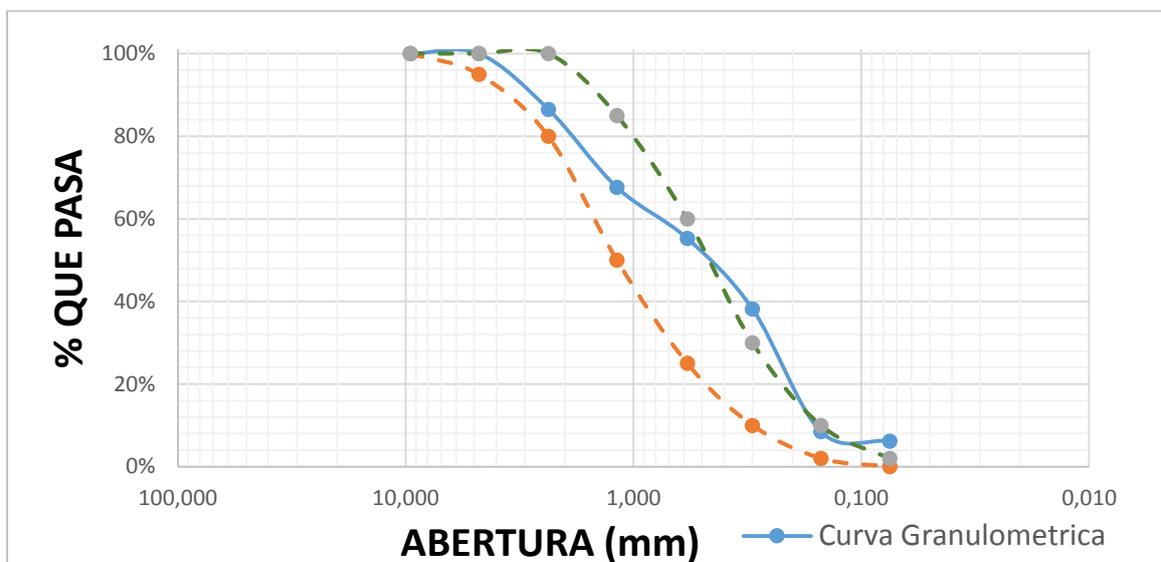
Tamiz	Abertura	Peso Retenido	% Peso Retenido	% Retenido Acumulado	% Que Pasa	Límite inferior	Límite superior
3/8	9.520	0	0%	0%	100%	100%	100%
N°4	4.76	0	0%	0%	100%	95%	100%
N°8	2.36	296.7	13%	13%	87%	80%	100%
N°16	1.18	415.7	19%	32%	68%	50%	85%
N°30	0.58	271.2	12%	45%	55%	25%	60%
N°50	0.30	375.6	17%	62%	38%	10%	30%
N°100	0.15	653.2	30%	92%	8%	2%	10%
N°200	0.075	49.9	2%	94%	6%	0%	2%
Plato		136.1	6%	100%	0%		
SUMA=		2198.4	MF=	3%			

Cuadro Anexo - 2: Porcentajes que pasa el Agregado Grueso por cada Malla

MALLA	PORCENTAJE QUE PASA (ACUMULATIVO)		
3/8"			100
N° 4	95	a	100
N° 8	80	a	100
N° 16	50	a	85
N° 30	25	a	60
N° 50	10	a	30
N° 100	2	a	10

Fuente: ASTM - 33

Tabla Anexo - 1: Curva Granulométrica del Agregado Fino



- Agregado Grueso (Piedra  $\frac{3}{4}$ ).

