

**UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRION**

**FACULTAD DE INGENIERIA**

**ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**



**TESIS**

**Evaluación de la influencia de las fibras de polietileno en el diseño,  
construcción y durabilidad de pavimento de concreto en la ciudad  
de Cerro de Pasco - 2017**

**Para optar el título profesional de:**

**Ingeniero Civil**

**Autor: Bach. Josué David PABLO LUIS**

**Asesor: Ing. Paul Mirko RODRIGUEZ ROJAS**

**Cerro de Pasco - Perú - 2018**

**UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRION**

**FACULTAD DE INGENIERIA**

**ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**



**TESIS**

**Evaluación de la influencia de las fibras de polietileno en el diseño,  
construcción y durabilidad de pavimento de concreto en la ciudad  
de Cerro de Pasco - 2017**

**Sustentada y aprobada ante los miembros del jurado:**

-----  
**Dr. Hildebrando Anival CÓNDROR GARCÍA**  
PRESIDENTE

-----  
**Mg. José German RAMIREZ MEDRANO**  
MIEMBRO

-----  
**Ing. Pedro YARASCA CÓRDOVA**  
MIEMBRO

## DEDICATORIA

### **A Dios:**

Por guiar mi camino y darme fortaleza.

### **A mis Padres:**

Por brindarme su incondicional amor,  
Y por mostrarme el camino hacia la superación.

### **A mis Docentes:**

De la Escuela Formación  
Profesional de Ingeniería Civil  
por las enseñanzas en las aulas universitarias.

### **A mis Amigos:**

Por compartir los conocimientos adquiridos  
En los años de nuestra formación universitaria.

## **RECONOCIMIENTO**

Agradezco a la Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión,  
por permitirme convertirme en un profesional en lo que me apasiona,  
gracias a cada maestro que hizo parte de este proceso integral de formación.

## RESUMEN

La presente investigación titulada: “EVALUACIÓN DE LA INFLUENCIA DE LAS FIBRAS DE POLIETILENO EN EL DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y DURABILIDAD DE PAVIMENTO DE CONCRETO EN LA CIUDAD DE CERRO DE PASCO - 2017” trata sobre el análisis de la adición de fibras de polietileno en el concreto hidráulico y con ello, presentar una nueva alternativa para el diseño de pavimentos de concreto en la ciudad.

Teniendo como finalidad mejorar las propiedades del concreto mediante la adición de fibras de polietileno obtenidas del reciclaje de botellas de plástico, el cual reflejara un diseño óptimo del concreto hidráulico que soportara las cargas y transmitirá al suelo logrando un buen comportamiento de la estructura.

Se realizó ensayos normados a los materiales, luego se diseñó y elaboró un concreto patrón de resistencia de diseño de 280 Kg/cm<sup>2</sup> de acuerdo a la metodología ACI-211, adicionalmente de cuatro diseños de igual resistencia con la adición de fibras de polietileno obtenidas del reciclaje de botellas de plástico en dosis de 500gr, 1000gr, 1500gr y 2000gr de fibra por cubo de concreto, terminando por comprándolas. Los testigos de concreto obtenidos fueron probetas cilíndricas a compresión y vigas a flexión bajo las normas ASTM, MTC, NTP. Así, se determinó la dosis óptima de fibra a adicionar.

Una vez hallada lo anterior, se procedido a diseñar el pavimento de concreto teniendo como lugar de aplicación el área de la Avenida 28 de Julio Tramo Av. Circunvalación Túpac Amaru - Av. Arequipa del AA.HH. Túpac Amaru.

Con la adición de dosis óptima de fibras de polietileno obtenidas del reciclaje de botellas de plástico al concreto se concluye que resultan beneficiosas en la mejora de la propiedad mecánica, conocida como resistencia a la flexión expresada específicamente en el Módulo de Rotura del Concreto ( $M_r$ ) y logrando así, un menor espesor de la losa de concreto resultando en alternativa económica y ecológica.

El desarrollo del trabajo se muestra en los siguientes capítulos: Capítulo I, enmarca el Planteamiento del Problema, determinación del problema, formulación del problema, objetivos, justificación del problema, importancia y alcances, y por último las limitaciones para desarrollar la presente investigación. Capítulo II, se realiza el Marco Teórico teniendo los Antecedentes del problema, bases teóricas – científicos, definición de términos, hipótesis e identificación de las variables. Capítulo III, detalla la metodología de investigación; comprendiendo el tipo de investigación, diseño, población y muestra, métodos de la investigación, las técnicas e instrumento de recolección de datos, técnicas de procesamiento y análisis de datos. Capítulo IV, ilustra referente al resultado y la discusión. Teniendo como parte final las conclusiones, recomendaciones y bibliografía.

**Palabras Claves:**

Fibras de polietileno

Pavimento de concreto

## **ABSTRACT**

This research entitled "EVALUATION OF THE INFLUENCE OF FIBER OF POLYETHYLENE IN THE DESIGN, CONSTRUCTION AND DURABILITY OF PAVEMENT CONCRETE IN THE CITY OF CERRO DE PASCO - 2017" deals with the analysis of the addition of polyethylene fibers in concrete hydraulic and thus present a new alternative for the design of concrete pavements in the city.

Having the purpose of improving the properties of concrete by adding polyethylene fibers obtained from the recycling of plastic bottles, which reflect an optimum design of hydraulic concrete that would support the loads transmitted to the ground and achieving a good performance of the structure.

tests normed materials was performed, then designed and developed a particular pattern design strength of 280 Kg / cm<sup>2</sup> according to the ACI-211 methodology additionally four designs of equal strength with the addition of polyethylene fibers obtained from recycling plastic bottles dose of 500gr, 1000gr, 1500gr and 2000gr fiber for concrete cube, eventually buying them. Witnesses were obtained cylindrical concrete compressive and flexural beams under ASTM, MTC, NTP standards samples. Thus, the optimal dose of fiber to be added was determined.

Having found the above, it proceeded to design the concrete pavement having as application site area of Avenida 28 de Julio Av Circunvalación Tramo Tupac Amaru - Av. Arequipa AA.HH. Tupac Amaru Chaupimarca.

With the addition of optimal doses of polyethylene fibers obtained from recycling of plastic bottles to the concrete it is concluded that are beneficial in improving the mechanical property, known as flexural strength expressed specifically in the Modulus of Rupture Concrete (Mr) and thus achieving a smaller thickness of the concrete slab resulting in economic and ecological alternative.

The development work is shown in the following chapters:

Chapter I, framing the problem statement, problem determination, problem formulation, objectives, justification of the problem, importance and scope, and finally the limitations to develop this research.

Chapter II, the theoretical framework is made taking the history of the problem, theoretical basis - scientific, definition of terms, assumptions and identification of variables.

Chapter III details the research methodology; comprising the type of research, design, population and sample, research methods, techniques and instrument data collection, processing techniques and data analysis.

Chapter IV illustrates concerning the results and discussion.

With the final part of the conclusions, recommendations and bibliography.

**Keywords:**

Polyethylene fibers

Concrete pavement

## INTRODUCCIÓN

El desarrollo de un país se basa, primordialmente en sus vías de comunicación, a través de ellas se llevan a cabo interrelaciones económicas sociales y culturales entre las comunidades, municipios y departamentos.

De acuerdo a las verificaciones de campo se ha podido establecer que el 30% de la infraestructura vial se encuentra en buen estado, el 60% en condición regular y el 10% está en mal estado. (PDU-Honorable Municipalidad de Pasco).

Si el material utilizado en pavimentos rígidos conocido como concreto hidráulico no asegura la durabilidad de la estructura bajo las cargas como fue diseñada se tiene dos opciones, la primera es de proveer de mayor espesor a la losa de concreto o la segunda es de dotar de mayor capacidad al concreto para economizar. Es la razón por la cual en esta tesis se presenta una alternativa de mejora de propiedades del concreto hidráulico mediante la adición de fibras de polietileno obtenidas del reciclaje de botellas plásticas.

Actualmente nuestra ciudad lidia con el tema de contaminación ambiental causando gran preocupación a los ciudadanos y autoridades por su incremento significativo, derivado principalmente de la mala gestión de los residuos sólidos urbanos, es fácil darse cuenta ya que, al comprar un líquido para hidratarse, el envase de este terminara siendo un residuo el cual desecharemos. El desarrollo económico debe estar íntimamente ligado a la

sostenibilidad, y esta, a la reutilización de materiales como las botellas de plástico.

En 2017, el Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental (OEFA) recomendó la clausura y cierre del botadero Rumiallana debido a la sobrecarga de toneladas de residuos sólidos de las zonas urbanas de Pasco, el terreno donde funciona el botadero presenta agrietamientos y ello conllevaría a la pérdida de estabilidad y el posible desprendimiento de gran parte del talud afectando seriamente a las poblaciones aledañas y recursos hídricos cercanos.

Este trabajo investigativo tiene como fin la mejora de propiedades del concreto hidráulico mediante la adición de fibras de polietileno obtenidas del reciclaje de botellas plásticas, la gran capacidad a la compresión del concreto y la resistencia a la flexión de las fibras brindan una estructura de concreto con gran resistencia y durabilidad.

# INDICE GENERAL

<b>DEDICATORIA</b>	<b>iii</b>
<b>RECONOCIMIENTO</b>	<b>iv</b>
<b>RESUMEN</b>	<b>v</b>
<b>ABSTRACT</b>	<b>vii</b>
<b>INTRODUCCIÓN</b>	<b>ix</b>
<b>INDICE GENERAL</b>	<b>xi</b>
<b>INDICE DE TABLA</b>	<b>xiv</b>
<b>INDICE DE FIGURA</b>	<b>xv</b>
<b>INDICE DE GRAFICO</b>	<b>xvi</b>
<b>CAPÍTULO I</b>	<b>1</b>
<b>PROBLEMA DE INVESTIGACION</b>	<b>1</b>
1.1. DETERMINACIÓN DEL PROBLEMA	1
1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	3
1.2.1. PROBLEMA GENERAL	3
1.2.2. PROBLEMA ESPECÍFICOS	3
1.3. OBJETIVOS	4
1.3.1. OBJETIVOS GENERAL	4
1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	4
1.4. JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA	5
1.5. IMPORTANCIA Y ALCANCES DE LA INVESTIGACIÓN	6
1.5.1. IMPORTANCIA	6
1.5.2. ALCANCES	8
1.6. LIMITACIONES	8
<b>CAPÍTULO II</b>	<b>9</b>
<b>MARCO TEORICO</b>	<b>9</b>
2.1. ANTECEDENTES	9
2.1.1. ANTECEDENTES INTERNACIONALES.	9
2.1.2. ANTECEDENTES NACIONALES.	13
2.1.3. ANTECEDENTES REGIONALES.	17
2.1.4. NORMATIVIDAD.	17
2.2. BASES TEÓRICO – CIENTÍFICOS	18
2.2.1. CONCRETO	18

2.2.2.	FIBRAS EN EL CONCRETO	49
2.2.3.	PAVIMENTOS DE CONCRETO HIDRAULICO	65
2.2.4.	DISEÑO DE PAVIMENTOS RIGIDOS	80
2.3.	DEFINICIÓN DE TÉRMINOS	95
2.4.	HIPÓTESIS	96
2.4.1.	HIPOTESIS GENERAL.	96
2.4.2.	HIPOTESIS ESPECÍFICAS.	96
2.5.	IDENTIFICACIÓN DE VARIABLES	96
2.5.1.	VARIABLES INDEPENDIENTES.	96
2.5.2.	VARIABLES DEPENDIENTES.	96
<b>CAPÍTULO III</b>		<b>97</b>
<b>METODOLOGÍA Y TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN</b>		<b>97</b>
3.1.	TIPO DE INVESTIGACIÓN	97
3.2.	DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN	97
3.3.	POBLACIÓN MUESTRA	99
3.3.1.	POBLACIÓN.	99
3.3.2.	MUESTRA	99
3.4.	MÉTODOS DE INVESTIGACIÓN	100
3.5.	TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS	101
3.5.1.	TECNICAS.	101
3.5.2.	INSTRUMENTOS.	102
3.6.	TÉCNICAS DE PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE DATOS	102
3.7.	TRATAMIENTO ESTADISTICO DE DATOS	102
<b>CAPÍTULO IV</b>		<b>104</b>
<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b>		<b>104</b>
4.1.	TRATAMIENTO ESTADÍSTICO E INTERPRETACIÓN DE CUADROS	104
4.1.1.	PROPIEDADES DE MATERIALES	104
4.1.2.	AGREGADO FINO	106
4.1.3.	AGREGADO GRUESO	109
4.1.4.	CEMENTO	111
4.1.5.	AGUA	112
4.2.	PRESENTACIÓN DE RESULTADOS	112
4.2.1.	MÉTODO DE DISEÑO UTILIZADO Y ESPECIFICACIONES TÉCNICAS ASUMIDAS PARA REALIZAR LOS ENSAYOS DEL CONCRETO	112
4.2.2.	DESARROLLO DE DISEÑO DE MEZCLA PARA UNA RESISTENCIA DE $F'c = 280 \text{ KG/CM}^2$ , PARA PAVIMENTOS DE CONCRETO.	114
4.2.3.	DOSIFICACIÓN Y CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE LA FIBRA DE POLIETILENO EMPLEADO.	116
4.2.4.	PREPARACIÓN DE MEZCLAS	119
4.2.5.	FABRICACIÓN DE PROBETAS	120

4.2.6.	ENSAYOS DEL CONCRETO FRESCO	121
4.2.7.	ENSAYO DEL CONO DE ABRAMS - ASENTAMIENTO (NTP 339.035)	123
4.2.8.	CONTENIDO DE AIRE (NTP 339.036)	126
4.2.9.	ENSAYOS DEL CONCRETO ENDURECIDO	127
4.2.10.	ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN AXIAL (NTP 339.034)	128
4.2.11.	ENSAYO DE RESISTENCIA A LA FLEXIÓN O MÓDULO DE ROTURA (NTP 339.078)	131
4.3.	PRUEBA DE HIPÓTESIS	134
4.3.1.	HIPÓTESIS GENERAL PLANTEADO.	134
4.3.2.	PRUEBA DEL HIPÓTESIS GENERAL PLANTEADO.	134
4.4.	DISCUSIÓN DE RESULTADOS	136
4.4.1.	DISEÑO DE LA ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO (CASO APLICATIVO AV. 28 DE JULIO-CHAUPIMARCA-C. DE P.)	136
4.4.2.	FACTORES DE DISEÑO DE PAVIMENTOS	137
4.4.3.	CALCULO DEL ESPESOR DEL PAVIMENTO	147
4.4.4.	DISEÑO GEOMETRICO Y DISTRIBUCION DE JUNTAS	147
4.5.	ANÁLISIS COMPARATIVO DE LOS RESULTADOS	148
	<b>CONCLUSIONES</b>	<b>150</b>
	<b>RECOMENDACIONES</b>	<b>152</b>
	<b>REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA</b>	<b>153</b>
	<b>ANEXOS</b>	<b>155</b>

## INDICE DE TABLA

<b>Tabla 1.</b> Compilación de propiedades mecánicas de fibras usadas comúnmente.....	53
<b>Tabla 2.</b> Fórmulas de Bradbury .....	74
<b>Tabla 3.</b> Fórmulas de Wertergaard ( $u=0.15$ ).....	79
<b>Tabla 4.</b> Índice de Serviciabilidad Inicial (PI).....	84
<b>Tabla 5.</b> Vida del Pavimento .....	84
<b>Tabla 6.</b> rango típico sugerido por .....	86
<b>Tabla 7.</b> CBR .....	88
<b>Tabla 8.</b> CBR mín recomendados para la Sub-base Granular de Pavimentos Rígidos ITEEE .....	89
<b>Tabla 9.</b> Valores Recomendados de Resistencia del Concreto según rango de trafico .....	90
<b>Tabla 10.</b> Condición de Drenaje .....	93
<b>Tabla 11.</b> Coeficiente de drenaje de las Capas Granulares Cd.....	94
<b>Tabla 12.</b> Valores de Coeficiente de transmisión de Carga J.....	94
<b>Tabla 13.</b> Tabla de Diseño de Mezcla Método ACI 211. ....	116
<b>Tabla 14.</b> asentamiento del Concreto Patrón.....	126
<b>Tabla 15.</b> asentamiento del Concreto Adicionado con Fibras de Polietileno.....	126
<b>Tabla 16.</b> CONTENIDO DE AIRE - Patrón .....	127
<b>Tabla 17.</b> CONTENIDO DE AIRE - Concreto Adicionado con Fibras de Polietileno.....	127
<b>Tabla 18.</b> Dosificación con Relación $a/c=0.46$ - Diseño Patrón .....	129
<b>Tabla 19.</b> Dosificación con Relación $a/c=0.46$ - Diseño 01 .....	130
<b>Tabla 20.</b> Dosificación con Relación $a/c=0.46$ - Diseño 02.....	130
<b>Tabla 21.</b> Dosificación con Relación $a/c=0.46$ - Diseño 03.....	130
<b>Tabla 22.</b> Dosificación con Relación $a/c=0.46$ - Diseño 04.....	130
<b>Tabla 23.</b> Dosificación con Relación $a/c=0.46$ - Diseño Patrón – Modulo de rotura.....	133
<b>Tabla 24.</b> Dosificación con Relación $a/c=0.46$ - Diseño 01 – Modulo de rotura.....	133
<b>Tabla 25.</b> Dosificación con Relación $a/c=0.46$ - Diseño 02 – Modulo de rotura.....	133
<b>Tabla 26.</b> Dosificación con Relación $a/c=0.46$ - Diseño 03 – Modulo de rotura.....	133
<b>Tabla 27.</b> Dosificación con Relación $a/c=0.46$ - Diseño 04 – Modulo de rotura.....	133
<b>Tabla 28.</b> Comparación de Resistencias Promedio de Compresión .....	134
<b>Tabla 29.</b> Comparación del Módulo de Rotura Promedio .....	135
<b>Tabla 30.</b> Vía para aplicación.....	137
<b>Tabla 31.</b> Desviación estándar normal .....	138
<b>Tabla 32.</b> Nivel de confiabilidad.....	139
<b>Tabla 33.</b> Dispositivo de transferencia .....	142
<b>Tabla 34.</b> Porcentaje del tiempo en que la estructura de pavimento está expuesta a niveles de humedad cercanos a la saturación .....	142
<b>Tabla 35.</b> Calidad del drenaje .....	143

## INDICE DE FIGURA

<b>Figura 1.</b> Proporciones típicas en volumen absoluto de los componentes del concreto .....	22
<b>Figura 2.</b> Ensayo de Flexión del concreto con adición de fibras.....	45
<b>Figura 3.</b> Esquema de Ensayo ASTM C 78. ....	47
<b>Figura 4.</b> Representación química del poliéster termoplástico común. ....	55
<b>Figura 5.</b> Forma de fibras: a) sección circular, b) sección rectangular, c) ondulada, d) extremos conformados, e) extractos fundidos y f) extremos ensanchados. ....	59
<b>Figura 6.</b> Representación de esfuerzos actuantes entre fibra y concreto.....	62
<b>Figura 7.</b> Diagrama de esfuerzos actuantes entre fibra y de concreto con fisura. ....	63
<b>Figura 8.</b> Comportamiento del concreto reforzado con fibras a compresión.....	64
<b>Figura 9.</b> Comportamiento del concreto reforzado con fibras a flexión. ....	65
<b>Figura 10.</b> Distribución de esfuerzos en los pavimentos. ....	68
<b>Figura 11.</b> Partes del Pavimento Rígido.....	70
<b>Figura 12.</b> Relación entre el módulo de reacción de la sub rasante y el CBR in situ.....	71
<b>Figura 13.</b> Alabeo de las Losas de los Pavimentos de Concreto. ....	73
<b>Figura 14.</b> Esfuerzos en Pavimentos Rígidos.....	75
<b>Figura 15.</b> Alabeo por Cambio de Humedad.....	78
<b>Figura 16.</b> Visita a la Cantera y extracción de agregados .....	105
<b>Figura 17.</b> Toma de muestras de Agregado Grueso (Cuarteo). ....	106
<b>Figura 18.</b> Dispositivo Manual para obtener tiras de PET. (Fileteadora). ....	117
<b>Figura 19.</b> Pesado de Dosis de la Fibra de Polietileno.....	118
<b>Figura 20.</b> Adición de la Fibra de Polietileno a la mezcladora.....	119
<b>Figura 21.</b> Determinación del Asentamiento del Concreto fresco.....	125
<b>Figura 22.</b> Esquema del equipo adecuado para el ensayo de flexión del concreto usando una viga simple cargada en los tercios de la luz. ....	131

## INDICE DE GRAFICO

<b>Grafico 1.</b> Granulometría del Agregado Fino (Muestra N° 01/M-01) .....	107
<b>Grafico 2.</b> Granulometría del Agregado Fino (Muestra N° 02/M-02) .....	108
<b>Grafico 3.</b> Granulometría del Agregado Fino (Muestra N° 01/M-01) .....	110
<b>Grafico 4.</b> Granulometría del Agregado Fino (Muestra N° 01/M-01) .....	111
<b>Grafico 5.</b> Comparación de Resistencias Promedio de Compresión .....	134
<b>Grafico 6.</b> Comparación del Módulo de Rotura Promedio .....	136

# **CAPÍTULO I**

## **PROBLEMA DE INVESTIGACION**

### **1.1. DETERMINACIÓN DEL PROBLEMA**

Las vías de comunicación contribuyen a mejorar las condiciones físicas y socio-económicas de la población beneficiaria, así elevando las condiciones de vida de los habitantes.