Máximo = 1"

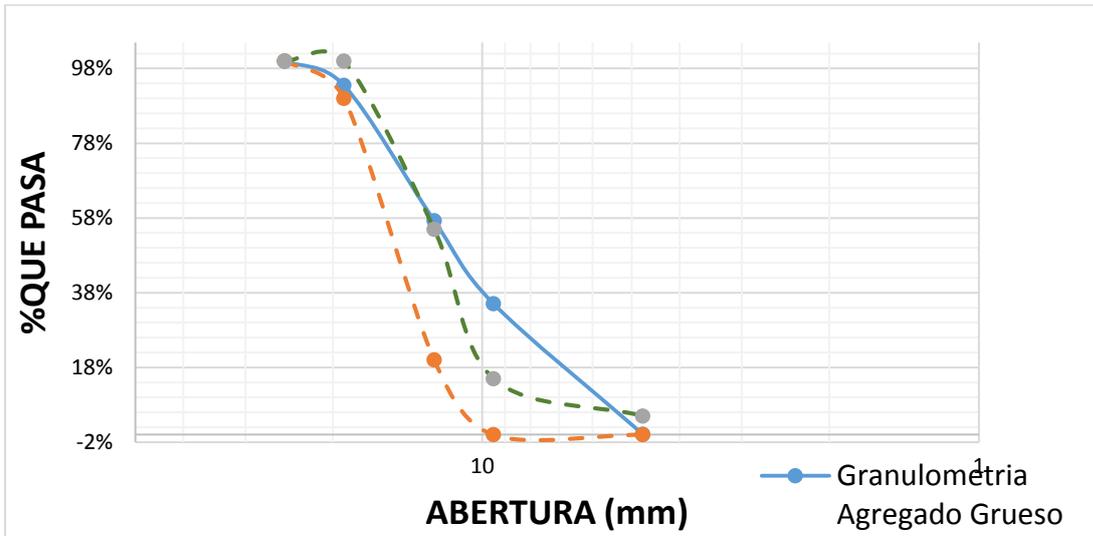
Máximo Nominal =  $\frac{3}{4}$ "

Recipiente= 248.7

Cuadro Anexo - 3: Resultados Granulométricos del Agregado Grueso

Tamiz	Abertura	Peso Retenido	% Peso Retenido	% Retenido Acumulado	% Que Pasa	Límite inferior	Límite superior
1"	25	0	0%	0%	100%	100%	100%
$\frac{3}{4}$ "	19	330.1	7%	7%	93%	90%	100%
$\frac{1}{2}$ "	12.5	1831.8	36%	43%	57%	20%	55%
$\frac{3}{8}$ "	9.5	1122.8	22%	65%	35%	0%	15%
N°4	4.75	1769	35%	100%	0%	0%	5%
Plato		7.3	0%	100%	0%		
<b>SUMA=</b>		5061	<b>MF=</b>	3.14%			

Tabla Anexo - 2: Curva granulométrica del Agregado Grueso



## 2. Ensayo de Peso Especifico

- Agregado Grueso (Arena Gruesa)**

Peso en el aire de la muestra secada ( $W_o$ ) = **487.8 g**

Volumen del frasco ( $V$ ) = **500 cm<sup>3</sup>**

Peso del agua añadido en el frasco ( $V_a$ ) = **290.8 g**

**SSS = Saturado con Superficie Seca**

$$Y = \frac{W_o}{V - V_a} = \frac{487.8}{500 - 290.8} = 2.33 \text{ g/cm}^3$$

$$Y_{SSS} = \frac{500}{V - V_a} = \frac{500}{500 - 290.8} = 2.39 \text{ g/cm}^3$$

$$Y_{aparente} = \frac{W_o}{(V - V_a) - (500 - W_o)} = \frac{487.9}{(500 - 290.8) - (500 - 487.8)} = 2.48 \text{ g/cm}^3$$

$$Absorción = \frac{500 - W_o}{W_o} = \frac{500 - 487.8}{487.8} = 2.5 \%$$

**Pem**    **Peso específico (Y) =**                      2.33 g/cm<sup>3</sup>

**PeSSS**    **Peso (S.S.S) =**                              2.39 g/cm<sup>3</sup>

**Pea**    **Peso específico aparente =**              2.48 g/cm<sup>3</sup>

**Ab**    **Absorción =**                                      2.50 %

- **Agregado Grueso (Piedra ¾)**

Peso en el aire de la muestra secada (A) = 3548.1 g

Peso de la Muestra Saturada Superficialmente (B) = 3593.2 cm<sup>3</sup>

Peso en el agua de la Muestra Saturada (C) = 2039 g

**SSS = Saturado con Superficie Seca**

$$Y = \frac{A}{B - C} = \frac{3548.1}{3593.2 - 2039} = 2.28 \text{ g/cm}^3$$

$$Y_{SSS} = \frac{B}{B - C} = \frac{3593.2}{3593.2 - 2039} = 2.31 \text{ g/cm}^3$$

$$Y_{aparente} = \frac{A}{A - C} = \frac{3548.1}{3548.1 - 2039} = 2.48$$

$$Absorción = \frac{B - A}{A} = \frac{3593.2 - 3548.1}{3593.1} = 1.27 \%$$

**Pem**    **Peso específico (Y)**                    =    2.28 g/cm<sup>3</sup>

**PeSSS**    **Peso (S.S.S)**                        =    2.39 g/cm<sup>3</sup>

**Pea**    **Peso específico aparente** =        2.48

**Ab**    **Absorción**                                =        1.27 %

### 3. Ensayo Peso Unitario

- **Agregado Fino (Arena Gruesa)**

$$Volumen Molde = \frac{Peso \text{ del Agua}}{Factor \cdot Calibracion}$$

**Cuadro Anexo - 4: Volumen de Molde para Agregado Fino**

Muestra	Peso del Molde (Kg)	Peso del Molde c/ Agua (Kg)	Peso del Agua (Kg)	Factor de Calibración del Agua (Kg/m <sup>3</sup> )	Volumen Molde (m <sup>3</sup> )
Volumen Molde	2.7404	5.521	2.7806	1000	<b>0.00278</b>

$$P. U. S = \frac{\text{Peso de la Arena Compac.}}{\text{Volumen. Molde}}$$

Cuadro Anexo - 5: Peso Unitario Suelto del Agregado Fino

Muestra	Peso del Molde (Kg)	Peso del Molde c/ Arena (Kg)	Peso de la Arena (Kg)	Volumen del Molde (m <sup>3</sup> )	Peso Unitario Suelto (Kg/m <sup>3</sup> )
P.U.S	2.7404	7.4574	4.717	0.00278	1696.40

$$P. U. C = \frac{\text{Peso de la Arena Compac.}}{\text{Volumen. Molde}}$$

Cuadro Anexo - 6: Peso Unitario Compactado del Agregado Fino

Muestra	Peso del Molde (Kg)	Peso del Molde c/ Arena (Kg)	Peso de la Arena (Kg)	Volumen del Molde (m <sup>3</sup> )	Peso Unitario Compactado (Kg/ m <sup>3</sup> )
P.U.C	2.7404	7.9387	5.1983	0.00278	1869.49

Porcentaje de vacíos.

$$\% \text{ Vacios} = \frac{(S \times W) - M}{S \times W} \times 100$$

**M** = Peso unitario compactado.

**S** = Peso específico.

**W** = Peso específico de agua.

$$M = 1869.49 \text{ Kg/m}^3$$

$$S = 2332 \text{ Kg/m}^3$$

$$W = 998 \text{ Kg/m}^3$$

$$\% \text{ Vacíos} = 53\%$$

• Agregado Grueso (PIEDRA ¾)

$$Volumen\ Molde = \frac{Peso\ del\ Agua}{Factor\ .\ Calibracion}$$

Cuadro Anexo - 7: Volumen de Molde para Agregado Grueso

Muestra	Peso del Molde (Kg)	Peso del Molde c/ Agua (Kg)	Peso del Agua (Kg)	Factor de Calibración del Agua (Kg/m³)	Volumen Molde (m³)
Volumen Molde	7.2851	16.6891	9.404	1000	0.00940