En las obras proyectadas por las entidades se cuentan muchas veces con terrenos de fundación de baja capacidad portante, el cual nos llevará a obtener considerables espesores de pavimentos rígidos o mejorar las propiedades del concreto hidráulico para que resistan las sollicitaciones, en la actualidad para lograr el mejoramiento del concreto

en un pavimento rígido, se refuerzan con varillas de acero, mallas electro soldadas, fibras de acero, entre otros.

La necesidad de ahorrar costos, aumentar la calidad y optimizar los materiales hace que se realicen investigaciones sobre distintos refuerzos al concreto.

La función de un pavimento es la de proveer una superficie de rodamiento adecuada al tránsito y distribuir las cargas aplicadas por el mismo, sin que se sobrepasen las tensiones admisibles de las distintas capas del pavimento y de los suelos de fundación.

El objetivo del diseño de un pavimento es el de calcular el mínimo espesor necesario de cada una de las capas para que cumplan con las exigencias anteriores, teniendo en cuenta los valores económicos de las mismas para lograr la solución técnico-económica más conveniente.

Por tal motivo se tomó la decisión de realizar una evaluación, a fin de implementar soluciones para reducir ciertos costos en la ejecución de pavimentos rígidos.

En la Av. 28 de Julio del AA. HH Túpac Amaru, el suelo de fundación es arena arcillosa, el cual presenta baja capacidad portante, al diseñar el pavimento rígido se obtendrá un espesor considerable de concreto o como se plantea en la presente tesis de investigación, que es incrementar el módulo de rotura ( $M_r$ ) del concreto mediante la adición

de fibras de polietileno obtenido de botellas recicladas, siendo una alternativa económica y ecológica.

Con la dosificación óptima de fibras de botellas recicladas plásticas PET (tereftalato de polietileno) se busca mejorar algunas propiedades físicas-mecánicas del concreto para pavimentos rígidos como el aumento de la resistencia a tracción de manera considerable y la disminución de fisuras, evitando mayores costos relacionados a las partidas de concreto en pavimentos.

## **1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA**

### **1.2.1. PROBLEMA GENERAL**

En el anhelo de dar a conocer nuevas alternativas a fin de optimizar materiales producto de diseños de pavimentos rígidos de la ciudad, planteamos como una alternativa de solución, formulando:

¿Cómo influyen las fibras de Polietileno a manera de adiciones al concreto; en el diseño, construcción y durabilidad de pavimento de concreto en la ciudad de Cerro de Pasco-2017?

### **1.2.2. PROBLEMA ESPECÍFICOS**

- ¿De qué manera, influyen las fibras de Polietileno a manera de adiciones, en las propiedades físicas y mecánicas del concreto para el diseño de pavimentos rígidos en la ciudad de Cerro de Pasco-2017?

- ¿Cuál es la dosificación óptima para adicionar fibras de Polietileno al concreto, para el diseño, construcción y durabilidad de pavimento de concreto en la ciudad de Cerro de Pasco-2017?
- ¿Cómo influye la adición de fibras de Polietileno al concreto, en el diseño estructural de pavimento de concreto en la ciudad de Cerro de Pasco-2017?

### **1.3. OBJETIVOS**

#### **1.3.1. OBJETIVOS GENERAL**

Determinar la influencia de las fibras de Polietileno a manera de adiciones al concreto, en el diseño de pavimentos de concreto en la ciudad de Cerro de Pasco-2017.

#### **1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Analizar la influencia de las fibras de Polietileno a manera de adiciones, en las propiedades mecánicas del concreto; para el diseño de pavimentos de concreto en la ciudad de Cerro de Pasco-2017.
- Establecer el porcentaje de dosificación óptimo para adicionar fibras de Polietileno al concreto, para el diseño, construcción y durabilidad de pavimentos de concreto en la ciudad de Cerro de Pasco-2017

- Determinar la influencia económica del uso de las fibras de Polietileno de botellas recicladas PET, en el diseño estructural de pavimento de concreto en la ciudad de Cerro de Pasco-2017.

#### **1.4. JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA**

Con el desarrollo de esta investigación se dará un gran aporte para la futura construcción de pavimentos rígidos en la Ciudad de Cerro de Pasco, las fibras de Polietileno de botellas plásticas Recicladas (Plástico PET) se muestran como una alternativa diferente para el diseño y construcción, con aditamentos reciclados que sean económicos y ecológicos, mejorando la calidad del elemento estructural.

Esto contribuye de manera directa en el proceso del reciclado, ayudando a eliminar estos desechos cotidianos que desfavorecen el entorno natural, ya que el PET, dentro de la sociedad ha sido un gran benefactor en las necesidades cotidianas, y por su bajo costo; su acceso se vuelve un producto fácil de eliminar, encontrándose en cualquier bote de basura o tirado por los suelos.

Un problema que se observa en la mayoría de obras referidas a pavimentación de calles son las fallas o fracturas debido a la falta de consideración de las solicitaciones reales que actuarán en la estructura, así también como la dificultad del mismo proceso constructivo.

De dar resultados esperados los beneficiados serían los usuarios de las vías y carreteras, así como los organismos encargados de los mantenimientos de estas, pues se mantendría la capacidad de rodadura

en óptimas condiciones, así como el grado de transitabilidad de los pavimentos rígidos de la ciudad.

## **1.5. IMPORTANCIA Y ALCANCES DE LA INVESTIGACIÓN**

### **1.5.1. IMPORTANCIA**

El mundo presenta un crecimiento desmedido y la actividad humana ha llegado a esparcirse indiscriminadamente en la superficie del planeta. Esta situación ha incrementado el consumo de productos y de la materia prima para su fabricación, incrementando así los desechos producidos una vez que éstos ya no son útiles. La contaminación generada ha afectado gravemente el medio ambiente, poniendo en riesgo la salud y bienestar de las personas.

En este orden de ideas, surge la inquietud de darle uso al plástico de las botellas, el cuales pertenecen al grupo de materiales derivados del petróleo que ocasionan molestias y riesgo para el medio ambiente y la salud de la población.

El concreto es un material versátil, que puede encontrarse en todo tipo de construcciones y gran parte del avance humano se debe a él. Sin embargo, este mismo avance ha creado nuevas exigencias hacia el concreto, impulsando así investigaciones con el propósito de hallar técnicas y tecnologías que permitan mezclas de concreto más adecuadas, eficientes y económicas.

El presente trabajo de investigación espera alcanzar beneficios tecnológicos y ambientales, de manera que se consiga una integración de los desechos con el concreto para crear nuevos tipos de concreto, con propiedades similares al concreto existente, pero con ventajas que promuevan su uso bajo condiciones especiales.

La importancia que tiene dicha investigación es significativa para los proyectistas los cuales tendrán presente una alternativa diferente para el diseño y construcción de pavimentos rígidos, cambiando totalmente los métodos convencionales.

Proyectos de gran magnitud poseen la necesidad de realizar mejoras mecánicas y físicas en el concreto para diferentes solicitaciones, evitando así diferentes fallas, optimizando costo y tiempo. Es por ello que la presente tesis se enfocará en cuantificar las mejoras brindadas por la adición de las fibras de polietileno de botellas recicladas (Plástico PET) al concreto, para así tener nuevas consideraciones en los futuros diseños.

En este sentido la investigación traerá un aporte a la ingeniería civil en general, ya que el enfoque de esta investigación aumentará conocimientos estructurales bajo distintos puntos de vista de los materiales a utilizar garantizando la resistencia del

diseño en la estructura, además de fundamentos teóricas que ayudaran a futuras investigaciones.

### **1.5.2. ALCANCES**

La presente investigación se desarrolló en el Laboratorio de Mecánica de Suelos, Materiales y Pavimentos ZEMCO INGENIEROS SAC, para el cual se realizó la caracterización de las propiedades de los materiales componentes del concreto para pavimentos rígidos, los datos recolectados serán procesados en softwares y servirán para la aplicación en la ciudad de Cerro de Pasco

### **1.6. LIMITACIONES**

- Falta de antecedentes bibliográficos o tesis de investigación similares en el ámbito local, debido a que la Escuela Profesional de Ingeniería Civil es relativamente de reciente creación.
- No se cuenta con disponibilidad de Laboratorios y equipos necesarios para la evaluación de los elementos estructurales.
- No se cuentan con el presupuesto requerido para realizar estudios de análisis no destructivos, para pavimentos rígidos.

## **CAPÍTULO II**

### **MARCO TEORICO**

#### **2.1. ANTECEDENTES**

Los trabajos aquí descritos fueron necesarios para el desarrollo del proyecto de investigación, se consultaron diferentes investigaciones y trabajos de grado que guardan relación con el tema, es así que tenemos lo siguiente:

##### **2.1.1. ANTECEDENTES INTERNACIONALES.**

(Irias Pineda, Ana S., 2013)<sup>1</sup> de la tesis de maestría, extraemos lo siguiente:

---

<sup>1</sup> Irias Pineda, Ana S., (2013). *REFUERZOS DE ELEMENTOS ESTRUCTURALES CON HORMIGONES CON FIBRAS O SOLO FIBRAS*. MADRID, ESPAÑA. UNIVERSIDAD POLITECNICA DE MADRID.

El concreto en masa es un material moldeable y con buenas propiedades mecánicas y de durabilidad, y aunque resiste tensiones y esfuerzos de compresión apreciables tiene una resistencia a la tracción muy reducida. Por eso se usa combinando con acero, que cumple la misión de absorber las tensiones de tracción que aparece en la estructura.

La idea de utilizar materiales fibrosos resistentes, pero de elevada fragilidad se remonta a muchos años atrás; en el antiguo Egipto se introducía paja al macizo arcilloso con el cual confeccionaban ladrillos para conferirle una mayor resistencia y por lo tanto una buena manejabilidad después de la cocción al sol.

Existen otros ejemplos históricos: revoques reforzados con cabello de caballo, o también con paja en las construcciones más precarias, para evitar fisuras antiestéticas de retiro, contra pisos en yeso armado con esteras de caña, conglomerados de cemento fibro reforzados con amianto etc.

En los años 1900, las fibras de asbesto eran usadas en el concreto. En 1950, el concepto de materiales compuestos entro en vigor y el refuerzo con fibras era uno de los temas de interés. Una vez que se dieron problemas de salud debido al asbesto, hubo la necesidad de encontrar un remplazo para la resistencia en el concreto y otros materiales de construcción. Por los años

1960, el acero, vidrio (GFRC, glass fiber reinforced concrete) y fibras sintéticas tales como el Polipropileno fueron usadas en el concreto.

(Santos Cortés, Lorena C., 2004)<sup>2</sup> Las fibras de polipropileno son empleadas ampliamente en los Estados Unidos y Canadá en todo tipo de construcciones de concreto, y han probado ser un método efectivo para controlar las grietas formadas en el concreto causadas por secado rápido, de las conclusiones extraemos:

De los resultados obtenidos en el laboratorio, existen cuatro razones que justifican la adición de las fibras PP al concreto:

- Control de las grietas de contracción plástica que aparecen en las estructuras de concreto. La ventaja de reducir estas grietas es más importante que simplemente mejorar la apariencia de un pavimento o alguna otra estructura; ya que la ausencia de grietas evita la entrada de factores externos como son agentes químicos, salitre, etc., aumentando con eso la durabilidad de la estructura
- La segunda razón es aumentar la ductilidad del concreto ya que la carga se transfiere a través de la fibra y se reparte

---

<sup>2</sup> Santos Cortés, Lorena C., (2004). *CONTRIBUCION DE FIBRAS PP PROVENIENTES DE PLASTICOS RECICLADOS EN EL AGRIETAMIENTO Y RESISTENCIA DEL CONCRETO EN PAVIMENTOS PORTUARIOS DE VERACRUZ. VERACRUZ, MEXICO. UNIVERSIDAD VERACRUZANA.*

hacia todas direcciones, evitando concentrarse así, en un punto fijo.

- La tercera razón es que el concreto con fibras desarrolla mayor resistencia a fracturas y al mismo tiempo ayuda a prevenir el astillado o fragmentación del concreto
- La cuarta razón es que ante tráfico ligero las fibras mejoran el comportamiento a la flexión del concreto pudiendo sustituir la malla electro soldada por fibras PP. Sin embargo, el comportamiento no se extiende hacia pavimentos de tráfico pesado, donde si es necesaria la colocación de la malla electro soldada

(Flores Fernández, Jesús A., 2014)<sup>3</sup> en su tesis de maestría, extraemos del resumen de su estudio que consistió en cortar botellas de PET (polietileno tereftalato) en tiras de aproximadamente 3mm de ancho por varios centímetros de largo en su versión continua y de 4 cm de largo en su forma discontinua, para reforzar probetas de mortero y analizarlas a tensión directa, en la parte de las conclusiones y recomendaciones nos da a conocer:

- El PET reciclado no presenta degradación al interactuar con la reacción que provoca el mortero, por lo cual es factible su uso como refuerzo.

---

<sup>3</sup> Flores Fernández, Jesús A. (2014). *EFEECTO EN LAS PROPIEDADES EN TENSIÓN DE UN MATERIAL COMPUESTO BASE CEMENTO REFORZADO CON FIBRAS DE PET RECICLADO*. CHIHUAHUA, MEXICO. CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN MATERIALES AVANZADOS S.C.

- Utilizar PET reciclado en tiras como refuerzo de un mortero sometido a tensión directa presenta una mejora en su comportamiento después de la falla, ya que la adherencia matriz-PET genera un esfuerzo residual que va en aumento.
- El ensayo de compresión es un buen método para obtener la tensión de un mortero, ya que se aproxima al valor obtenido por tensión directa.
- Los especímenes de mortero después de fallar no presentan separación total, por lo cual podría ser recomendado para utilizarse como complemento en la construcción de edificaciones en zonas sísmicas y para mitigar fisuras.

### **2.1.2. ANTECEDENTES NACIONALES.**

(Montalvo Guevara, Marco E., 2015)<sup>4</sup>. En su trabajo investigativo nos presenta:

El fin de este documento es presentar el concreto reforzado con fibras como alternativa de solución para mejorar el comportamiento del concreto; ya que sus diversas aplicaciones hacen que sea uno de los productos más solicitados por las ventajas que aportan al concreto. Las principales mejoras que proporciona la adición de fibras al concreto son la disminución

---

<sup>4</sup> Rojas Silva Santisteban, Herbert (2009). *CONCRETO REFORZADO CON FIBRA NATURAL DE ORIGEN ANIMAL (PLUMAS DE AVES)*. LIMA, PERU. UNIVERSIDAD RICARDO PALMA.

de fisuras en la contracción plástica como endurecida y la resistencia a tracción aumenta de manera considerable.

La necesidad de ahorrar costos, aumentar la calidad y optimizar los materiales hace que se realicen investigaciones sobre distintos aditivos que se le añaden al concreto como acelerantes de fragua, incorporado res de aire, reductores de agua, superplastificantes, impermeabilizantes, entre otros; como también el tipo de refuerzo que complementa al concreto como varillas de acero, mallas electro soldadas, fibras de acero, entre otros.

El uso del concreto fibro reforzado se viene dando cada vez más en nuestro país, se utiliza desde los pavimentos rígidos hasta el reforzamiento de estabilidad en túneles, haciéndolo uno de los materiales con mayor demanda en los diferentes campos de la ingeniería.

Este documento se enfocará en realizar comparación entre pavimentos de concreto simple, pavimentos de concreto reforzado con mallas de acero y el pavimento de concreto reforzado con fibras de acero, comparando la metodología de diseño, los esfuerzos teóricos, su procedimiento constructivo y los precios unitarios en cada una de las situaciones.

Para finalizar se realizará un ejemplo utilizando un proyecto real, en el cual se verificará que el concreto reforzado con fibras de acero es la mejor opción.

(Rojas Silva Santisteban, Herbert, 2009)<sup>5</sup>, para el cual nos manifiesta en su resumen de Tesis presentado para optar el grado de Ingeniero Civil:

Sabemos que el concreto es un material que está sujeto a cambios volumétricos de acuerdo a la temperatura de exposición, siendo el más frecuente el caso de la contracción por secado en las primeras horas de fraguado para el cual es necesario el uso de fibras sintéticas y naturales para reducir el efecto.

Es por ello que en esta investigación se pretende analizar y determinar si las plumas de aves eran capaces de inhibir la fisuración en losas de concreto. Para esto se realizó un análisis comparativo entre fibra sintética (Fibermesh) y fibra natural de origen animal (plumas de aves), las cuales se estudiaron en dos ensayos normados por la ASTM y una prueba experimental, nos da a conocer lo siguiente:

- El uso de la fibra natural de origen animal (pluma de aves) inhibe efectivamente la formación de fisuras por contracción plástica hasta en un 75% para la dosis de 900 g/m<sup>3</sup> de concreto.

---

<sup>5</sup> Rojas Silva Santisteban, Herbert (2009). *CONCRETO REFORZADO CON FIBRA NATURAL DE ORIGEN ANIMAL (PLUMAS DE AVES)*. LIMA, PERU. UNIVERSIDAD RICARDO PALMA.

- La fibra sintética (Fibermesh) inhibe la fisuración por contracción plástica hasta en un 96% para la dosis de 900 g/m<sup>3</sup> de concreto.
- La fibra sintética disminuye más eficientemente la fisuración por contracción plástica que la fibra natural de origen animal.
- La incorporación de fibras en el concreto disminuye el asentamiento haciendo el concreto menos trabajable.
- La pérdida casi total de la trabajabilidad en el concreto en la dosis de 1200 g/m<sup>3</sup> se debió a que el aditivo plastificante empleado no fue capaz de romper la red interna formada por la fibra.
- La resistencia a la compresión de los especímenes cilíndricos reforzados con fibra sintética no presentó variación significativa con respecto a la mezcla control. Por otro lado, los especímenes reforzados con fibra natural de origen animal presentaron disminución a medida que la dosificación se fue aumentando y esto se debe posiblemente a la posible degradación de la fibra en el concreto.
- La resistencia a la flexión se vio incrementada aproximadamente en 13% para los dos tipos de fibras con respecto a la mezcla control. Pero donde se aprecia

mayor trabajo de las fibras es en la ductilidad aportada al concreto después del agrietamiento.