$$P.U.S = \frac{Peso\ de\ la\ Arena\ Compac.}{Volumen.\ Molde}$$

Cuadro Anexo - 8: Peso Unitario Suelto del Agregado Grueso

Muestra	Peso del Molde (Kg)	Peso del Molde c/ Arena (Kg)	Peso de la Arena (Kg)	Volumen del Molde (m³)	Peso Unitario Suelto (Kg/m³)
P.U.S	7.2851	22.4393	15.1542	0.00940	1611.46

$$P.U.C = \frac{Peso\ de\ la\ Arena\ Compac.}{Volumen.\ Molde}$$

Cuadro Anexo - 9: Peso Unitario Compactado del Agregado Grueso

Muestra	Peso del Molde (Kg)	Peso del Molde c/ Arena (Kg)	Peso de la Arena (Kg)	Volumen del Molde (m³)	Peso Unitario Compactado (Kg/m³)
P.U.S	7.2851	22.9565	15.6714	0.00940	1666.46

### Porcentaje de vacíos.

$$\% \text{ Vacios} = \frac{(S \times W) - M}{S \times W} \times 100$$

**M** = Peso unitario compactado.

**S** = Peso específico.

**W** = Peso específico de agua.

<b>M=</b>	1666.46	Kg/m <sup>3</sup>
<b>S=</b>	2283	Kg/m <sup>3</sup>
<b>W=</b>	998	Kg/m <sup>3</sup>
<b>% Vacíos =</b>	60%	

### 4. Ensayo de Contenido de Humedad:

Cuadro Anexo - 10: Contenido de Humedad del Agregado Fino

Muestra	Peso del Molde (Kg)	Peso del Molde c/ Arena (Kg)	Peso de la Arena (Kg)	Peso Seco (Kg)	Contenido de Humedad (%)
Arena Gruesa	0,08	1,2	1,15506	1,116	3,50%

Cuadro Anexo - 11: Contenido de Humedad del Agregado Grueso (3/4")

Muestra	Peso del Molde (Kg)	Peso del Piedra c/ Arena (Kg)	Peso de la Piedra (Kg)	Peso Seco (Kg)	Contenido de Humedad (%)
Arena Gruesa	0,14	3,2	6,045	5,926	2,01%

### Cuadro de Resumen Características de los Agregados:

M. F. Arena =	3,14	Arena
Pe. de la Arena =	2,33	
% Absorción =	2.5%	
% Humedad =	3,50%	
Pe. de la Piedra =	2,28	Piedra
Tamaño máx. De Piedra (mm) =	19	
Peso unitario Piedra (Kg/m <sup>3</sup> ) =	1666,46	
% Absorción Piedra =	1,27%	
% Humedad =	2,01%	

### Dosificación de Concreto Sin Elastómero Termoplástico (Método ACI):

#### Paso Nº 1: Diseño de Revenimiento.

Cuadro Anexo - 12: Elección del Revenimiento Según el tipo de Construcción

Tipos de Construcción	Revenimiento (cm)	
	Máximo	Mínimo
Muros de Cimentación, zapatas, cajones de cimentación y muros de sub-estructura sencillos	7,5	2,5
Vigas y Muros reforzados	10	2,5
Columnas para Edificios	10	2,5
Pavimentos y Losas	7,5	2,5
Concreto Masivo	7,5	2,5

	Máx.	Mín.
Revenimiento (cm)	7,5	2,5

#### Paso Nº 2: Tamaño máx. De la Piedra 3/4"

Tamaño máximo (mm) = 19

#### Paso Nº 3: Cantidad de Agua

Cuadro Anexo - 13: Cantidad de Agua por m<sup>3</sup> de Concreto

Revenimiento (cm)	Agua Kg/m <sup>3</sup> de Concreto							
	9,5	12,5	19	25	38	50	75	150
<b>Concreto sin Aire Incluido</b>								
De 2,5 a 5,0	207	199	190	179	166	154	130	113
De 7,5 a 10	228	216	205	193	181	169	145	124
De 15 a 17,5	243	228	216	202	190	178	160	-
Cantidad aprox. Aire atrapado	3	2,5	2	1,5	1	0,5	0,3	0,2

Cantidad de agua (kg/m<sup>3</sup>) = 250

Cantidad Aproximada de airea atrapado = 2

#### Paso Nº 4: Relación Agua – Cemento

Resistencia a 28 días = 280 Kg/cm<sup>2</sup>

Cuadro Anexo - 14: Elección de la Relación Agua – Cemento (A/C)

Resistencia a la Compresión a los 28 días (Kg/cm <sup>2</sup> )	Relación Agua/Cemento por peso	
	Concreto sin Aire Incluido	Concreto con Aire Incluido
420	0,41	-
350	0,48	0,4
280	0,57	0,48
210	0,68	0,59
140	0,82	0,74

Relación Agua - Cemento = 0.57 aire incluido.

#### Paso Nº 5: Cantidad de Cemento

$$\text{Cantidad de Cemento} = \frac{\text{Cantidad de Agua}}{\text{Relación Agua Cemento}}$$

Cantidad de Cemento = 359.65 kg/m<sup>3</sup>

#### Paso Nº 6: Cantidad de Piedra

Cuadro Anexo - 15: Peso Volumétrico de Acuerdo al Tamaño del Agregado

Tamaño máximo de agregado (mm)	Volumen de agregado grueso varillado en seco, por volumen unitario de concreto para distintos módulos de finura de la arena			
	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	0,87	0,55	0,53
19 (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

$$\text{Cantidad de Piedra} = \text{Peso Volumétrico} \times \text{Peso Unitario Piedra}$$

Cantidad de Piedra = 936.55 Kg/m<sup>3</sup>

## Paso Nº 7: Suma de Materiales

Cuadro Anexo - 16: Suma de Materiales Volumétricos

Material	Peso	Densidad	Volumen
Agua	205	1	205.00
Cemento	359.65	3.15	114.174
Piedra	936.55	2.74	347.889
Vol. Aire			20
Total	1517.86		680.981

## Paso Nº 8: Cálculo Cantidad de Arena

$$\text{Cantidad de Arena} = (1 \text{ m}^3 - \text{Vol. Materiales}) \times P_e \text{ Arena}$$

$$\text{Cantidad de Arena} = 854.971 \text{ kg/m}^3$$

## Paso Nº 9: Corrección por Humedad

Cuadro Anexo - 17: Corrección por Humedad y Absorción de los Materiales

Proporción Base		Corrección por Humedad y Absorción				Proporción Real
		Humedad		Absorción		
		%	Kg	%	Kg	
Cemento	359.65					359.65
Arena	854.971	0.04	29.92	0.02	-15.39	869.505
Piedra	936.55	0.02	18.73	0.01	-13.11	942.170
Agua	205		-48.65		28.50	184.846
Total	2356.17					2356.17

## Cantidad de Material en Probetas

- **Dimensiones de Probeta:**

**Alto:** 0.21 m

**Diámetro:** 0.11 m

**Volumen de Probeta:** 0.001649 m<sup>3</sup>

**Capacidad de Trompo =** 0.04 m<sup>3</sup>

### Cemento

1 m<sup>3</sup> Cemento= 359.65 Kg

Cant. Cemento Probeta= 0.59 Kg

Cant. Cemento en Trompo= 14.39 Kg

### Piedra

1 m<sup>3</sup> Piedra= 942.17 Kg

Cant. Piedra Probeta= 1.55 Kg

Cant. Piedra en Trompo= 37.69 Kg

### Arena

1 m3 Arena=	869.51 Kg
Cant. Arena Probeta=	1.43 Kg
Cant. Arena en Trompo=	30.84 Kg

### Agua

1 m3 Agua=	205.00 Lt.
Cant. Agua Probeta=	0.34 Lt.
Cant. Agua en Trompo=	8.20 Lt.