- La fibra natural de origen animal resulto ser más económica que la fibra sintética y esto se debe a que las plumas de aves se encuentran como desperdicio en los centros de acopio y porque para el proceso de limpieza solo se utilizó abundante agua. Además, no fueron tratadas químicamente, lo cual incrementaría el costo.

### **2.1.3. ANTECEDENTES REGIONALES.**

En la actualidad el desgaste de los pavimentos, asentamientos diferenciales, deformaciones, factores climáticos, exigente recurrencia de tránsito, deformaciones plásticas, condiciones de drenaje y sub-drenaje, etc., son fallas comunes que puede sufrir el concreto hidráulico, debido a diferentes causas, en Pasco se debe a distintas causas ocasionadas por la naturaleza como pueden ser: cambios climáticos, movimientos sísmicos; un mal proceso constructivo por la empresa ejecutora.

### **2.1.4. NORMATIVIDAD.**

- “MANUAL DE CARRETERAS” SUELOS, GEOLOGIA, GEOTECNIA Y PAVIMENTOS. SECCIÓN SUELOS Y PAVIMENTOS (2014, p. 224-254). Aprobado mediante Resolución Directoral N° 10-2014-MTC/14 del 09 de abril del 2014, que contiene las Normas, Guías y Procedimientos de

los Estudios de Suelos, Geología, Geotecnia y Diseño de Pavimentos.

- Norma ACI544.1R-96, 2002 (State-Of-The Art Report On Fiber Reinforced Concrete) Informe de estado del arte sobre el concreto reforzado con fibra
- Norma ACI544.2R-89, 1999 (Measurement of Properties of Fiber Reinforced Concrete). Medición de Propiedades de Hormigón Armado con Fibra.
- Norma ACI544.3R-93, 1998 (Guide for Specifying, Proportioning, Mixing, Placing, and Finishing Steel Fiber Reinforced Concrete). Guía para especificar, dosificar, mezclar, colocar y acabar acero reforzado con fibra de acero.
- Norma ACI544.4R-88, 1999 (Design Considerations for Steel Fiber Reinforced Concrete). Consideraciones de diseño para el hormigón reforzado con fibra de acero.
- INSTRUCCIÓN ESPAÑOLA DE HORMIGÓN ESTRUCTURAL, Anexo 14 de la instrucción (EHE, 2008), se clasifica las fibras de manera general en estructurales y no estructurales, esto en función de la capacidad de aumentar la resistencia del concreto.

## **2.2. BASES TEÓRICO – CIENTÍFICOS**

### **2.2.1. CONCRETO**

### **2.2.1.1. DEFINICIÓN<sup>6</sup>**

El concreto es el material constituido por la mezcla en ciertas proporciones de cemento, agua, agregados y opcionalmente aditivos, que inicialmente denota una estructura plástica y moldeable, y que posteriormente adquiere una consistencia rígida con propiedades aislantes y resistentes, lo que lo hace un material ideal para la construcción.

De esta definición se desprende que se obtiene un producto híbrido, que conjuga en mayor o en menor grado las características de los componentes, que bien proporcionados, aportan una o varias de sus propiedades individuales para constituir un material que manifiesta un comportamiento particular y original.

En consecuencia, para poder dominar el uso de este material, hay que conocer no solo las manifestaciones del producto resultante, sino también la de los componentes y su interrelación, ya que son en primera instancia los que le confiere su particularidad.

---

<sup>6</sup>Montalvo Guevara, Marco E. (2015). *PAVIMENTOS RIGIDOS REFORZADOS CON FIBRAS DE ACERO VERSUS PAVIMENTOS TRADICIONALES*. LIMA, PERU. PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DEL PERU.

Como cualquier material, se contrae al bajar la temperatura, se dilata si esta aumenta, se ve afectado por sustancias agresivas y se rompe si es sometido a esfuerzos que superan sus posibilidades, por lo que responde perfectamente a las leyes físicas y químicas. Luego pues, la explicación a sus diversos comportamientos siempre responde a alguna de estas leyes; y la no obtención de los resultados esperados, se debe al desconocimiento de la manera cómo actúan en el material, lo que constituye la utilización artesanal del mismo (por lo que el barco de la practica sin el timón de la ciencia nos lleva a rumbos que no podemos predecir) o porque durante su empleo no se respetaron o se obviaron las consideraciones técnicas que nos da el conocimiento científico sobre él. (Pasquel Carbajal, 1998-1999, p.11).

Actualmente el concreto es el material de construcción de mayor uso en nuestro país. Si bien la calidad final del concreto depende en forma muy importante del conocimiento del material y de la calidad profesional del ingeniero, el concreto es, en general, desconocido en mucho de sus siete grandes aspectos: naturaleza, materiales, propiedades, selección de las proporciones,

procesos de puesta en obra, control de calidad e inspección, y mantenimiento de los elementos estructurales. (Rivva López, 2000, p.8)

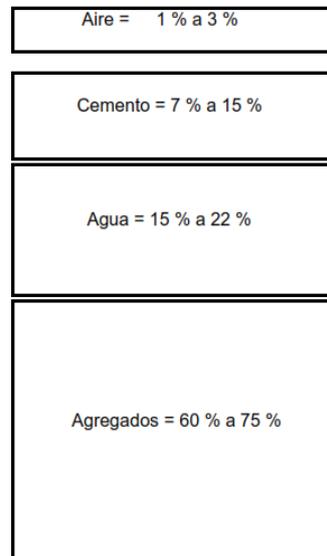
#### **2.2.1.2. COMPONENTES DEL CONCRETO**

La tecnología del concreto moderna define para este material cuatro componentes: Cemento, agua, agregados y aditivos como elementos activos y el aire como elemento pasivo.

Si bien la definición tradicional consideraba a los aditivos como un elemento opcional, en la práctica moderna mundial estos constituyen un ingrediente normal, por cuanto está científicamente demostrada la conveniencia de su empleo en mejorar condiciones de trabajabilidad, resistencia y durabilidad, siendo a la larga una solución más económica si se toma en cuenta el ahorro en mano de obra y equipo de colocación y compactación, mantenimiento, reparaciones e incluso en reducción de uso de cemento

Ya hemos establecido conceptualmente la necesidad de conocer a profundidad las propiedades de los componentes del concreto, pero debemos puntualizar que de todos ellos, el que amerita un conocimiento

especial es el cemento. Si analizamos la Fig.01 en que se esquematizan las proporciones típicas en volumen absoluto de los componentes del concreto. Concluiremos en que el cemento es el ingrediente activo que interviene en menor cantidad, pero sin embargo es el que define las tendencias del comportamiento.



**Figura 1.** Proporciones típicas en volumen absoluto de los componentes del concreto  
**Fuente:** Tópicos de Tecnología del Concreto-Enrique Pasquel.

Pese a que en nuestra formación en Ingeniería Civil todos asimilamos los conceptos básicos de química, no es usual que entre los colegas exista mucha afición hacia este campo (como es también el caso nuestro). Sin embargo, es necesario tener el conocimiento general de las consecuencias de las reacciones que se producen, por lo que durante el desarrollo de estos temas insistiremos en los aspectos prácticos ates que en el

detalle de fórmulas y combinaciones químicas si no aportan información de aplicación directa para el Ingeniero Civil.

### **2.2.1.3. PROPIEDADES DEL CONCRETO**

Para cada caso particular de empleo se requieren en el concreto determinadas propiedades. Es por ello que el conocimiento de todas y cada una de las propiedades del concreto, si como de la interrelación entre ellas, es de importancia para el ingeniero el cual debe decidir, para cada caso particular de empleo del concreto, la mayor o menor importancia de cada una de ellas.

Al analizar las propiedades del concreto, el ingeniero debe recordar las limitaciones de las mismas en función de las múltiples variables que pueden actuar sobre el concreto modificándolo. En este análisis es importante que el ingeniero recuerde que el concreto, como cualquier otro material, puede sufrir adicionalmente modificaciones en el tiempo y que puede claudicar por fallas atribuibles a problemas de durabilidad, aun cuando su resistencia haya sido la adecuada.

En el análisis de las propiedades del concreto es importante recordar que ellas están íntimamente

asociadas con las características y proporciones relativas de los materiales integrantes; que la calidad, cantidad y densidad de la pasta es determinante en las propiedades del concreto; y que la relación agua-cemento lo es sobre las características de la pasta. (Rivva López, 2000, p.22)

## **I. Concreto Fresco**

**Trabajabilidad.** - Esta definida por la mayor o menor dificultad para el mezclado, transporte, colocación y compactación del concreto. Su evaluación es relativa, por cuanto depende realmente de las facilidades manuales o mecánicas de que se disponga durante las etapas del proceso, ya que un concreto que puede ser trabajable bajo ciertas condiciones de colocación y compactación, no necesariamente resulta tal si dichas condiciones cambian.

Está influenciada principalmente por la pasta, el contenido de agua y el equilibrio adecuado entre gruesos y finos, que produce en el caso óptimo una suerte de continuidad en el desplazamiento natural y/o inducido de la masa.

Por lo general un concreto es trabajable en la mayoría de circunstancias, cuando durante su desplazamiento

mantiene siempre una película de mortero de al menos  $\frac{1}{4}$ " sobre el agregado grueso.

El método tradicional de medir la trabajabilidad ha sido desde hace muchos años el "Slump" o Asentamiento con el Cono de Abrams, ya que permite una aproximación numérica a esta propiedad del concreto, sin embargo debe tenerse clara la idea que es más una prueba de uniformidad que de trabajabilidad, pues es fácilmente demostrable que se pueden obtener concretos con igual slump pero trabajabilidades notablemente diferentes para las mismas condiciones de trabajo.

**Segregación.** - Las diferencias de densidades entre los componentes del concreto provocan una tendencia natural a que las partículas más pesadas descendan, pero en general, la densidad de la pasta con los agregados finos es solo un 20% menor que la de los gruesos (para agregados normales) lo cual sumado a su viscosidad produce que el agregado grueso quede suspendido e inmerso en la matriz.

Cuando la viscosidad del mortero se reduce por insuficiente concentración de la pasta, mala distribución de las partículas o granulometría deficiente, las partículas

gruesas se separan del mortero y se produce lo que se conoce como segregación. En los concretos con contenidos de piedra > del 55% en peso con respecto al peso total de los agregados, es frecuente confundir la segregación con la apariencia normal de estos concretos, lo cual es muy simple de verificar obteniendo dos muestras de concreto fresco de sitios diferentes y comparar el contenido de gruesos por lavado, que no deben inferir en más del 6%.

**Exudación.** - Propiedad por la cual una parte del agua de mezcla se separa de la masa y asciende hacia la superficie del concreto.

Es un caso típico de sedimentación en que los sólidos se asientan dentro de la masa plástica. El fenómeno está gobernado por las leyes físicas del flujo de un líquido en un sistema capilar, antes que el efecto de la viscosidad y la diferencia de densidades.

Está influenciada por la cantidad de finos en los agregados y la finura del cemento, por lo que cuanto más fina es la molienda de este y mayor es el porcentaje de material menor que la malla N°100, la exudación será menor pues se retiene el agua de la mezcla.

La exudación se produce inevitablemente en el concreto, pues es una propiedad inherente a su estructura, luego lo importante es evaluarla y controlarla en cuanto a los efectos negativos que pudiera tener.

**Contracción.** - Es una de las propiedades más importantes en función de los problemas de fisuración que acarrea con frecuencia.

Ya hemos visto que la pasta de cemento necesariamente se contrae debido a la reducción del volumen original de agua por combinación química, y que a esto se le llama contracción intrínseca que es un proceso irreversible.

Pero además existe otro tipo de contracción inherente también a la pasta de cemento y es la llamada contracción por secado, que es la responsable de la mayor parte de los problemas de fisuración, dado que ocurre tanto en el estado plástico como en el endurecido si se permite la pérdida de agua en la mezcla.

Este proceso no es irreversible, ya que, si se repone el agua perdida por secado, se recupera gran parte de la contracción acaecida.

Esta propiedad se tratará con mucha amplitud al tocar el tema de los cambios volumétricos en el concreto, siendo lo fundamental en este capítulo, el tener claro que el concreto de todas maneras se contrae y si no tomamos las medidas adecuadas indefectiblemente se fisura, y en muchos casos ésta fisuración es inevitable por lo que solo resta proveerla y orientarla.

## II. Concreto Endurecido

**Elasticidad.** - En general, es la capacidad del concreto de deformarse bajo carga, sin tener deformación permanente.

El concreto no es un material elástico estrictamente hablando, ya que no tiene un comportamiento lineal en ningún tramo de su diagrama carga vs deformación en compresión, sin embargo, convencionalmente se acostumbra definir un “Modulo de elasticidad estático” del concreto mediante una recta tangente a la parte inicial del diagrama, o una recta secante que une el origen del diagrama con un punto establecido que normalmente es un % de la tensión ultima.

Los módulos de elasticidad normales oscilan entre 250,000 a 350,000 Kg/cm<sup>2</sup> y están en relación directa con

la resistencia en compresión del concreto y en relación inversa con la relación agua/cemento.

Conceptualmente, las mezclas más ricas tienen módulos de Elasticidad mayores y mayor capacidad de deformación que las mezclas pobres. La norma que establece como determinar el Modulo de elasticidad estático del concreto es la ASTM C-469.

**Resistencia.** - Es la capacidad de soportar cargas y esfuerzos, siendo su mejor comportamiento en compresión en comparación con la tracción, debido a las propiedades adherentes de la pasta de cemento.

Depende principalmente de la concentración de la pasta de cemento, que se acostumbra expresar en términos de la relación Agua/Cemento en peso.

La afectan además los mismos factores que influyen en las características resistentes de la pasta, como son la temperatura y el tiempo, aunados a otros elementos adicionales constituidos por el tipo y características resistentes del cemento en particular que se use y de la calidad de los agregados, que complementan la estructura del concreto.

Un factor indirecto, pero no por eso menos importante en la resistencia, lo constituye el curado ya que es el complemento del proceso de hidratación sin el cual no se lleguen a desarrollar completamente las características resistentes del concreto.

Los concretos normales usualmente tienen resistencias en compresión del orden de 100 a 400 Kg/cm<sup>2</sup>, habiéndose logrado optimizaciones de diseños sin aditivos que han permitido obtener resistencias sobre los 700 Kg/cm<sup>2</sup>.

Tecnologías con empleo de los llamados polímeros, constituidos por aglomerantes sintéticos que se añaden a la mezcla, permiten obtener resistencias en compresión que bordean los 1500 kg/cm<sup>2</sup>, y todo parece indicar que el desarrollo de estas técnicas permitirá en el futuro superar incluso estos niveles de resistencia.

La propiedad sobresaliente del concreto es la resistencia a la compresión, sin embargo, la resistencia a la tracción, comparándolo con la compresión, es de 10%.

**Extensibilidad.** - Es la propiedad del concreto de deformarse sin agrietarse. Se define en función de la

deformación unitaria máxima que puede asumir el concreto sin que ocurran fisuraciones.

Depende de la elasticidad y del denominado flujo plástico, constituido por la deformación que tiene el concreto bajo carga constante en el tiempo.

El flujo plástico tiene la particularidad de ser parcialmente recuperable, estando relacionado también con la contracción, pese a ser dos fenómenos nominalmente independientes.

La microfisuración aparece normalmente alrededor del 60% del esfuerzo último, y a una deformación unitaria de 0.0012, y en condiciones normales la fisuración visible aparece para 0.003 de deformación unitaria.

Este estado se da una vez que la mezcla ya ha fraguado y presenta las siguientes propiedades:

**Durabilidad.** - Es la habilidad del concreto para resistir a distintos tipos de ambientes, ataques químicos y a la abrasión (desgaste). La durabilidad varía según el tipo de concreto y de la exposición del mismo al medio ambiente.

#### **2.2.1.4. ETAPAS DE LA ELABORACIÓN DEL CONCRETO**

**Dosificación.** - Un objetivo importante en la producción de concreto es obtener homogeneidad y uniformidad, las cuales son evidenciadas por propiedades tales como peso unitario, asentamiento, contenido de aire, resistencia y peso unitario del mortero libre de aire en tandas individuales y en tandas sucesivas de las mismas proporciones de mezcla.

Durante las operaciones de dosificación los agregados deberán ser manejados de manera tal de mantener la granulometría deseada, y todos los materiales deberán ser medidos dentro de las tolerancias requeridas para reproducir la mezcla de concreto seleccionada.

Un tercer objetivo importante es una dosificación exitosa es una adecuada secuencia y mezclado de los ingredientes. La observación visual de cada uno de los ingredientes que está siendo dosificado es importante para alcanzar este objetivo.

**Mezclado.** - Un concreto de calidad satisfactoria requiere que sus materiales estén adecuadamente mezclados hasta obtener una masa de apariencia y en la que todos sus componentes estén igualmente distribuidos.

Por lo tanto, los equipos y procedimientos empleados deberán ser capaces de lograr un mezclado efectivo de los materiales empleados a fin de producir una mezcla uniforme con el menor asentamiento adecuado para el trabajo en el que el concreto va a ser utilizado.

El proceso de mezclado deberá tener como objetivos:

- Revestir uniformemente la superficie de las partículas de agregado con pasta.
- Obtener una distribución uniforme de los materiales a través de toda la masa del concreto.
- Lograr uniformidad en la composición, peso unitario, contenido de aire y consistencia de la mezcla tanda a tanda.

**Transporte.** - El transporte del concreto desde el punto de mezclado al de colocación debe efectuarse con el menor tiempo posible y sin interrupciones, empleando procedimientos que eviten la segregación o la pérdida de material y garanticen economía y la obtención de la calidad deseada en el punto de entrega.

El concreto puede ser transportado desde la mezcladora hasta el punto de colocación empleando una variedad de

procedimientos y equipos, debiéndose en la selección del procedimiento de transporte, tener en consideración:

- Las condiciones de empleo del concreto.
- Los ingredientes de la mezcla.
- La ubicación del lugar de colocación del concreto y las facilidades de acceso al mismo.
- La capacidad del equipo.
- El tiempo requerido para la entrega del concreto.
- Las condiciones de clima.

**Colocación.** - El planeamiento de la colocación del concreto en la obra deberá garantizar un abastecimiento del material adecuado y consistente.

Deberá contemplarse aspectos tales como que:

- El concreto pueda ser mantenido plástico y libre de juntas frías cuando está siendo colocado.
- Todo el equipo empleado en la colocación este limpio y adecuadas condiciones de operación.
- El equipo deberá estar en capacidad de entregar el concreto en su posición final sin segregación objetable

La colocación del concreto no deberá ser comenzada cuando existe la posibilidad que ocurra temperaturas de

congelación, salvo que se hayan tomado precauciones para protección en bajas temperaturas.

Antes de comenzar la operación de colocación deberá contarse en obra con todas las facilidades para un inicio inmediato del proceso del curado.

Cuando ello es posible, es conveniente tener en obra un sistema de comunicaciones entre el sitio de colocación del concreto y las plantas dosificadoras y mezcladas a fin de tener un mejor control del proceso de entrega y prevenir excesivas demoras y pérdidas de concreto.

**Consolidación.** - La consolidación igualmente conocida como compactación, es el proceso por el cual el aire atrapado en la mezcla de concreto es removido en la misma. Para lograr ello se han desarrollado diferentes métodos y la elección del más conveniente de los mismos depende principalmente de la trabajabilidad de la mezcla, las condiciones de colocación y el grado de remoción de aire atrapado deseado.