**Cuadro Anexo - 18: Dosificación de Concreto  $f'c = 280 \text{ Kg/cm}^2$  sin Elastómero Termoplástico**

TANDA			
Cemento	Piedra	Arena	Agua
1.00	3.07	2.90	0.43

## Dosificación de mezcla de concreto agregando Elastómero Termoplástico (Método ACI)

### Paso Nº 1: Diseño de Revenimiento.

Cuadro Anexo - 19: Elección del Revenimiento Según el tipo de Construcción

Tipos de Construcción	Revenimiento (cm)	
	Máximo	Mínimo
Muros de Cimentación, zapatas, cajones de cimentación y muros de sub-estructura sencillos	7,5	2,5
Vigas y Muros reforzados	10	2,5
Columnas para Edificios	10	2,5
Pavimentos y Losas	7,5	2,5
Concreto Masivo	7,5	2,5

	Máx.	Mín.
Revenimiento (cm)	7.5	2.5

### Paso Nº 2: Tamaño máximo de la Piedra 3/4"

Tamaño máximo (mm) = 19

### Paso Nº 3: Cantidad de Agua

Cuadro Anexo - 20: Cantidad de Agua por m<sup>3</sup> de Concreto

Revenimiento (cm)	Agua Kg/m <sup>3</sup> de Concreto							
	9,5	12,5	19	25	38	50	75	150
<b>Concreto sin Aire Incluido</b>								
De 2,5 a 5,0	207	199	190	179	166	154	130	113
De 7,5 a 10	228	216	205	193	181	169	145	124
De 15 a 17,5	243	228	216	202	190	178	160	-
Cantidad aprox. Aire atrapado	3	2,5	2	1,5	1	0,5	0,3	0,2

Cantidad de agua (kg/m<sup>3</sup>) = 250

Cantidad Aproximada de airea atrapado = 2

### Paso Nº 4: Relación Agua – Cemento

Resistencia a 28 días = 280 kg/cm<sup>2</sup>

Cuadro Anexo - 21: Elección de la Relación Agua – Cemento (A/C)

Resistencia a la Compresión a los 28 días (Kg/cm <sup>2</sup> )	Relación Agua/Cemento por peso	
	Concreto sin Aire Incluido	Concreto con Aire Incluido
420	0,41	-
350	0,48	0,4
280	0,57	0,48
210	0,68	0,59
140	0,82	0,74

Relación Agua - Cemento = 0.57 aire incluido

**Paso Nº 5: Cantidad de Cemento**

$$Cantidad\ de\ Cemento = \frac{Cantidad\ de\ Agua}{Relación\ Agua\ Cemento}$$

Cantidad de cemento = 359.65 kg/m<sup>3</sup>

**Paso Nº 6: Cantidad de Piedra**

Cuadro Anexo - 22: Peso Volumétrico de Acuerdo al Tamaño del Agregado

Tamaño máximo de agregado (mm)	Volumen de agregado grueso varillado en seco, por volumen unitario de concreto para distintos módulos de finura de la arena			
	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	0,87	0,55	0,53
19 (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

$$Cantidad\ de\ Piedra = Peso\ Volumétrico \times Peso\ Unitario\ Piedra$$

Cantidad de Piedra = 953.22 kg/m<sup>2</sup>

## Paso N° 7: Suma de Materiales

Cuadro Anexo - 23: Suma de Materiales Volumétricos

Material	Peso	Densidad	Volumen
Agua	205	1	205.00
Cemento	359.65	3.15	114.174
Piedra	953.22	2.74	347.889
Vol. Aire			2
Total	1517.86		669.063

## Paso N° 8: Cálculo Cantidad de Arena agregando 10% de Elastómero Termoplástico

$$\text{Cantidad de Arena} = (1 \text{ m}^3 - \text{Vol. Materiales}) \times P_e \text{ Arena}$$

$$\text{Cantidad de Arena} = 769.474 \text{ Kg/m}^3$$

## Paso N° 9: Corrección por Humedad

Cuadro Anexo - 24: Corrección por Humedad y Absorción de los Materiales

Proporción Base		Corrección por Humedad y Absorción				Proporción Real
		Humedad		Absorción		
		%	Kg	%	Kg	
Cemento	359.65					359.65
Arena	769.474	0.04	26.93	0.02	-13.85	782.555
Elastómero Termoplástico	30.627					30.627
Piedra	953.22	0.02	18.73	0.01	-13.11	942.170
Agua	205		-45.66		26.96	186.300
Total	2270.67					2270.67

## Cantidad de Material en Probetas

- Dimensiones de Probeta:

Alto: 0.21 m

Diámetro: 0.11 m

Volumen de Probeta: 0.001649 m<sup>3</sup>

Capacidad de Trompo = 0.04 m<sup>3</sup>

### Cemento

1 m <sup>3</sup> Cemento=	359.65 Kg
Cant. Cemento Probeta=	0.59 Kg
Cant. Cemento en Trompo=	14.39 Kg

### Piedra

1 m <sup>3</sup> Piedra=	942.17 Kg
Cant. Piedra Probeta=	1.55 Kg
Cant. Piedra en Trompo=	37.69 Kg

### Arena

1 m <sup>3</sup> Arena=	782.56 Kg
Cant. Arena Probeta=	1.29 Kg
Cant. Arena en Trompo=	31.30 Kg

### Elastómero Termoplástico

1 m <sup>3</sup> E.T.=	30.63 Kg
Cant. Arena Probeta=	0.05 Kg
Cant. Arena en Trompo=	1.23 Kg

### Agua

1 m <sup>3</sup> Agua=	184.85 Lt
Cant. Agua Probeta=	0.31 Lt
Cant. Agua en Trompo=	7.45 Lt

**Cuadro Anexo - 25: Dosificación de Concreto f'c = 280 Kg/cm<sup>2</sup> con Elastómero Termoplástico**

TANDA				
Cemento	Piedra	Arena	Elastómero Termoplástico	Agua
1.00	3.07	2.65	0.29	0.43

## Resultados Ensayo de Flexión:



UNIVERSIDAD NACIONAL DE TRUJILLO  
LABORATORIO DE FRACTOMECAICA-CONCRETO  
Departamento de Ingeniería de Materiales

FACULTAD DE INGENIERÍA  
Av. Juan Pablo II s/n - Ciudad Universitaria  
Trujillo - Perú

### INFORME N° 233-JUL17

**Solicitante:** Br. Castillo Cerna, Cesar Enrique  
Br. Sánchez Guzmán, Dante Rodrigo

**Documento:** 01

**Institución:** Universidad Privada Antenor Orrego

**Título:** "Diseño de un Pavimento Rígido Agregado Elastómero Termoplástico en la Provincia de Trujillo - La Libertad"

#### MUESTRA

**Espécimen:**

02 Vigas de concreto moldeado de 50 cm. de largo x 15 cm de ancho x 15 de alto

**Edad del Espécimen:** 28 días V- SC (12-06) / V- CC (12-06)

**Muestreo realizado por:** Tesista

**ENSAYOS A APLICAR:** Las principales Normas Técnicas vigentes que rigen la calidad son:

- NTP 339.078. Resistencia a la flexión del concreto en vigas simplemente apoyadas con carga en el punto central, Método de ensayo, (ASTM C 293)

**Jefe de Laboratorio:** Ing. Iván E. Vásquez Alfaro

  
Iván E. Vásquez Alfaro  
ING. MATERIALES  
R. CIP 123509

Trujillo, 12 de julio del 2017



**INFORME N° 233-JUL17**

**PARÁMETROS DEL EQUIPO:** ELE Serie T automático, error de +/- 0.5%

Modo	Unidades	Velocidad de carga (KN/seg)
Mode 2 Flexión	SI	0.45

**NTP 339.078. Resistencia a la flexión del concreto en vigas simplemente apoyadas con carga en el punto central, Método de ensayo, (ASTM C 293)**