En el proceso de consolidación del concreto se debe recordar que el aire atrapado es un conjunto de burbujas de aire en el concreto las cuales no han sido

intencionalmente incorporadas y son más grandes y menos útiles que las burbujas de aire incorporado.

No debe intentarse que en el proceso de consolidación remueva las burbujas de aire incorporado, esferas de muy pequeño diámetro intencionalmente presentes en la masa para mejorar el comportamiento del concreto durante los procesos de congelación.

Alternativamente una consolidación adecuada puede permitir reducir el contenido de cemento, manteniendo la calidad con reducción del costo. Es igualmente conocido que, si el concreto fresco es demasiado consistente para el esfuerzo de compactación que se está aplicando, la consolidación del concreto y su calidad pueden disminuir rápidamente.

**Curado.** - El curado puede ser definido como el mantenimiento de un contenido de humedad satisfactorio y una temperatura adecuada en el concreto durante su etapa inicial, a fin de lograr que los espacios originalmente ocupados por el agua en la pasta fresca se llenen con los productos de hidratación del cemento, reduciendo así a un mínimo los poros capilares y

permitiendo que se desarrollen las propiedades que se desea que el material alcance.

El curado es esencial en la protección de un concreto que tenga las propiedades requeridas. La resistencia y durabilidad solo pueden ser totalmente desarrolladas si él es curado. Sin embargo, no se requiere ninguna acción en este sentido si las condiciones ambientales de humedad y temperatura son suficientemente favorables al curado. De no ser así, las medidas de curado especificadas deberán comenzar tan pronto como sea requerido.

El curado se iniciará tan pronto como el concreto hay endurecido lo suficiente como para que su superficie no resulte afectada por el método de curado afectado.

#### **2.2.1.5. FISURACIÓN DEL CONCRETO**

**Definición<sup>7</sup>:** Este es un tema relevante debido a que uno de los aportes más importantes de las fibras es la minimización o control de la fisuración en el concreto. La fisuración es una consecuencia directa de la baja resistencia a la tracción del concreto. También pueden

---

<sup>7</sup> Montalvo Guevara, Marco E. (2015). *PAVIMENTOS RIGIDOS REFORZADOS CON FIBRAS DE ACERO VERSUS PAVIMENTOS TRADICIONALES*. LIMA, PERU. PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DEL PERU

darse debido a la compresión y puede estar presente en cualquier tipo de estructura desde edificaciones, hasta toda clase de obra civil en donde participe el concreto. Dichas fisuras pueden manifestarse en años, semanas, días u horas debido a las distintas causas. Esta patología en el concreto puede afectar la apariencia de la estructura; sin embargo, también puede indicar fallas estructurales ya que, debido a ellas, agentes químicos pueden entrar en contacto con la armadura del elemento o con el mismo concreto, debilitando así la estructura y afectando la durabilidad. Sin embargo, se debe tener en cuenta que no siempre son peligrosas, lo que importa es conocer el tipo de elemento estructural en el que han aparecido y la naturaleza de las mismas. La peligrosidad de las fisuras se debe tener en cuenta cuando se sobrepasan determinados espesores o cuando están en determinados ambientes.

### **Clasificación de las fisuras**

- **Fisuras estabilizadas.** - También llamadas muertas, son aquellas que llegan a una determinada abertura y el proceso queda detenido.
- **Fisuras en movimiento.** - Son aquellas en las que la fisuración continúa hasta llegar a estabilizarse.

- **Fisuras estructurales.** - Son debidas a las excesivas cargas a que esta sometidos el concreto, las cuales originan esfuerzos sobredimensionados, y se pueden clasificar de la siguiente manera:

**Fisuras causadas por fuerzas externas.** - Estas son síntomas de un mal comportamiento estructural y se originan por problemas o errores en el proyecto, también por la actuación de cargas excesivas en los elementos. Estas fisuras no pueden ser reparadas superficialmente. Se pueden describir las siguientes:

Fisuras causadas por esfuerzos de flexión: estas se presentan en la parte inferior de las vigas, las cuales continúan casi verticalmente hasta llegar al centro de la viga.

Fisuras causadas por esfuerzos cortantes, habitualmente aparecen luego de eventos sísmicos y aparecen en los extremos de una viga y columna, generalmente son grietas que forman un ángulo de 45°.

Las fisuras debidas a esfuerzos de compresión aparecen por las excesivas cargas que se le somete, comúnmente aparecen en las columnas y no son fáciles de identificar.

Las fisuras debido a los esfuerzos por torsión se pueden distinguir por el sentido de inclinación que presentan en dos caras opuestas del elemento. Estas se generan en un sentido de la cara de la viga y en la cara opuesta se manifiestan en sentido opuesto

Las fisuras por esfuerzos de tracción se manifiestan generalmente en las losas de entrepiso, se observan largas grietas a lo largo y ancho del elemento. En las paredes se manifiestan como grietas inclinadas a partir de las esquinas de dinteles de puertas y ventanas.

Las fisuras por asentamiento de terreno, ocurren por un mal diseño de la cimentación o mala compactación del terreno en uno de los apoyos, los cuales ocasionan asentamientos diferenciales excesivos. Aparecen en la columna en la que ha sido asentada, tienen la dirección hacia el lado del terreno que no se ha deformado.

**Fisuras causadas por el reforzamiento de acero.** - Esta fisuración tiene como origen la corrosión en el acero del concreto armado, la corrosión es el principal agente químico que ataca al acero, es por ello que se debe tratar a tiempo con la finalidad de no generar problemas a futuro.

Una de las causas es porque el elemento no tiene el debido recubrimiento, es por esto que el agua penetra y se forma óxido que va formando una capa sobre la armadura, la cual va creciendo y ejerciendo presión sobre el recubrimiento hasta romperlo y formar la grieta; estas aparecen de forma longitudinal al refuerzo que se el añadido al concreto

Otra de las causas es por no añadir la cantidad correcta de acero al concreto, ya que deja espacios considerables sin reforzar y es donde las grietas aparecen.

- **Fisuras en estado plástico.** - Según la Norma ACI 224.1R-93 este tipo de fisuración **de subdivide en 2:**

**Fisuración por retracción plástica.** - Esto ocurre cuando el concreto pierde contenido de humedad de manera muy rápida a causa de la temperatura del ambiente, bajas humedades y altas velocidades del viento, generando la rápida evaporación del agua de la superficie del concreto. Esta evaporación ocasiona la contracción de la capa superficial. Sus longitudes pueden variar entre pocos milímetros hasta un metro, y su separación puede ser desde pocos milímetros hasta 3 metros. Para reducir la pérdida de humedad se puede

optar por el uso de boquillas de niebla para saturar el aire y además el uso de láminas plásticas para cubrir las superficies.

**Fisuración por precipitaciones de los agregados. -**

Esta fisuración se produce luego del colocado, vibrado y acabado, ya que el concreto aún continúa en su proceso de consolidación. Durante esta etapa, el concreto puede estar restringido por las armaduras del elemento y el encofrado.

Es así que estas restricciones producen vacíos y/o fisuras adyacentes al elemento que impone la restricción. Con la finalidad de reducir esta fisuración se debe tener en un buen diseño de encofrado, la utilización de concreto con el menor asentamiento posible, y se debe diseñar con un recubrimiento mayor y, por último, realizar un correcto vibrado.

- **Fisuras en estado sólido. -** Esta fisuración se produce debido a las restricciones que tiene el concreto endurecido para cambiar su volumen. La norma técnica ACI 224.1R-93 la sub clasifica de acuerdo a su causa:

**Retracción por secado.** - Es la causa principal de la aparición de fisuras en el estado sólido, ya que cuando el concreto pierde toda su humedad, tiende a cambiar de volumen a largo plazo.

Ello genera esfuerzos de tracción y cuando estos exceden la resistencia a la tensión del concreto se producen fisuras, las cuales se producen perpendicularmente a los esfuerzos.

El contenido de agua, el tamaño del agregado, la relación agua-cemento y el curado son algunos factores que afectan a la retracción por secado. Por otro lado, otras causas que producen fisuras son: Tensiones de origen térmico:

- I. Reacciones químicas
- II. Meteorización
- III. Prácticas constructivas inadecuadas
- IV. Sobrecargas durante la construcción
- V. Errores de diseño y detallado
- VI. Cargas aplicadas externamente.

#### **2.2.1.6. COMPORTAMIENTO ESFUERZO- DEFORMACIÓN A LA TRACCIÓN DEL CONCRETO**

Debido a algunas dificultades operativas (Ing. León Ramírez, José A., 2014)<sup>8</sup>, por lo general no se realizan normalmente ensayos de tracción directa sobre el concreto, ya que este ensayo en particular requiere un montaje complejo, la evaluación de esta propiedad de resistencia, así como la de ductilidad y tenacidad, se efectúa indirectamente a través de pruebas de flexión sobre vigas o losas.

En la figura 2 se ilustra el comportamiento general en viga simplemente apoyada elaborada en concreto simple y concreto reforzado con fibras con varias dosificaciones, obteniendo las siguientes curvas carga-desplazamiento características.

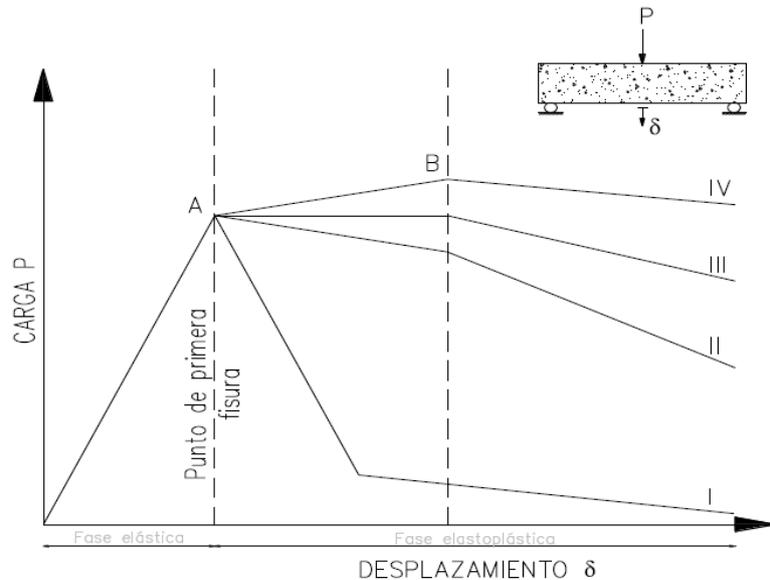
Bajo cargas inferiores a las que generan la primera fisura en el concreto, el comportamiento del material es siempre elástico y no se produce ninguna fisuración en la probeta bajo el ensayo de flexión, independientemente de la presencia o no, calidad y cantidad de fibras.

Por el contrario, el comportamiento que se presenta continuando el ensayo de flexión más allá del punto A

---

<sup>8</sup> Ing. León Ramírez, José A. (2014). *EVALUACIÓN DEL PROCESO DE DAÑO Y DETERIORO MECÁNICO DEL CONCRETO REFORZADO CON FIBRAS MEDIANTE TÉCNICAS ACÚSTICAS*. BOGOTÁ, COLOMBIA. UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA.

denominado “punto de primera fisura”, puede ser bastante distinto. En la Figura 02 se puede identificar diferentes comportamientos así:



**Figura 2.** Ensayo de Flexión del concreto con adición de fibras.  
**Fuente:** Perri & Perri, 2009.

- La CURVA I, esquematiza el comportamiento de un concreto normal sin refuerzo, el cual, sometido a un ensayo de flexión sobre una viga simplemente apoyada en sus extremos (isostática), y una vez alcanzada la carga de primera fisura, esta presenta un rápido ablandamiento y muy baja disipación de energía.
- La CURVA II, muestra alguna capacidad del concreto reforzado con fibras para absorber energía después del punto de primera fisura, aunque no es capaz de

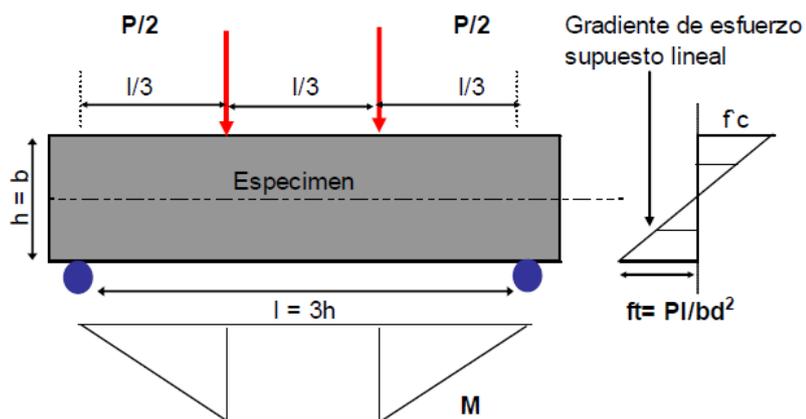
sostener la carga impuesta, esta cae levemente a medida que se incrementa el desplazamiento, presentando así un comportamiento de ablandamiento suave con baja disipación de energía.

- La CURVA III, es típica de un concreto reforzado con barras a tracción o con mayor contenido de fibras, en ella se puede observar un desplazamiento importante de la probeta bajo carga constante, presentando mayor disipación de energía.
- La CURVA IV, finalmente, muestra el comportamiento típico de un concreto reforzado con barras a tracción y a compresión o con un contenido importante de fibras, se puede observar en la curva, que después del punto de primera fisura se observa un incremento en la capacidad de carga al mismo tiempo con un amplio desplazamiento.

Es intuitivo que todos estos posibles comportamientos, o grados de ductilidad y tenacidad adquiridos por el concreto, dependan de la cantidad de fibras contenidas en el concreto, que por sus propias características mecánicas.

#### **2.2.1.7. FLEXO-TRACCIÓN EN EL CONCRETO**

**Definición<sup>9</sup>:** La resistencia a la flexión es una medida de la resistencia a la tracción del concreto (hormigón). Es una medida de la resistencia a la falla por momento de una viga o losa de concreto no reforzada. Se mide mediante la aplicación de cargas a vigas de concreto de 6 x 6 pulgadas (150 x 150 mm) de sección transversal y con luz de como mínimo tres veces el espesor. La resistencia a la flexión se expresa como el Módulo de Rotura (MR) en libras por pulgada cuadrada (MPa) y es determinada mediante los métodos de ensayo ASTM C78 (cargada en los puntos tercios) o ASTM C293 (cargada en el punto medio).



**Figura 3.** Esquema de Ensayo ASTM C 78.  
Fuente: Perri & Perri, 2009.

<sup>9</sup> <https://www.nrmca.org/aboutconcrete/cips/CIP16es.pdf>

El Módulo de Rotura es cerca del 10% al 20% de la resistencia a compresión, en dependencia del tipo, dimensiones y volumen del agregado grueso utilizado, sin embargo, la mejor correlación para los materiales específicos es obtenida mediante ensayos de laboratorio para los materiales dados y el diseño de la mezcla. El Módulo de Rotura determinado por la viga cargada en los puntos tercios es más bajo que el módulo de rotura determinado por la viga cargada en el punto medio, en algunas ocasiones tanto como en un 15%.

### **Utilidad del Ensayo**

Los diseñadores de pavimentos utilizan una teoría basada en la resistencia a la flexión, por lo tanto, puede ser requerido el diseño de la mezcla en el laboratorio, basado en los ensayos de resistencia a la flexión, o puede ser seleccionado un contenido de material cementante, basado en una experiencia pasada para obtener el Módulo de Rotura de diseño. Se utiliza también el Módulo de Rotura para el control de campo y de aceptación de los pavimentos. Se utiliza muy poco el ensayo a flexión para el concreto estructural. Las Agencias y empresas que no utilizan la resistencia a la flexión para el control de campo, generalmente hallaron conveniente y confiable el

uso de la resistencia a compresión para juzgar la calidad del concreto entregado.

## **2.2.2. FIBRAS EN EL CONCRETO**

### **2.2.2.1. GENERALIDADES<sup>10</sup>**

El empleo de fibras para mejorar la isotropía de un material no es algo desconocido. Los adobes de barro cocidos al sol y armados con paja ya se empleaban en Caldea; hasta hace poco hemos visto utilizar pelos de cabra o de caballo para armar el yeso; el fibrocemento no es otra cosa que una pasta de cemento a la que se ha añadido del 8 al 16 % de fibras de asbesto para incrementar la resistencia a flexo tracción de 2 a 4 veces la de la matriz.

Las fibras empleadas en el hormigón reforzado son discontinuas, presentando una distribución discreta y uniforme que confiere al material una gran isotropía y homogeneidad. La efectividad de la acción reforzante y la eficacia en la transmisión de tensiones depende de

---

<sup>10</sup> Bach. Chapoñan Cueva, José Miguel Bach. Quispe Cirilo Joel (2014). "ANALISIS DEL COMPORTAMIENTO EN LAS PROPIEDADES DEL CONCRETO HIDRAULICO PARA EL DISEÑO DE PAVIMENTOS RIGIDOS ADICIONANDO FIBRAS DE POLIPROPILENO EN EL A.A.H.H VILLAMARIA-NUEVO CHIMBOTE". NUEVO CHIMBOTE, PERU. UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA.

muchos factores, pero, especialmente, de la naturaleza y del tipo de fibra empleado.

#### **2.2.2.2. TIPO DE FIBRAS<sup>11</sup>**

**Tipo I - Fibra de acero:** contiene acero inoxidable, acero de aleación o fibras de acero al carbono (ver la Nota 1).

NOTA 1-Las fibras de acero no se dañan fácilmente por los procesos de mezclado o proyección de concreto y las fibras de acero no recubiertas son químicamente compatibles con el ambiente normalmente alcalino dentro de la pasta de cemento. Algunos recubrimientos, como el aluminio, pueden ser perjudiciales para el concreto.

Las fibras de acero al carbono se oxidarán en condiciones que causan la oxidación del acero convencional, por ejemplo, en la porción cercana a la superficie del concreto sujeto a la carbonatación.

**Tipo II - Fibra de vidrio** - Contiene fibras de vidrio resistentes a los álcalis (ver Nota 2). NOTA 2-Las fibras de vidrio en hormigón u hormigón proyectado sometidas a humectación, atmósfera húmeda o contacto con suelo

---

<sup>11</sup> Diego Alexander Torres (2017). *DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA RESIDUAL PROMEDIO (ANÁLISIS POST-FISURACIÓN) DEL CONCRETO REFORZADO CON FIBRA SINTÉTICA DE PET+PP*. BOGOTÁ. UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA

húmedo tienen el potencial de reaccionar con los álcalis presentes en la pasta de cemento, lo que debilita las fibras. También tienden a volverse frágiles debido a los productos de hidratación que penetran en los haces de fibras y llenan los espacios intersticiales entre los filamentos de vidrio individuales. Ambos mecanismos causan reducciones en la fuerza, tenacidad y resistencia al impacto con la edad.

Los tipos de fibra de vidrio resistentes a los álcalis (AR) desarrollados para uso con cemento son más resistentes a los álcalis que el E-glass y otros tipos no comercializados específicamente para uso en cemento, y deben usarse junto con técnicas establecidas para suprimir la reacción álcali-silica, por ejemplo, el uso de un cemento de baja alcalinidad o una mezcla de minerales, o ambos.

Sin embargo, incluso el uso de fibras de vidrio AR no previene el deterioro en el concreto reforzado con fibra de vidrio expuesto a la humedad durante un largo período de tiempo, pero solo ralentiza la velocidad a la que ocurre.

**Tipo III - Fibras sintéticas:** contiene fibras sintéticas para las cuales se pueden producir pruebas documentales que

confirmer su resistencia a largo plazo al deterioro cuando entran en contacto con la humedad y los álcalis presentes en la pasta de cemento o las sustancias presentes en aditivos que incorporan aire y sustancias químicas (ver Nota 3).

NOTA 3-Las fibras compuestas de algunos polímeros pueden deteriorarse al entrar en contacto con la humedad, los álcalis o algunos de los ingredientes de los aditivos químicos.

Se ha demostrado que las fibras como las poli olefinas (polipropileno y polietileno), el nylon y el carbono son duraderas en el concreto. Cuando el comprador decida permitir el uso de fibras que no cumplan con las clasificaciones en la norma, por ejemplo: fibras naturales, fibras metálicas que no sean de acero, fibras de carbono, etc., el productor deberá presentar pruebas satisfactorias para el comprador. Que el tipo de fibra propuesta para el uso no reacciona negativamente con la matriz de hormigón o proyectado, incluidos los constituyentes de cualquier mezcla presente, o con el entorno circundante en la matriz agrietada, causando el deterioro de las propiedades mecánicas con la edad en las condiciones de exposición previstas en la aplicación.

**Tabla 1.** Compilación de propiedades mecánicas de fibras usadas comúnmente.

Type of fiber	Equivalent diameter, mm	Specific gravity, kg/m <sup>3</sup>	Tensile strength, MPa	Young's modulus, GPa	Ultimate elongation, %
Acrylic	0.02 to 0.35	1100	200 to 400	2	1.1
Asbestos	0.0015 to 0.02	3200	600 to 1000	83 to 138	1.0 to 2.0
Cotton	0.2 to 0.6	1500	400 to 700	4.8	3.0 to 10.0
Glass	0.005 to 0.15	2500	1000 to 2600	70 to 80	1.5 to 3.5
Graphite	0.008 to 0.009	1900	1000 to 2600	230 to 415	0.5 to 1.0
Aramid	0.010	1450	3500 to 3600	65 to 133	2.1 to 4.0
Nylon	0.02 to 0.40	1100	760 to 820	4.1	16 to 20
Polyester	0.02 to 0.40	1400	720 to 860	8.3	11 to 13
Polypropylene (PP)	0.02 to 1.00	900 to 950	200 to 760	3.5 to 15	5.0 to 25.0
Polyvinyl alcohol (PVA)	0.027 to 0.66	1300	900 to 1600	23 to 40	7 to 8
Carbon (standard)	—	1400	4000	230 to 240	1.4 to 1.8
Rayon	0.02 to 0.38	1500	400 to 600	6.9	10 to 25
Basalt	0.0106	2593	990	7.6	2.56
Polyethylene	0.025 to 1.0	960	200 to 300	5.0	3.0
Sisal	0.08 to 0.3	760 to 1100	228 to 800	11 to 27	2.1 to 4.2
Coconut	0.11 to 0.53	680 to 1020	108 to 250	2.5 to 4.5	14 to 41
Jute	0.1 to 0.2	1030	250 to 350	26 to 32	1.5 to 1.9
Steel	0.15 to 1.00	7840	345 to 3000	200	4 to 10

\*Data from Nawy (1996), Kuraray (2007), Saechtling (1987), Sim et al. (2005), Toledo et al. (2000), and Balaguru and Shah (1992).  
Notes: 1 mm = 0.039 in.; 1 kg/m<sup>3</sup> = 0.06 lb/ft<sup>3</sup>; 1 MPa = 145 psi; 1 GPa = 1,450,000 psi.

**Fuente:** ACI 544.5R-10 Report on the Physical Properties and Durability of Fiber-Reinforced Concrete.

### 2.2.2.3. FIBRA DE POLIETILENO TEREFALATO (PET)

**Generalidades**<sup>12</sup>: Fue producido por primera vez en 1941 por los científicos británicos Whinfield y Dickson, quienes lo patentaron como polímero para la fabricación de fibras, ya que Inglaterra estaba en guerra y tenían la apremiante necesidad de encontrar sustitutos para el algodón proveniente de Egipto.

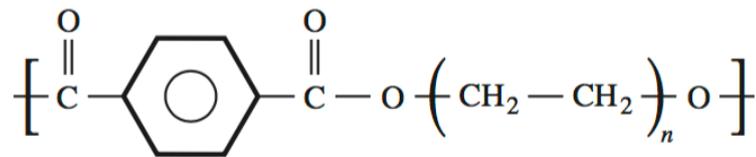
A partir de 1946 se empezó a utilizar industrialmente como fibra y su uso textil ha proseguido hasta el presente.

<sup>12</sup> [http://www.docentes.unal.edu.co/mestradam/docs/tesisMEM\\_maestria.pdf](http://www.docentes.unal.edu.co/mestradam/docs/tesisMEM_maestria.pdf)

En 1952 se comenzó a emplear en forma de láminas delgadas para envasar alimentos, pero la aplicación que le significó su principal mercado fue en envases rígidos, en la década del 70.

Pudo abrirse camino gracias a su particular aptitud para la fabricación de envases de bebidas poco sensibles al oxígeno como el agua mineral. Su facilidad para ser orientado y cristalizado permite fabricar elementos de alta resistencia mecánica. En estado desorientado sus propiedades no son tan favorables, lo que sugiere el uso de refuerzo con fibras o partículas que se encarguen de la resistencia mecánica.

El PET es un polímero termoplástico que se fabrica con derivados del petróleo, gas y aire (sus proporciones aproximadas son 64%, 23% y 13% respectivamente). Por un lado se extrae paraxileno del petróleo y se oxida con el aire para generar ácido teraftalático (PTA) y por otro lado el gas natural provee el etileno que después es oxidado con aire para formar etilenglicol (EG). Pertenece al grupo de materiales sintéticos denominados poliésteres y su representación química se puede ver en la Figura.



**Figura 4.** Representación química del poliéster termoplástico común.  
**Fuente:** ACI 544.5R-10 Report on the Physical Properties and Durability of Fiber-Reinforced Concrete.

Este polímero tiene la cadena polimérica más rígida posible para un termoplástico con una excepcional combinación de propiedades mecánicas y térmicas. Estas características le dan al PET la posibilidad de utilizarse para aplicaciones en áreas como la eléctrica y la electrónica, y en productos como envases para bebidas, películas, cintas magnética, aislantes eléctricos, fibras, perfiles decorativos, tuberías y accesorios para carros, entre otros. Por otro lado, esta cadena retrasa el grado de cristalización, lo que puede causar algunos problemas si se utiliza como resina para el moldeo por inyección.

El polietileno tereftalato es un material duro, fuerte y de dimensiones estables que absorbe muy poca agua. Es altamente resistente a soluciones acuosas, ácidos débiles, bases, gasolina y productos de limpieza. Adicionalmente, posee buenas propiedades eléctricas, incluyendo alta resistencia dieléctrica, constante dieléctrica consistente y bajo factor de disipación, entre

otras. Su estructura varía de amorfo a cristalino. Puede ser muy transparente e incoloro, pero en secciones gruesas suele ser opaco y blanquecino. Por otro lado, este polímero es sensible a los oxidantes alcalinos y bases fuertes a altas temperaturas. Algunas propiedades características de este polímero parcialmente cristalizado son:

- Alta transparencia, y admite algunos colorantes
- Alta resistencia y rigidez.
- Características favorables en deformación a largo plazo (creep).
- Superficie dura (puede pulirse).
- Alta estabilidad dimensional.
- Bajas propiedades eléctricas.
- Alta resistencia química y térmica.
- Reciclable, aunque tiende a disminuir su viscosidad.

**PET Reciclado**<sup>13</sup>: Los plásticos forman una importante parte de la basura y entre estos, el PET (Figura 5) es uno de los que más sobresale. En la mayoría de los casos se trata de reciclar botellas de PET que se reciben a granel,

---

<sup>13</sup> Ing. Flores Fernández, Jesús A. (2014). *EFFECTO EN LAS PROPIEDADES EN TENSIÓN DE UN MATERIAL COMPUESTO BASE CEMENTO REFORZADO CON FIBRAS DE PET RECICLADO*. CHIHUAHUA, MEXICO. CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN MATERIALES AVANZADOS S.C.

en pacas o fardos. El primer paso para su recuperación es la selección manual de las botellas en una banda transportadora.

El siguiente paso es llevar al material a un equipo rascador de etiquetas donde dentro de un baño de agua estas se remueven. En esta etapa las botellas también son perforadas.

Para lograr un alto grado de limpieza en el material recuperado, el agua se puede calentar y añadirle diferentes tipos de aditivos.

Posteriormente, las botellas pasan a otra banda transportadora permitiendo su inspección y la eventual selección de algunas botellas de PVC. Esta banda alimenta a un molino que tritura las botellas bajo el agua, produciendo hojuelas grandes, las cuales alimentan a uno o dos equipos de lavado y flotado para separar las tapas y las etiquetas. De esta manera las hojuelas de PET quedan muy limpias.

El siguiente paso es secar las hojuelas y enseguida conducir las a otro molino triturador que las reduce de tamaño para que sean apropiadas para extrusión o inyección.

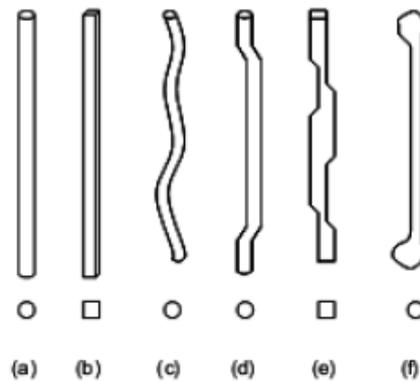
Finalmente, las hojuelas se transportan neumáticamente por un turboventilador a un silo de almacenaje que permite llenar cajas, contenedores o súper sacos. Este ventilador además de transportar el material, también elimina la humedad remanente que puede tener el material reciclado.

**Fibras de PET:** Las fibras son elementos de corta o larga longitud y pequeña sección que se adicionan al material cementicio (MC) con el fin de conferirle ciertas propiedades específicas.

La efectividad del refuerzo matriz-fibras exige a las fibras las siguientes propiedades:

- Una resistencia a la tensión significativamente mayor que la del MC.
- Una adherencia con la matriz del mismo orden o mayor que la resistencia a la tensión de la matriz.
- Un módulo de elasticidad significativamente mayor que el del MC.
- Las fibras de refuerzo pueden tener formas muy variadas: rectas, onduladas, corrugadas, con extremos conformados, dentadas y otras. Las secciones también pueden ser muy variadas:

circulares, cuadradas, rectangulares y planas (Figura 7).



**Figura 5.** Forma de fibras: a) sección circular, b) sección rectangular, c) ondulada, d) extremos conformados, e) extractos fundidos y f) extremos ensanchados.

La sección transversal de las fibras depende principalmente del material usado y el proceso de fabricación.

Cuando se requiere que las fibras actúen en las microfisuras, se debe adicionar un gran número de fibras y su diámetro debe ser pequeño. La trabajabilidad del material conduce a preferir fibras cortas. Por otro lado, para controlar las macro fisuras las fibras deben ser lo suficientemente largas para estar adecuadamente ancladas en la matriz, aunque por requerimientos de trabajabilidad las fibras largas deben ser usadas en menores proporciones que las cortas.

La resistencia a la tensión y la ductilidad del material pueden ser incrementadas empleando una alta proporción de fibras cortas y, para mejorar la capacidad resistente y la ductilidad de la estructura, se debe añadir una cierta cantidad más baja de fibras largas.

El polietileno tereftalato (PET) es una de las fibras más importantes para la producción industrial. Debido a su alto rendimiento, bajo costo y el reciclado, es uno de los candidatos más atractivos para ser usado como fibras de alta resistencia.

Los materiales compuestos reforzados con fibras de polímeros son muy atractivos debido a su facilidad de fabricación, economía y propiedades mecánicas superiores.

Recientemente el incremento en el consumo de termoplásticos se debe principalmente a que presentan una serie de ventajas, tales como buena resistencia al impacto, la eliminación de los requisitos de almacenamiento controlados, el reciclado y los rentables procesos de fabricación. Especialmente, el PET tiene una buena capacidad de teñido, acabado de superficie y excelente uniformidad del producto. También tiene una

buena resistencia a la contracción, la abrasión y a la mayoría de los productos químicos. En general, las propiedades mecánicas de PET se determinan por su estructura cristalina.

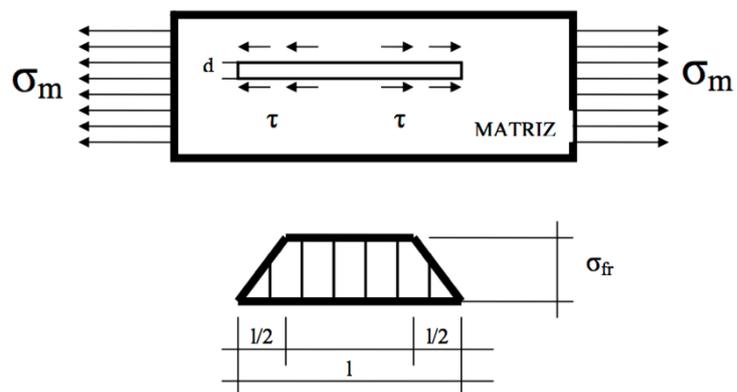
La cristalización actúa para aumentar aún más la rigidez y la resistencia más allá de la que se obtiene simplemente por la orientación molecular; también proporciona la estabilidad dimensional del material después del procesamiento.

#### **2.2.2.4. Concretos Reforzados Con Fibras**

Una fibra para el concreto está definida como elemento tipo monofilamento o multifilamento de dimensiones cortas (Aproximadamente 2") de materiales de acero, vidrio o sintético de diámetros equivalentes entre (0.4 mm y 1.5 mm) de sección transversal circular, ovalada o rectangular, diseñadas especialmente para poder ser incorporadas al concreto en estado fluido o fresco mediante medios mecánicos o manuales y cuya distribución debe quedar de forma dispersa y discontinua en toda la masa del concreto en la pasta de mortero y entre los agregados.

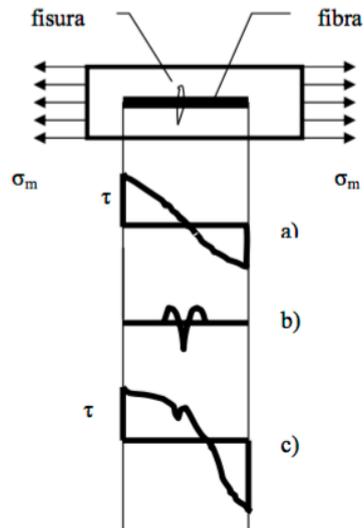
- **Aporte resistente de las Fibras al Concreto<sup>14</sup>**

La transmisión de los esfuerzos de la matriz a la fibra se realiza a través de los esfuerzos tangenciales unitarios de adherencia ( $\tau$ ), las tensiones normales crecen en la medida que aumenta la longitud de la fibra desde cero hasta el valor en que se rompe ( $\sigma_{fr}$ ), al ser muy superiores los esfuerzos normales ( $\sigma_m$ ) a las posibilidades de resistir a partir de los esfuerzos tangenciales unitarios.



**Figura 6.** Representación de esfuerzos actuantes entre fibra y concreto.  
**Fuente:** [http://www.concretonline.com/pdf/00hormigon/art\\_tec/utilizacion\\_fibras\\_en\\_hormigones.pdf](http://www.concretonline.com/pdf/00hormigon/art_tec/utilizacion_fibras_en_hormigones.pdf)

<sup>14</sup> [http://www.concretonline.com/pdf/00hormigon/art\\_tec/utilizacion\\_fibras\\_en\\_hormigones.pdf](http://www.concretonline.com/pdf/00hormigon/art_tec/utilizacion_fibras_en_hormigones.pdf)



- a) Representa la distribución de los esfuerzos tangenciales unitarios de adherencia antes de la aparición de la fisura.
- b) Esfuerzos unitarios de adherencia debido a la fisura.
- c) Efecto combinado de los dos diagramas anteriores debido a la aparición de fisuras, se produce la discontinuidad en el diagrama, entonces los esfuerzos unitarios de adherencia se reducen.

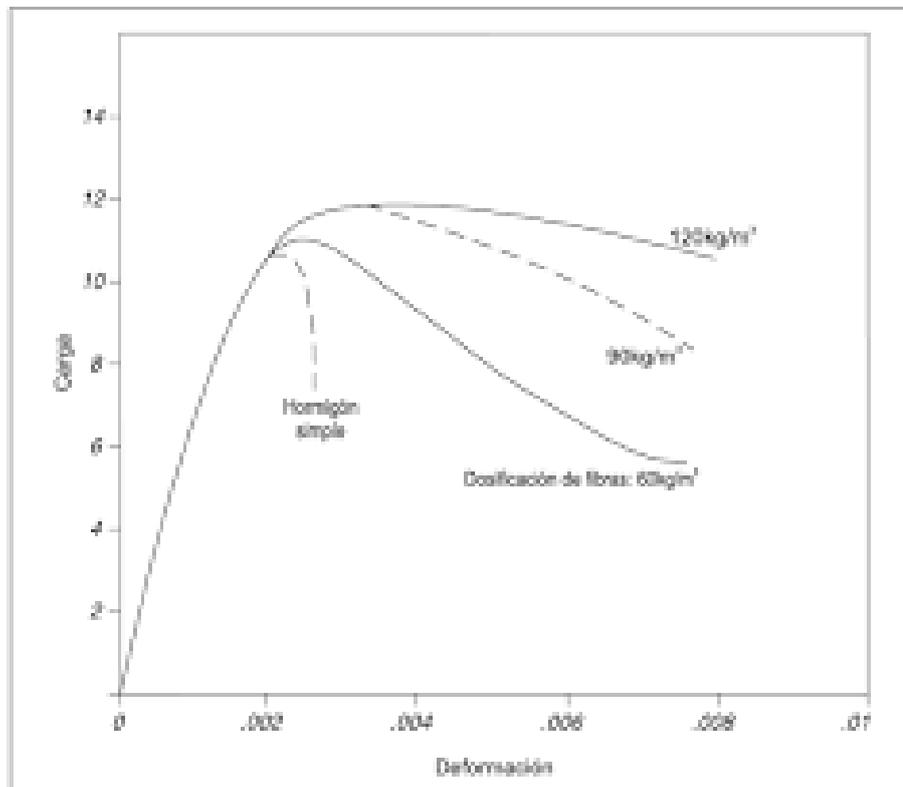
**Figura 7.** Diagrama de esfuerzos actuantes entre fibra y de concreto con fisura.  
**Fuente:** [http://www.concretonline.com/pdf/00hormigon/art\\_tec/utilizacion\\_fibras\\_en\\_hormigones.pdf](http://www.concretonline.com/pdf/00hormigon/art_tec/utilizacion_fibras_en_hormigones.pdf)

Al adicionar fibras al concreto, bien sean macro fibras o micro fibras, se obtiene un material con características mecánicas diferentes al concreto convencional. Los factores que influyen en las propiedades de un concreto reforzado con fibras son las siguientes:

- Fibras: geometría, relación de aspecto, contenido, orientación y distribución.
- Matriz: resistencia y dimensión máxima de los agregados.
- Interfaz fibra-matriz.
- Probetas: dimensiones, geometría y metodología de ensayo.

- **Aportes del concreto reforzado con fibras en los ensayos de compresión y flexión.**

**Compresión:** Esta propiedad no presenta mayor variabilidad con respecto a la adición de fibras, una vez alcanza el pico (esfuerzo máximo) en la curva carga vs deformación presenta mayor ductilidad debido a la presencia de fibras.



**Figura 8.** Comportamiento del concreto reforzado con fibras a compresión.

**Fuente:** <http://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/10654/11320/1/MendozaVargasJuanlvan2013.pdf>

**Flexión:** Esta propiedad si presenta mayor variabilidad con respecto a la adición de fibras, una vez alcanza el pico (esfuerzo

máximo) en la curva carga vs deformación presenta mayor ductilidad debido a la presencia de fibras.