Código	N° de muestras	Dimensiones, mm			Resistencia a Flexión		
		Largo	Ancho	Altura	Fuerza (KN)	Rf (N/mm <sup>2</sup> )	Rf(Kg/ cm <sup>2</sup> )
V- SC (12-06)	1	500	150	150	29.70	3.969	40.44
V- CC (12-06)	2	500	150	150	22.07	2.943	29.99

**Jefe de Laboratorio:** Ing. Iván E. Vásquez Alfaro

Trujillo, 12 de julio del 2017

  
Iván E. Vásquez Alfaro  
ING. MATERIALES  
R. CIP 123608

## Diseño de un Pavimento Rígido con Elastómero Termoplástico por Método AASHTO

- Determinación del Espesor del Pavimento:**

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

$W_{82}$  = Número previsto de ejes equivalentes de 8,2 toneladas métricas, a lo largo del periodo de diseño.

$Z_{ri}$  = Desviación normal estándar.

$S_o$  = 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.

$\Delta\text{PSI}$  = 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 la luz).

$C_d$  = Coeficiente de drenaje.

$J$  = Coeficiente de transmisión de cargas en las juntas.

$E_c$  = Módulo de elasticidad del concreto, en MPA

$K$  = Módulo de reacción, dado en MPA/m de la superficie (base, sub base, sub rasante) en la que se apoya el pavimento de concreto.

### DATOS:

K =	50,61	Mpa/m	S <sub>o</sub> =	0,32
Ec =	25118	Mpa	R =	80 % => Z <sub>R</sub> = -0,841
S'c = Mr =	4,41	Mpa	P <sub>t</sub> =	2,5
J =	3,00		ΔPSI =	2
C <sub>d</sub> =	0,90		W <sub>80</sub> =	7,44 x 10 <sup>6</sup>
			D =	??? mm por tanteo
			D =	<b>233,40</b> mm

## Diseño de un Pavimento Rígido sin Elastómero Termoplástico por Método AASHTO

- **Determinación del Espesor del Pavimento:**

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

$W_{82}$  = Número previsto de ejes equivalentes de 8,2 toneladas métricas, a lo largo del periodo de diseño.

$Z_{ri}$  = Desviación normal estándar.

$S_o$  = 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.

$\Delta\text{PSI}$  = 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 la luz).

$C_d$  = Coeficiente de drenaje.

$J$  = Coeficiente de transmisión de cargas en las juntas.

$E_c$  = Módulo de elasticidad del concreto, en MPA

$K$  = Módulo de reacción, dado en MPA/m de la superficie (base, sub base, sub rasante) en la que se apoya el pavimento de concreto.

### DATOS:

K =	50,61	Mpa/m	S <sub>o</sub> =	0,32	
Ec =	25118	Mpa	R =	80 % =>	Z <sub>R</sub> = -0,841
S'c = Mr =	4,41	Mpa	P <sub>t</sub> =	2,5	
J =	3,00		ΔPSI =	2	
C <sub>d</sub> =	0,90		W <sub>80</sub> =	7,44	x 10 <sup>6</sup>
			D =	???	mm por tanteo
			D =	<b>233,40</b>	mm

**Galería de Imágenes:**



**Figura Nº 18: Muestras Para Ensayo de Contenido de Humedad**



**Figura Nº 19: Viga de Concreto para Ensayo de Resistencia a la Flexión**



**Figura N° 20: Ruptura de Viga en Ensayo de Resistencia a la Flexión**



**Figura N° 21: Ruptura de Viga en Ensayo de Resistencia a la Flexión**



**Figura N° 22: Elaboración de Probetas para Ensayo de Resistencia a la Compresión**



**Figura N° 23: Tamizado de Arena Fina**



**Figura N° 24: Muestra de Elastómero Termoplástico Triturado**



**Figura N° 25: Ensayo de Asentamiento (Slump)**