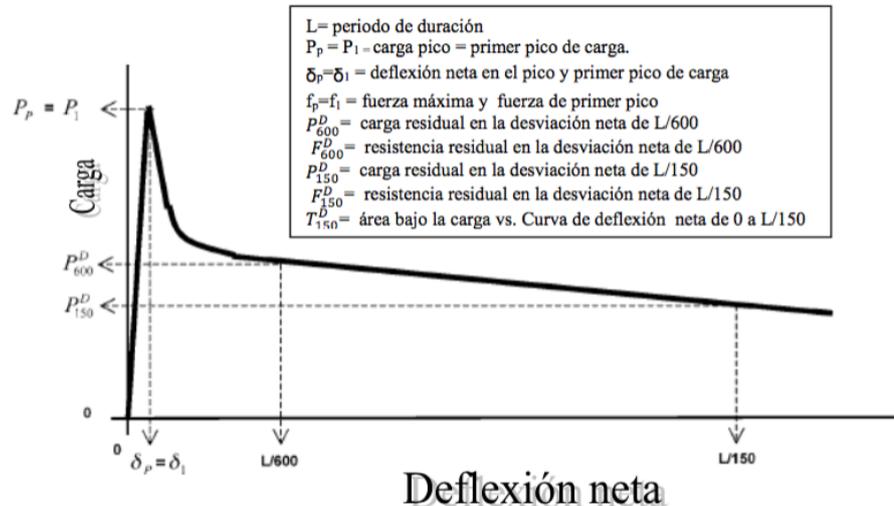


Figura 9. Comportamiento del concreto reforzado con fibras a flexión.

Fuente: ASTM C1609/C1609M – 10 Standard Test Method for Flexural Performance of Fiber-Reinforced Concrete (Using Beam With Third-Point Loading)

## 2.2.3. PAVIMENTOS DE CONCRETO HIDRAULICO

### 2.2.3.1. Generalidades<sup>15</sup>

La ingeniería de pavimentos es una disciplina que combina el conocimiento de la mecánica de los materiales, el análisis estructural de elementos, las tecnologías constructivas, y la gestión de la conservación. Esta interacción representa un reto constante para el ingeniero de pavimentos quien debe buscar la solución más adecuada al costo más efectivo.

<sup>15</sup> Montalvo Guevara, Marco E. (2015). PAVIMENTOS RIGIDOS REFORZADOS CON FIBRAS DE ACERO VERSUS PAVIMENTOS TRADICIONALES. LIMA, PERU. PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DEL PERU.

Los pavimentos se denominan flexibles o rígidos por la forma en que transmiten los esfuerzos y deformaciones a las capas inferiores, que depende de la relación de rigideces relativas de las capas. Un pavimento flexible transmite esfuerzos concentrados en una pequeña área, mientras que un pavimento rígido distribuye los esfuerzos en una mayor área.

Los pavimentos rígidos se utilizan en aeropuertos y principales autopistas. También son aplicados en pisos industriales, puertos y en zonas de operación de vehículos pesados.

El tipo más común de material usado para la construcción de pavimentos rígidos es la losa de concreto hidráulico, por razones económicas y su fácil disponibilidad. La losa de concreto debe estar diseñada para soportar cargas de tráfico y evitar fallas por fatiga del pavimento debido a las cargas repetidas.

Los pavimentos rígidos pueden ser diseñados para un periodo de vida útil de 15 a 20 años, sin embargo es más probable que sus periodos de diseño sean de 30 a 40 años.

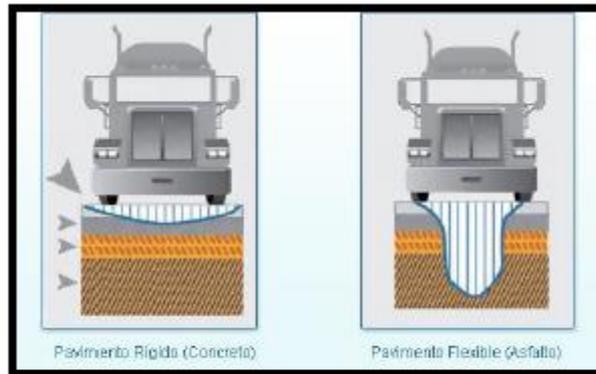
Además de las cargas de tráfico se debe considerar el efecto de gradiente térmico que genera esfuerzos de tracción que pueden ocasionar la falla del concreto por su baja resistencia a la tensión. Este problema suele ser controlado mediante la elección adecuada de las dimensiones en planta de las losas, en caso que se considere la colocación de refuerzos para controlar fisuras y espaciamientos de las grietas, y mediante el diseño del mecanismo de transferencia de carga en las juntas.

Otra consideración importante en el diseño de pavimento de concreto es la deficiencia en las juntas causados por el bombeo de finos o erosión de los materiales de apoyo.

El bombeo se refiere a la expulsión de agua y materiales de grano fino de las capas de apoyo debido a la deflexión de la losa en las juntas por movimiento de cargas de tráfico.

Este problema se ha producido en la articulación de pavimentos rígidos bajo la aplicación repetida de cargas de camiones pesados.

La erosión de los materiales de apoyo puede ocurrir debido a la disposición de drenaje inadecuado.



**Figura 10.** Distribución de esfuerzos en los pavimentos.  
Fuente: <http://www.duravia.com.pe/category/conoce-el-pavimento/page/2/>

### 2.2.3.2. Definición<sup>16</sup>

Los pavimentos de concreto reciben el apelativo de “rígidos” debido a la naturaleza de la losa de concreto que la constituye.

Debido a su naturaleza rígida, la losa absorbe casi la totalidad de los esfuerzos producidos por las repeticiones de las cargas de tránsito, proyectando en menor intensidad los esfuerzos a las capas inferiores y finalmente a la subrasante.

Existen tres tipos de pavimentos de concreto:

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

<sup>16</sup> MANUAL DE CARRETERAS. SUELOS, GEOLOGIA, GEOTECNIA Y PAVIMENTOS. SECCIÓN SUELOS Y PAVIMENTOS (2014, p. 224)

- Pavimentos de concreto continuamente reforzados

Los pavimentos de concreto con juntas son los que mejor se aplican a la realidad nacional debido a su buen desempeño y a los periodos de diseño que usualmente se emplean. En el presente Manual, para los caminos del Perú, se propone la aplicación de pavimentos de concreto con juntas.

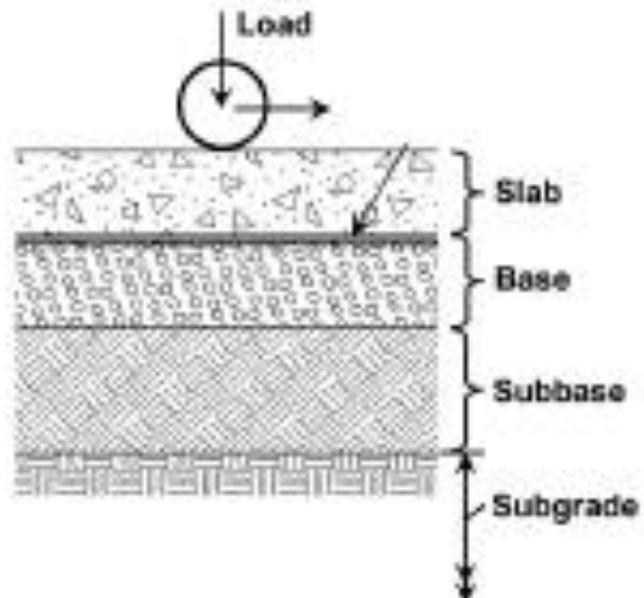
#### **2.2.3.3. Componentes del Pavimento Rígido<sup>17</sup>**

- **Losa.-** Es la parte superior del pavimento, los esfuerzos se distribuyen de acuerdo a la rigidez de la losa, generando que las capas inferiores, base y subbase, soporten menos esfuerzos.
- **Base y Sub-base.-** En principio, estas capas tienen como función principal el soporte de esfuerzos, pero en este caso, por ser un pavimento rígido los esfuerzos son menores. Esta capa funciona también como drenaje para proteger la estructura superior, controlando el ascenso del agua.
- **Sub-rasante.-** Es la capa de suelo natural donde se apoya el pavimento. Su objetivo es dar la estabilidad

---

<sup>17</sup> Montalvo Guevara, Marco E. (2015). *PAVIMENTOS RIGIDOS REFORZADOS CON FIBRAS DE ACERO VERSUS PAVIMENTOS TRADICIONALES*. LIMA, PERU. PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DEL PERU.

requerida al pavimento; el diseño del pavimento se inicia por la sub rasante ya que es el suelo de soporte de toda la estructura del pavimento.

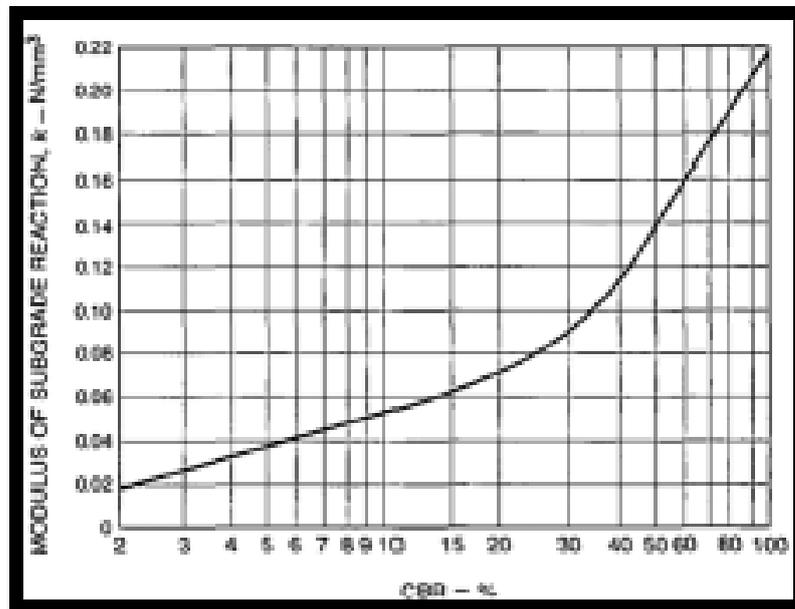


**Figura 11.** Partes del Pavimento Rígido.

Fuente: <http://www.duravia.com.pe/category/conoce-el-pavimento/page/2/>

En el diseño de pavimento rígido se debe considerar el módulo de reacción  $k$  de la sub rasante.

Se calcula utilizando el CBR (California Bearing Ratio) de la sub rasante in situ y la tabla que a continuación se presenta; siendo una relación entre la resistencia a la penetración desarrollada por el suelo en donde está apoyada la sub rasante y el de un tipo estándar de roca triturada.



**Figura 12.** Relación entre el módulo de reacción de la sub rasante y el CBR in situ.  
 Fuente: <http://www.duravia.com.pe/category/conoce-el-pavimento/page/2/>

#### 2.2.3.4. Cargas en el Pavimento Rígido

**Cargas concentradas.** - Son Fuerzas aplicadas sobre un área pequeña, como son las estanterías. Se requiere la máxima carga representativa, la distancia entre los postes como la distancia de los pasillos, el área de contacto y la ubicación de las cargas con respecto a las juntas

**Cargas distribuidas.** - Se refiere a las cargas que están apiladas en almacenes industriales. Para su respectivo diseño se necesita la máxima intensidad de carga, las dimensiones del área, el ancho del pasillo y la ubicación de las juntas transversales.

**Cargas lineales.** - Son cargas distribuidas sobre un área estrecha, por ejemplo los muros

### **2.2.3.5. Esfuerzos en el Pavimento Rígido**

**Generalidades:** “Los esfuerzos de todo índole que teóricamente pueden presentarse al estar expuestas a cargas, temperaturas, reacciones durante el proceso de fraguado y el comportamiento del refuerzo que lleva inmerso, para este caso los Ingenieros Fernando Sánchez Sabogal y Eduardo Becker comparten el mismo pensamiento y desarrollo para reconocer los esfuerzos que puedan presentar un piso en concreto”<sup>18</sup>

Algunos factores que contribuyen al desarrollo de esfuerzos en pavimentos rígidos:

- Cambios de temperatura.
- Cambios de humedad.
- Cargas de tránsito.
- Otros (bombeo, cambios volumétricos del soporte).

---

<sup>18</sup> SÁNCHEZ SABOGAL, F. Módulo 3. Esfuerzos en Pavimentos Rígidos [en línea]. Bogotá: Escuela de Ingenieros [citado 20 agosto, 2014]. Disponible en Internet: <URL: [http://copernico.escolaiing.edu.co/vias/pagina\\_via/modulos/MODULO%203.pdf](http://copernico.escolaiing.edu.co/vias/pagina_via/modulos/MODULO%203.pdf)>.

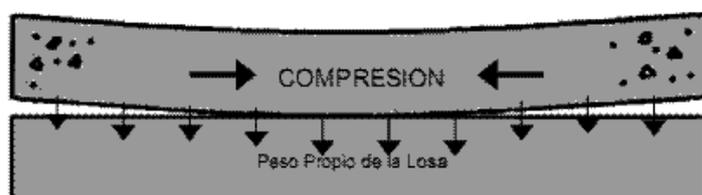
## Esfuerzos Producidos por Cambios de Temperatura.

### Alabeo por Gradiente Térmico.

Al cambiar la temperatura ambiente durante el día, también cambia la temperatura del pavimento. Este ciclo térmico crea un gradiente térmico en la losa. El gradiente produce un alabeo en la losa. El peso propio de la losa y su contacto con la superficie de apoyo restringen el movimiento, generándose esfuerzos. Dependiendo de la hora del día, estos esfuerzos se pueden sumar o restar de los efectos producidos por las cargas del tránsito.



ALABEO DIURNO



ALABEO NOCTURNO

**Figura 13.** Alabeo de las Losas de los Pavimentos de Concreto.  
Fuente: SÁNCHEZ SABOGAL, F. Módulo 3. Esfuerzos en Pavimentos Rígidos en línea.  
Bogotá: Escuela de Ingenieros.

Tabla 2. Fórmulas de Bradbury

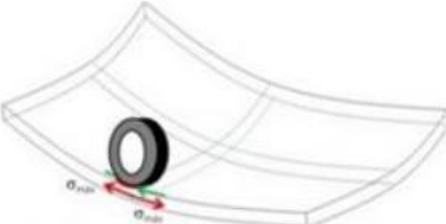
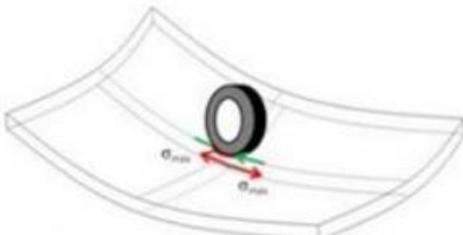
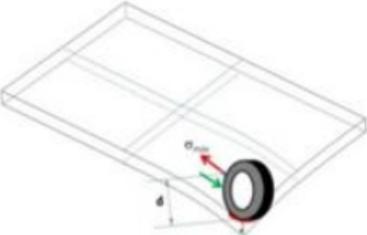
Ilustración	Formula
<p>Borde de losa</p> 	$\sigma_t = \frac{C \cdot E \cdot \alpha \cdot \Delta t}{2}$
<p>Interior de losa</p> 	$\sigma_t = \frac{E \cdot \alpha \cdot \Delta t}{2} \left[ \frac{C_1 + \mu C_2}{1 - \mu^2} \right]$

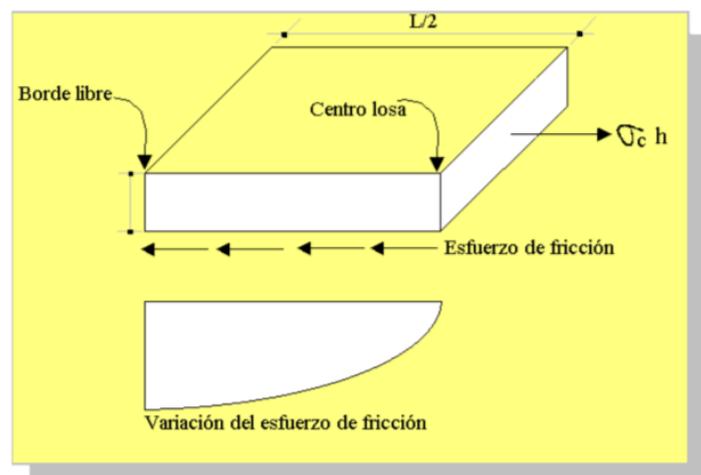
Ilustración	Formula
<p>Esquina de losa</p> 	$\sigma_t = \frac{E \cdot \alpha \cdot \Delta t}{3(1 - \mu)} \left[ \sqrt{\frac{a}{l}} \right]$
$\sigma_t$	Esfuerzo en el sitio considerado
E	Módulo elástico del concreto
$\alpha$	Coefficiente de dilatación térmica del concreto (0.000005/°F)
$\Delta t$	Diferencia de temperatura entre las dos caras de la losa (gradiente).
C	Coefficiente que depende de la longitud de la losa y del radio de rigidez relativa.
$C_1$	Coefficiente en la dirección en la cual se calcula el esfuerzo.
$C_2$	Coefficiente en la dirección perpendicular a $C_1$ .
$\mu$	Relación de Poisson del concreto.
a	Radio del área cargada en el borde de la losa.
l	Radio de rigidez relativa.

Fuente. SÁNCHEZ SABOGAL, F. Módulo 3. Esfuerzos en Pavimentos Rígidos (en línea). Bogotá: Escuela de Ingenieros. Disponible en Internet: <URL: [http://copernico.escuelaing.edu.co/vias/pagina\\_via/modulos/MODULO%203.pdf](http://copernico.escuelaing.edu.co/vias/pagina_via/modulos/MODULO%203.pdf)>.

## Contracción Durante el Fraguado.

La fricción entre la losa y la fundación, debido a la caída de temperatura durante el fraguado del concreto, produce esfuerzos en el concreto y en la armadura que contenga.

El diseño de la armadura de refuerzo de un pavimento rígido se basa en la consideración de los esfuerzos de fricción (véase la Figura ).



$$\sigma_c = (\gamma_c)(L)(f_a)/2$$

Figura 14. Esfuerzos en Pavimentos Rígidos.

Fuente. SÁNCHEZ SABOGAL, F. Módulo 3. Esfuerzos en Pavimentos Rígidos (en línea).  
Bogotá: Escuela de Ingenieros  
<URL: [http://copernico.escuelaing.edu.co/vias/pagina\\_via/modulos/MODULO%203.pdf](http://copernico.escuelaing.edu.co/vias/pagina_via/modulos/MODULO%203.pdf)>.

Donde:

$L$  = longitud de la losa

$\gamma_c$  = peso unitario del concreto

$f_a$  = coeficiente de fricción entre la losa y la subrasante (generalmente 1.5)

NOTA: Los esfuerzos friccionales solo son importantes en losas de gran longitud.

### **Expansión y Contracción por Cambios Uniformes de Temperatura.**

Las aberturas de las juntas cambian a causa de los cambios de temperatura, alterando las condiciones de transferencia de carga.

Las características de contracción controlan la abertura de las juntas transversales del pavimento.

El material que se coloque para sellar las juntas deberá ser capaz de soportar, sin despegarse, los movimientos del concreto cuando ocurra la máxima contracción.

$$\Delta L = CL(\alpha\Delta T + \delta)$$

$\Delta L$  = abertura de la junta o cambio en la longitud de la losa. (si  $\Delta L > 1\text{mm}$ , se requieren varillas de transferencia de carga).

C = factor de ajuste debido a la fricción entre losa y soporte. (0.65 para subbase estabilizada y 0.80 para subbase granular).

$L$  = longitud de la losa (espacio entre juntas).

$\alpha$  = coeficiente de dilatación del concreto (aprox. 0.00001/°C)

$\Delta T$  = rango máximo de diferencia de temperatura.

$\delta$  = coeficiente de contracción del concreto. (Depende de la resistencia a la tracción indirecta).

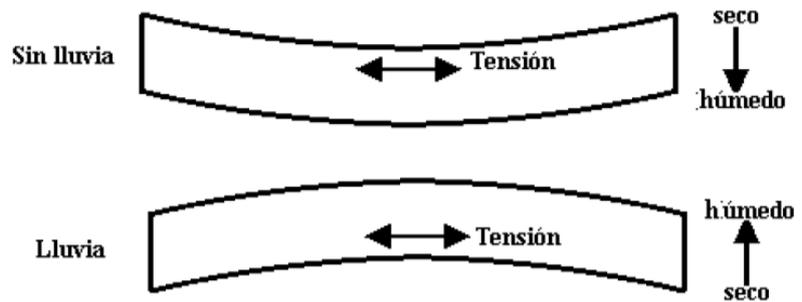
### **Cambios de Humedad.**

El humedecimiento y secado del concreto genera un fenómeno similar al que se produce cuando se presentan gradientes térmicos.

Los cambios de humedad generan un encogimiento, o un alargamiento, de menor magnitud a los que se producen por los gradientes térmicos y se deben tener en cuenta al calcular los cambios dimensionales. Los gradientes de humedad en el espesor generan encorvamientos (alabeos) en la superficie de los elementos de concreto, que pueden afectar el comportamiento de cualquier pieza puesta sobre esa superficie.<sup>19</sup>

---

<sup>19</sup> LONDOÑO, Cipriano. Pisos y Pavimentos en Concreto: Fisuras Por Cambios Dimensionales [en línea]. Bogotá: 360° en Concreto [citado 12 septiembre, 2014]. Disponible en Internet: <URL: <http://blog.360gradosenconcreto.com/pisos-y-pavimentos-en-concreto-fisuras-por-cambios-dimensionales/>>.



**Figura 15.** Alabeo por Cambio de Humedad.

Fuente. BECKER, Ernesto. Esfuerzos en pavimentos rígidos [en línea]. Bogotá: Ismocol de Colombia [citado 10 septiembre, 2014]. Disponible en Internet: <URL:<http://es.slideshare.net/ingeniero34/esfuerzos-en-pavimentos-rigidos>>.

### **Cargas de Tránsito.**

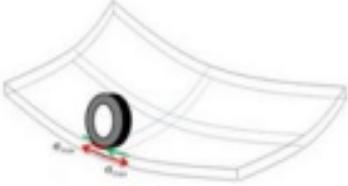
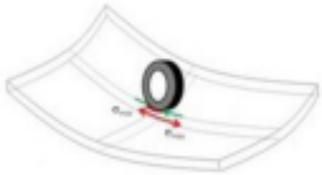
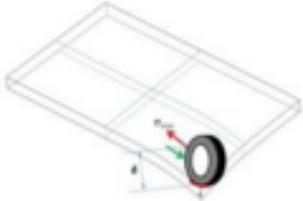
- Las losa de concreto hidráulico al estar expuestas a cargas de tránsito presentan los siguientes esfuerzos:
- Esfuerzos abrasivos causados por las llantas de los vehículos.
- Esfuerzos directos de compresión y cortante causados por las cargas de las ruedas.
- Esfuerzos de compresión y tensión que resultan de la de flexión de las losas bajo las cargas de las ruedas.
- Los esfuerzos más importantes debido a las cargas son los de flexión, dado el alto impacto que tiene sobre la estructura.

A continuación se presentan las fórmulas en los puntos críticos de localización de las cargas, deducidas por el Dr. H. M. Westergaard, luego de realizar un estudio de los esfuerzos

producido por efecto de las cargas de ruedas sobre pavimentos de concreto (véase el Cuadro).

Tabla 3. Fórmulas de Westergaard ( $\mu=0.15$ ).

Cuadro 3. Fórmulas de Westergaard ( $\mu=0.15$ ).

Ilustración	Formula
<p>Borde de losa</p> 	$\sigma_b = \frac{0.572P}{h^2} \left[ 4 \log \left( \frac{l}{b} \right) + 0.359 \right]$
<p>Interior de losa</p> 	$\sigma_i = \frac{0.3162P}{h^2} \left[ 4 \log \left( \frac{l}{b} \right) + 1.069 \right]$
<p>Esquina de losa</p> 	$\sigma_e = \frac{3P}{h^2} \left[ 1 - \left( \frac{a\sqrt{2}}{l} \right)^{0.6} \right]$
$\sigma_b, \sigma_i, \sigma_e$	Esfuerzos máximos en las localizaciones respectivas
P	Carga por rueda
h	Espesor de la losa
a	Radio del área cargada
l	Radio de rigidez relativa
b	Radio de la sección resistente $b = \sqrt{1.6(a)^2 + h^2} - 0.675(h)$
Suposiciones para las fórmulas de Westergaard	
<ul style="list-style-type: none"> <li>- La losa actúa como un sólido homogéneo, isotrópico y elástico en equilibrio.</li> <li>- La losa tiene sección transversal uniforme.</li> <li>- Todas las fuerzas son normales a la superficie.</li> <li>- No hay fuerzas friccionales o de corte.</li> <li>- El eje neutro se encuentra en la mitad de la losa.</li> <li>- La deformación por corte es despreciable.</li> <li>- La losa se considera infinita para carga en el interior y semi-infinita para carga en el borde.</li> </ul>	

Fuente. SÁNCHEZ SABOGAL, F. Módulo 3. Esfuerzos en Pavimentos Rígidos (en línea). Bogotá: Escuela de Ingenieros (citado 20 agosto, 2014). Disponible en Internet: <URL: [http://copernico.escuelaing.edu.co/vias/pagina\\_via/modulos/MODULO%203.pdf](http://copernico.escuelaing.edu.co/vias/pagina_via/modulos/MODULO%203.pdf)>.

## 2.2.4. DISEÑO DE PAVIMENTOS RIGIDOS

### 2.2.4.1. METODOLOGÍA DE DISEÑO AASHTO 93<sup>20</sup>

El método AASHTO 93 estima que para una construcción nueva el pavimento comienza a dar servicio a un nivel alto. A medida que transcurre el tiempo, y con él las repeticiones de carga de tránsito, el nivel de servicio baja. El método impone un nivel de servicio final que se debe mantener al concluir el periodo de diseño.

Mediante un proceso iterativo, se asumen espesores de losa de concreto hasta que la ecuación AASHTO 1993 llegue al equilibrio. El espesor de concreto calculado finalmente debe soportar el paso de un número determinado de cargas sin que se produzca un deterioro del nivel de servicio inferior al estimado.

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

Donde:

---

<sup>20</sup> MTC

$W_{8.2}$  = número previsto de ejes equivalentes de 8.2 toneladas métricas, a lo largo del periodo de diseño.

$Z_R$  = 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.

$\Delta PSI$  = 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, sub base o sub rasante) en la que se apoya el pavimento de concreto.

El cálculo del espesor se puede desarrollar utilizando directamente la fórmula AASHTO 93 con una hoja de cálculo, mediante el uso de nomogramas, o mediante el uso de programas de cómputo especializado. No obstante, en este Manual se presentan catálogo de secciones de estructuras de pavimento rígido, obtenidas en función a los criterios de diseño

expuestos en este capítulo, donde se relaciona el tipo de suelo y el tráfico expresado en Ejes Equivalentes.

Los parámetros que intervienen son:

**A. Periodo de Diseño:** El Periodo de Diseño a ser empleado para el presente manual de diseño para pavimentos rígido será mínimo de 20 años. El Ingeniero de diseño de pavimentos puede ajustar el periodo de diseño según las condiciones específicas del proyecto y lo requerido por la Entidad.

**B. Variables**

**El tránsito (ESALs)**

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).

El cálculo de las EE de diseño estará de acuerdo a lo establecido en el Capítulo 6: Tráfico Vial del Manual de

Carreteras Sección Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos.

### **Serviciabilidad**

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  $P_i = 4.5$  para el caso de pavimentos de concreto. Los valores recomendados en este Manual son los siguientes:

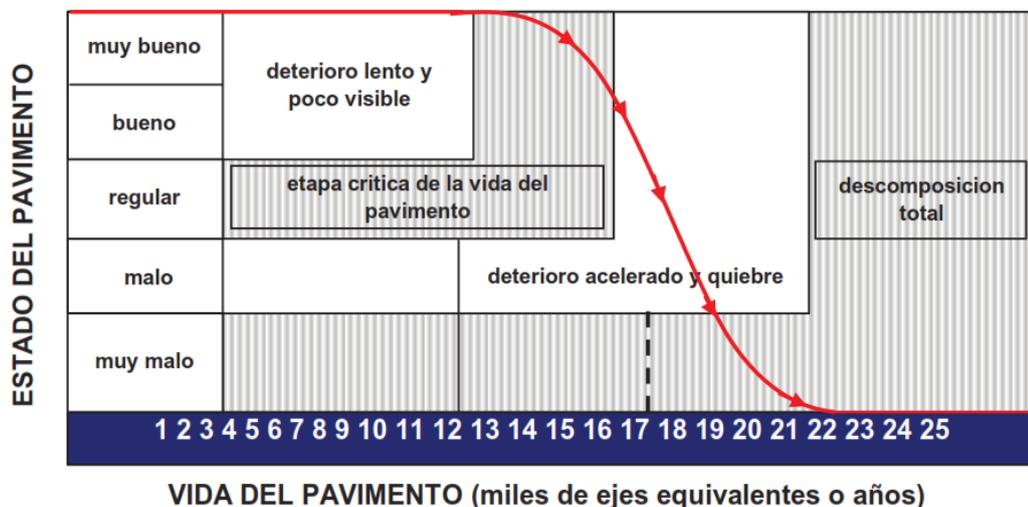
**Tabla 4. Índice de Serviabilidad Inicial (Pi)**

TIPO DE CAMINOS	TRAFICO	EJES EQUIVALENTES ACUMULADOS		INDICE DE SERVICIABILIDAD INICIAL (Pi)	INDICE DE SERVICIABILIDAD FINAL O TERMINAL (Pt)	DIFERENCIAL DE SERVICIABILIDAD (ΔPSI)
Caminos de Bajo Volumen de Tránsito	TP1	150,001	300,000	4.10	2.00	2.10
	TP2	300,001	500,000	4.10	2.00	2.10
	TP3	500,001	750,000	4.10	2.00	2.10
	TP4	750,001	1,000,000	4.10	2.00	2.10
Resto de Caminos	TP5	1,000,001	1,500,000	4.30	2.50	1.80
	TP6	1,500,001	3,000,000	4.30	2.50	1.80
	TP7	3,000,001	5,000,000	4.30	2.50	1.80
	TP8	5,000,001	7,500,000	4.30	2.50	1.80
	TP9	7,500,001	10'000,000	4.30	2.50	1.80
	TP10	10'000,001	12'500,000	4.30	2.50	1.80
	TP11	12'500,001	15'000,000	4.30	2.50	1.80
	TP12	15'000,001	20'000,000	4.50	3.00	1.50
	TP13	20'000,001	25'000,000	4.50	3.00	1.50
	TP14	25'000,001	30'000,000	4.50	3.00	1.50
	TP15	>30'000,000		4.50	3.00	1.50

Fuente: MTC

El índice de serviabilidad de un pavimento es un valor de apreciación con el cual se evalúan las condiciones de deterioro o confort de la superficie de rodadura de un pavimento.

**Tabla 5. Vida del Pavimento**



Fuente: MTC

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

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  $So = 0.35$ .

Los siguientes valores de confiabilidad en relación al Número de Repeticiones de EE serán los que se aplicarán para diseño y son los indicados en el Cuadro.

**Tabla 6.** Rango típico sugerido 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>F0</sub>	100,000	150,000	65%	-0.385
	T <sub>F1</sub>	150,001	300,000	70%	-0.524
	T <sub>F2</sub>	300,001	500,000	75%	-0.674
	T <sub>F3</sub>	500,001	750,000	80%	-0.842
	T <sub>F4</sub>	750,001	1,000,000	80%	-0.842
Resto de Caminos	T <sub>F5</sub>	1,000,001	1,500,000	85%	-1.036
	T <sub>F6</sub>	1,500,001	3,000,000	85%	-1.036
	T <sub>F7</sub>	3,000,001	5,000,000	85%	-1.036
	T <sub>F8</sub>	5,000,001	7,500,000	90%	-1.282
	T <sub>F9</sub>	7,500,001	10'000,000	90%	-1.282
	T <sub>F10</sub>	10'000,001	12'500,000	90%	-1.282
	T <sub>F11</sub>	12'500,001	15'000,000	90%	-1.282
	T <sub>F12</sub>	15'000,001	20'000,000	90%	-1.282
	T <sub>F13</sub>	20'000,001	25'000,000	90%	-1.282
	T <sub>F14</sub>	25'000,001	30'000,000	90%	-1.282
	T <sub>F15</sub>	>30'000,000		95%	-1.645

Fuente: Elaboración Propia, en base a datos de la Guía AASHTO'93

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

El parámetro que caracteriza al tipo de sub rasante es el módulo de reacción de la sub rasante (K). Adicionalmente se contempla una mejora en el nivel de soporte de la sub rasante 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).

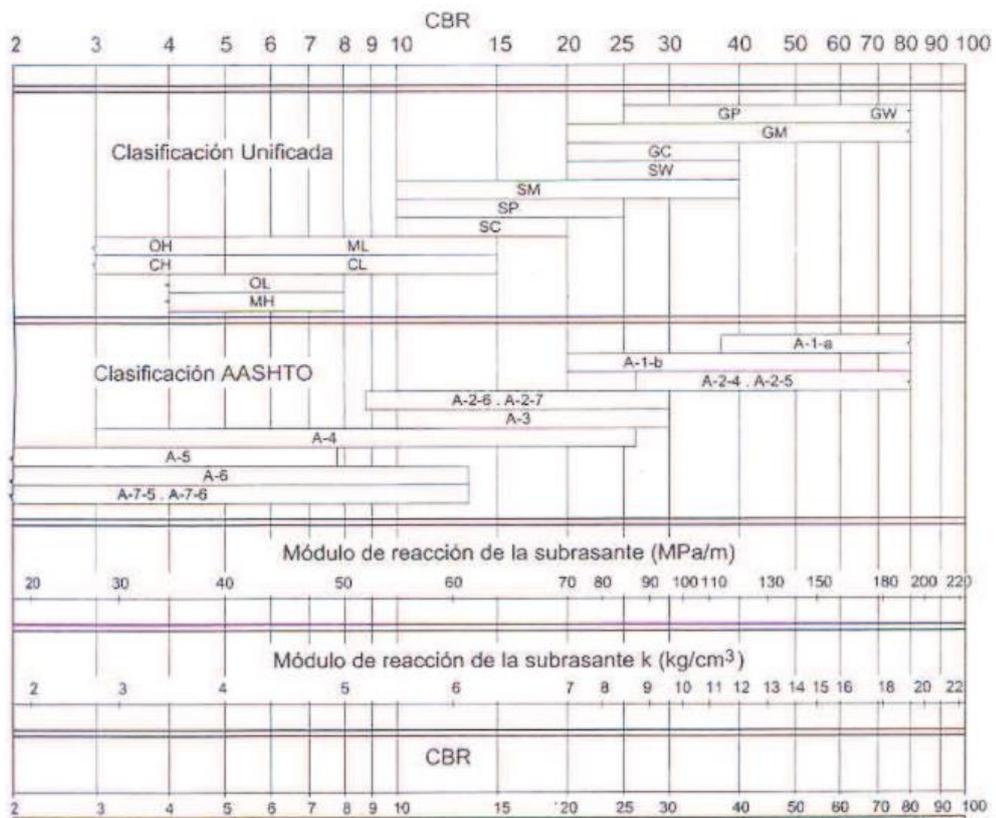
El ensayo para determinar el módulo de reacción de la sub rasante, llamado también ensayo de placa, tiene por objetivo determinar la presión que se debe ejercer para lograr una cierta deformación, que para este caso es de 13 mm. El ensayo esta normado en ASTM D – 1196 y AASHTO T – 222. Las unidades de K son Mpa / m.

No obstante, para el presente Manual se utilizará la alternativa que da AASHTO de utilizar correlaciones directas que permiten obtener el coeficiente de reacción k en función de la clasificación de suelos y el CBR; para el efecto se presenta la siguiente figura.

Se considerarán como materiales aptos para las capas de la sub rasante suelos con CBR igual o mayor de 6%. En caso de ser menor (sub rasante pobre o sub rasante inadecuada), se procederá a la estabilización de los suelos, para lo cual se analizarán alternativas de solución, como la estabilización mecánica, el reemplazo del suelo de cimentación, estabilización química de suelos,

estabilización con geo sintéticos u otros productos aprobados por el MTC, elevación de la rasante, cambiar el trazo vial, eligiéndose la más conveniente técnica y económica.

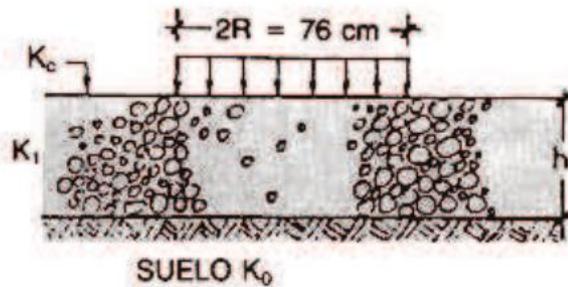
**Tabla 7. CBR**



Correlación aproximada entre la clasificación de los suelos y los diferentes ensayos  
 Manual Portland Cement Association: Subgrades and subbases for concrete pavements-Skokie, PCA 1971

**Fuente:** MTC

La presencia de la sub base granular o base granular, de calidad superior a la sub rasante, permite aumentar el coeficiente de reacción de diseño, en tal sentido se aplicará la siguiente ecuación:



$$K_c = [1 + (h/38)^2 \times (K_1/K_0)^{2/3}]^{0.5} \times K_0$$

K1 (kg/cm3): Coeficiente de reacción de la sub base granular

KC (kg/cm3): Coeficiente de reacción combinado

K0 (kg/cm3): Coeficiente de reacción de la sub rasante

h: Espesor de la sub base granular

**Tabla 8.** CBR Mínimo recomendados para la Sub-base Granular de Pavimentos Rígidos ITEEE

TRÁFICO	ENSAYO NORMA	REQUERIMIENTO
Para trafico $\leq 15 \times 10^6$ EE	MTC E 132	CBR mínimo 40 % (1)
Para trafico $> 15 \times 10^6$ EE	MTC E 132	CBR mínimo 60 % (1)

(1) Referido al 100% de la Máxima Densidad Seca y una Penetración de carga de 0.1" (2.5mm)

Fuente: MTC

### Resistencia a flexo tracción del concreto (MR)

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.

Para pavimentos los valores varían según los valores de la tabla 9.

**Tabla 9.** Valores Recomendados de Resistencia del Concreto según rango de tráfico

RANGOS DE TRÁFICO PESADO EXPRESADO EN EE	RESISTENCIA MÍNIMA A LA FLEXOTRACCIÓN 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: MTC

El módulo de rotura (Mr) del concreto se correlaciona con el módulo de compresión (f'c) del concreto mediante la siguiente regresión:

$$Mr = a \sqrt{f'c} \quad (\text{Valores en kg/cm}^2), \text{ según el ACI 363}$$

Donde los valores “a” varían entre 1.99 y 3.18

### **Módulo elástico del concreto**

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 flexo tracción, 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:

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

El ensayo ASTM C – 469 calcula el módulo de elasticidad del concreto.

### **Drenaje (Cd)**

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 sub rasante 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 ( $C_d$ ) 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 sub base, tipo de sub rasante, condiciones climáticas, grado de precipitaciones, entre otras.

El coeficiente de drenaje  $C_d$  varía entre 0.70 y 1.25, según las condiciones antes mencionadas.

Un  $C_d$  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.

### **Pasos para el cálculo del Cd**

1. Se determina la calidad del material como drenaje en función de sus dimensiones, granulometría, y características de permeabilidad.

*Tabla 10. Condición de Drenaje*

<b>Calidad de Drenaje</b>	<b>50% de saturacion en:</b>	<b>85% de saturacion en:</b>
Excelente	2 horas	2 horas
Bueno	1 día	2 a 5 horas
Regular	1 semana	5 a 10 horas
Pobre	1 mes	más de 10 horas
Muy Pobre	El agua no drena	mucho más de 10 horas

Fuente: MTC

Si el material después de ser saturado con agua cumple con uno de los requisitos la Tabla 10, se puede considerar como un drenaje excelente, bueno, regular, pobre o muy pobre.

2. Una vez caracterizado el material y su calidad de drenaje, se calcula el Cd correlacionándolo con el grado de exposición de la estructura a niveles de humedad próximos a la saturación, utilizando para ello el Tablab11.

**Tabla 11.** Coeficiente de drenaje de las Capas Granulares Cd

Calidad de Drenaje	% del tiempo en que el pavimento esta expuesto a niveles de humedad próximos a la saturacion			
	< 1%	1 a 5%	5 a 25%	> 25%
Excelente	1.25 - 1.20	1.20 - 1.15	1.15 - 1.10	1.10
Bueno	1.20 - 1.15	1.15 - 1.10	1.10 - 1.00	1.00
Regular	1.15 - 1.10	1.10 - 1.00	1.00 - 0.90	0.90
Pobre	1.10 - 1.00	1.00 - 0.90	0.90 - 0.80	0.80
Muy Pobre	1.00 - 0.90	0.90 - 0.80	0.80 - 0.70	0.70

Fuente: MTC

### Transferencia de cargas (J)

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.

**Tabla 12.** 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: MTC

Para la definición de las secciones de estructuras de pavimento del presente Manual, el coeficiente de transmisión de carga  $J$  asumido, fue de 3.2, considerando las condiciones de la prueba AASHO, que representa como soporte lateral una berma de material granular o una berma con carpeta asfáltica.

### 2.3. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS

**Fibras:** Son elementos de corta longitud y pequeña sección que se incorporan a la masa del hormigón a fin de conferirle ciertas propiedades específicas. (EHE-08)

**Polietileno PET:** Es un polímero termoplástico que se fabrica con derivados del petróleo, gas y aire (sus proporciones aproximadas son 64%, 23% y 13% respectivamente), más conocido por sus siglas en inglés PET, polyethylene terephthalate, muy usado en envases de bebidas y textiles.

**Pavimentos rígidos:** Los pavimentos de concreto reciben el apelativo de “rígidos” debido a la naturaleza de de la losa de concreto que la constituye. (Manual de Carreteras, sección: suelos y pavimentos v.2014)

**Concreto:** Mezcla de cemento Portland o cualquier otro cemento hidráulico, agregado fino, agregado grueso y agua con o sin aditivos.

## **2.4. HIPÓTESIS**

### **2.4.1. HIPOTESIS GENERAL.**

Las fibras de polietileno influyen en el diseño, construcción y durabilidad de pavimento de concreto en la ciudad de Cerro de Pasco-2017.

### **2.4.2. HIPOTESIS ESPECÍFICAS.**

- Las propiedades mecánicas influyen en el aumento del Mr del concreto para el diseño de pavimentos de concreto en la ciudad de Cerro de Pasco-2017.
- Existe un porcentaje de dosificación óptimo de fibras de Polietileno como adición al concreto, para el diseño, construcción y durabilidad de pavimentos de concreto en la ciudad de Cerro de Pasco-2017
- Influye de manera positiva al reutilizar botellas recicladas PET, en el diseño estructural de pavimento de concreto en la ciudad de Cerro de Pasco-2017.

## **2.5. IDENTIFICACIÓN DE VARIABLES**

### **2.5.1. VARIABLES INDEPENDIENTES.**

- Fibras de polietileno de botellas plásticas recicladas (Plásticos PET).

### **2.5.2. VARIABLES DEPENDIENTES.**

- Diseño de pavimentos de concreto

## **CAPÍTULO III**

### **METODOLOGÍA Y TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN**

#### **3.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN**

Para el presente trabajo, el tipo de investigación es Aplicada.

#### **3.2. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN**

El diseño que utilizare en la investigación será por objetivos conforme al esquema siguiente, conforme al esquema siguiente:

OG = OBJETIVO GENERAL

HG = HIPÓTESIS GENERAL

## CG = CONCLUSIÓN GENERAL

La investigación se realizará de la siguiente forma:

- Recopilación y análisis de información sobre estudios realizados, relacionados al trabajo de investigación.
- Será necesario ejecutar ensayos y pruebas propias de los materiales componentes del concreto en laboratorio.
- Se procesará los datos obtenidos, con ayuda de información teórica, para obtener otros datos también buscados, basados en los conocimientos de la tecnología del concreto.
- Obtención de fibras de polietileno.
- Diseñar una mezcla de concreto patrón para pavimento de concreto y cuatro diseños de mezcla mediante la adición de fibras de polietileno en diferentes dosis.
- Obtener resultados de la Resistencias a la Compresión Axial para probetas y Módulo de Rotura para vigas de concreto endurecido mediante ensayos de laboratorio normados.
- Determinación de la dosificación óptima de fibra adicionada al concreto.
- Diseño de Pavimento de Concreto mediante Método AASHTO 93. Evaluación Económica.
- Formular, conclusiones y recomendaciones con la investigación.
- Recopilación de todos los datos mencionados y redacción de informe final del trabajo de investigación.

### **3.3. POBLACIÓN MUESTRA**

#### **3.3.1. POBLACIÓN.**

Es un conjunto finito o infinito de elementos con características comunes para los cuales serán extensivas las conclusiones de la investigación. Ésta queda delimitada por el problema y por los objetivos de estudio" (Arias, 2006).

Para el presente estudio la población es el concreto de  $f'c=280$  kg/cm<sup>2</sup> Concreto Patrón (sin la adición de fibras de polietileno) y el concreto de  $f'c=280$  kg/cm<sup>2</sup> con la adición de fibras de polietileno (con diferentes dosis de fibras de polietileno), en vías urbanas como la de la Av. 28 de Julio del AA.HH. Túpac Amaru en la ciudad de Cerro de Pasco.

#### **3.3.2. MUESTRA**

En este estudio, la muestra estuvo conformada por probetas cilíndricas de  $f'c=280$  kg/cm<sup>2</sup>, 6 probetas cilíndricas del Concreto Patrón (sin la adición de fibras de polietileno) y 24 probetas cilíndricas del concreto con la adición de fibras de polietileno (con diferentes dosis de fibras de polietileno). Y vigas prismáticas de concreto  $f'c=280$  kg/cm<sup>2</sup>, 3 vigas prismáticas del Concreto Patrón (sin la adición de fibras de polietileno) y 12 vigas prismáticas del concreto con la adición de fibras de polietileno (con diferentes dosis de fibras de polietileno).

Para la investigación experimental (confección de especímenes, desarrollo del ensayo experimental y la recopilación de datos) se utilizaron las metodologías de ensayo: “Método de ensayo normalizado para resistencia a la compresión de especímenes de concreto” ASTM C39, en este caso fueron ensayados a edades de 7 y 28 días. “Resistencia a la Flexión del Concreto Método de la Viga Simple Cargada en los Tercios de la Luz (MTC E 709 – 2000) ASTM C78 (cargada en los puntos tercios) que consiste en ensayar una probeta de sección prismática de 15cm.x15 cm.x50 cm apoyándolas sobre dos soportes rotulados separados 45 cm. Y aplicando carga a los tercios de la luz libre (a 15 cm. De cada extremo) falladas a flexión, en este caso fueron ensayados a edades de 28 días.

#### **3.4. MÉTODOS DE INVESTIGACIÓN**

El método más adecuado es el Experimental debido a que el estudio se realiza con la manipulación de las variables, es decir, que la variable independiente influenciará en la variable dependiente de tal forma que se pueda llegar a establecer el porcentaje óptimo de fibra que será utilizado en el concreto. Se obtendrá información de la actividad intencional (laboratorio), para luego obtener respuestas con el uso de las fórmulas y procesadores de datos, para luego formular los cuadros de resultados.

## **3.5. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS**

### **3.5.1. TECNICAS.**

Las principales técnicas que se utilizó en este estudio fueron por observación directa, análisis de documentos, ensayos de probetas cilíndricas y viguetas con y sin adición de fibras de polietileno.

- Toma de muestras de agregados.
- Peso unitario de los agregados (MTC E 203-2000)
- Peso específico y absorción de agregado: agregado grueso (MTC E 206-2000, NTP 400.021)
- Peso específico y absorción de agregado: agregado fino (MTC E 205-2000)
- Porcentaje de Vacíos
- Contenido de humedad, absorción efectiva y humedad superficial
- Análisis granulométrico del agregado grueso (MTC E 204-2000)
- Análisis granulométrico del agregado fino (MTC E 204-2000)
- Diseño de mezclas usando el Método del Comité 211 del ACI
- Ensayo del concreto fresco
- Ensayo de resistencia a la compresión axial ASTM C39
- Ensayo de resistencia a la flexión o módulo de rotura ASTM C78.

### **3.5.2. INSTRUMENTOS.**

Los instrumentos utilizados en las técnicas antes mencionadas fueron:

- Datos de campo (In situ)
- Bolsas de conservación de muestra.
- Laboratorio de mecánica de suelos y concreto
- Máquina de ensayo a flexión
- Máquina de ensayo a compresión axial
- Formatos de laboratorio.

### **3.6. TÉCNICAS DE PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE DATOS**

Para el procesamiento y análisis de los datos se utilizó equipos de laboratorio, programas de ingeniería, Hoja de cálculo de Microsoft office Excel 2013, tomando en cuenta que los datos obtenidos son variables cuantitativas y cualitativas.

### **3.7. TRATAMIENTO ESTADISTICO DE DATOS**

Para la investigación experimental (confección de especímenes, desarrollo del ensayo experimental y la recopilación de datos) se utilizaron las metodologías de ensayo: ASTM C39 “método de ensayo normalizado para resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de concreto” y ASTM C78 (cargada en los puntos tercios) que consiste en ensayar una probeta e sección primatica de 15cm. x

15cm. x 50cm. apoyándola sobre dos soportes rotulados separados 45cm y aplicando carga a los tercios de la luz libre (a 15cm. de cada extremo) falladas a flexión.

- Formatos de laboratorio de mecánica de suelos y concreto.

## **CAPÍTULO IV**

### **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

#### **4.1. TRATAMIENTO ESTADÍSTICO E INTERPRETACIÓN DE CUADROS**

##### **4.1.1. PROPIEDADES DE MATERIALES**

Para iniciar con los trabajos en laboratorio, se hizo la visita a la Cantera San Antonio ubicado a orillas del río de dicha localidad, del Centro Poblado de Sacra Familia del Distrito de Simón Bolívar de Rancas, luego se realizó el traslado de los agregados en bolsas y costales hacia el laboratorio.



*Figura 16. Visita a la Cantera y extracción de agregados*

Posteriormente se inició a realizar los ensayos normados para el material:

- Toma de muestras del agregado grueso (piedra chancada) y agregado fino (arena gruesa), mediante el método de cuarteo (ASTM D-75).
- Análisis granulométrico de los agregados para determinar: tamaño máximo, porcentaje de finos, módulo de fineza, huso granulométrico (ASTM C-136).
- Ensayo para determinar en contenido de humedad (ASTM C-566).
- Ensayo para determinar el peso específico y la absorción del agregado grueso (ASTM C- 127).
- Ensayo para determinar el peso específico y la absorción del agregado fino (ASTM C-128).

- Ensayo para determinar el peso unitario suelto del agregado grueso (P.U.S) y fino (ASTM C-29).
- Ensayo para determinar el peso unitario compactado (P.U.C) del agregado grueso y fino (ASTM C-29).



*Figura 17. Toma de muestras de Agregado Grueso (Cuarteo).*

#### **4.1.2. AGREGADO FINO**

Se define como Agregado Fino a aquel proveniente de la desintegración natural o artificial de las rocas, el cual pasa el tamiz 9.4 mm (3/8") y cumple con los límites establecidos en las Normas NTP 400.037 ó ASTM C 33. Requisitos:

El agregado podrá consistir de arena natural o manufacturada, o una combinación de ambas. Sus partículas serán limpias; de perfil preferentemente angular; duro; compacto y resistente; libre de polvo, terrones, partículas escamosas o blandas, esquistos, pizarras, álcalis, materia orgánica, sales u otras

sustancias dañinas para el concreto. Características y Propiedades Físicas:

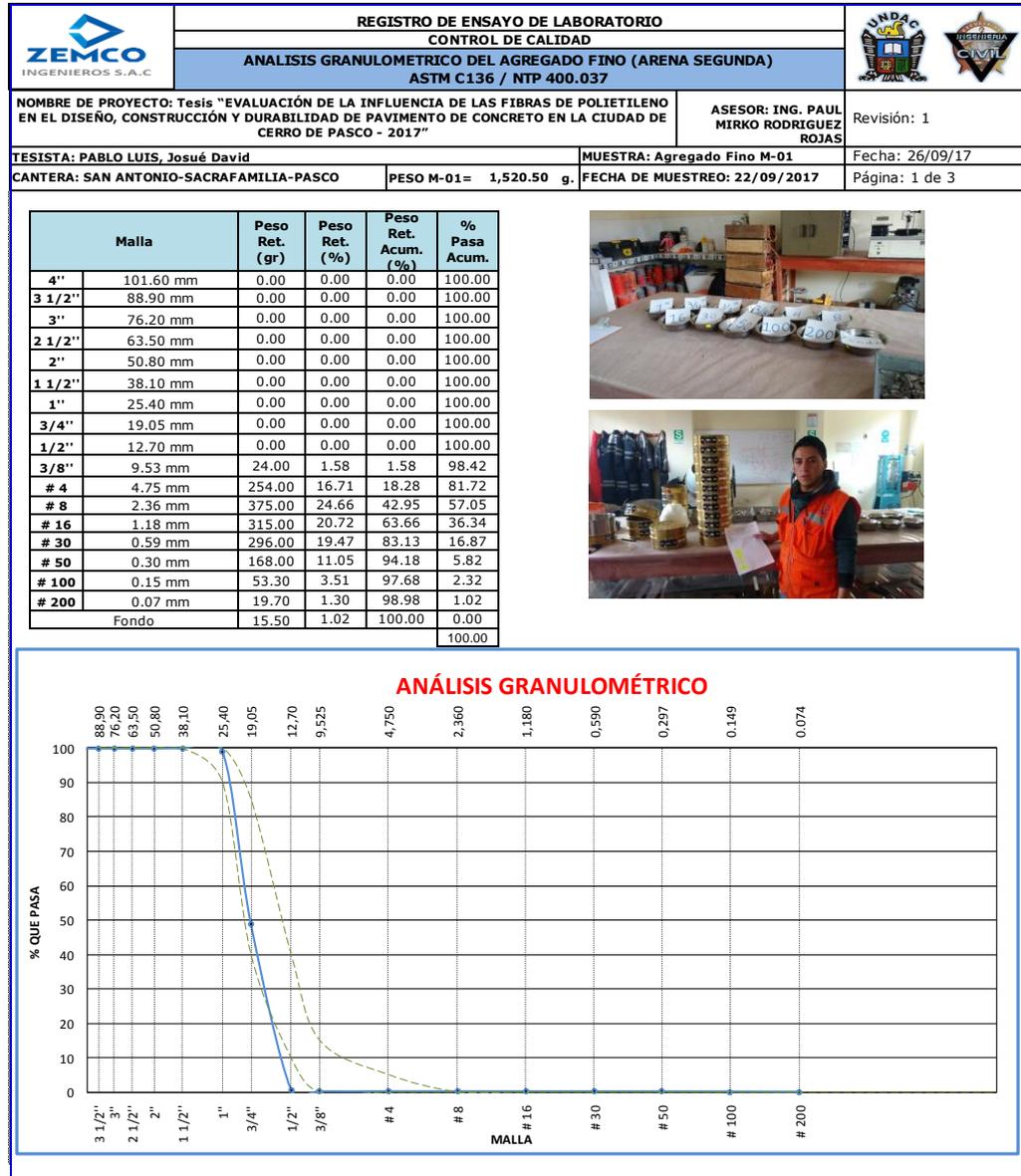


Grafico 1. Granulometría del Agregado Fino (Muestra N° 01/M-01)  
Fuente: Elaboración propia.

El agregado fino utilizado en el diseño del concreto patrón es Arena Gruesa cuya procedencia es de la Cantera San Antonio. El agregado estará graduado dentro de los límites indicados en la Norma NTP 400.012 o ASTM C33. La granulometría

seleccionada será preferentemente uniforme o continua, con valores retenidos en las mallas N° 4 a N° 100 de la serie Tyler. El porcentaje retenido en dos mallas sucesivas no excederá del 45%.

ZEMCO INGENIEROS S.A.C.		LABORATORIO DE ENSAYO DE MECÁNICA DE SUELOS, MATERIALES Y CONCRETO						UNDA C	INGENIERIA CIVIL
		<b>ESTUDIO DEL AGREGADO FINO (ARENA SEGUNDA)</b>							
PROYECTO:		Tesis "EVALUACIÓN DE LA INFLUENCIA DE LAS FIBRAS DE POLIETILENO EN EL DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y DURABILIDAD DE PAVIMENTO DE CONCRETO EN LA CIUDAD DE CERRO DE PASCO - 2017"							
N° DE MUESTRA	1	CANTERA:		SAN ANTONIO					
MATERIAL USADO PARA:	CONCRETO	UBICACIÓN:		SACRA FAMILIA-PASCO					
FECHA DE MUESTRO:	22/09/2017	FECHA DEL ENSAYO:		27/09/2017					
PESO UNITARIO SUELTO (ASTM C 29)									
N°	DATOS		UND	M - 1	M - 2	M - 3	PROMEDIO		
1	PESO DEL RECIPIENTE	A	kg	8.27	8.27	8.27	8.27		
2	PESO DEL RECIPIENTE + MUESTRA	B	kg	32.50	32.85	33.35	32.90		
3	PESO DE LA MUESTRA	B - A	kg	24.23	24.58	25.08	24.63		
4	VOLÚMEN DEL RECIPIENTE	C	m <sup>3</sup>	0.014	0.014	0.014	0.0144		
CÁLCULO									
5	PESO UNITARIO SUELTO (P.U.S.)	B-A /C		kg/m <sup>3</sup>	1686	1710	1745	1714	
PESO UNITARIO COMPACTADO (ASTM C 29)									
N°	DATOS		UND	M - 1	M - 2	M - 3	PROMEDIO		
1	PESO DEL RECIPIENTE	A	kg	8.27	8.27	8.27	8.27		
2	PESO DEL RECIPIENTE + MUESTRA	B	kg	35.15	35.05	35.00	35.07		
3	PESO DE LA MUESTRA	B - A	kg	26.88	26.78	26.73	26.79		
4	VOLÚMEN DEL RECIPIENTE	C	m <sup>3</sup>	0.014	0.014	0.014	0.0140		
CÁLCULO									
5	PESO UNITARIO COMPACTADO (P.U.C.)	B - A /C		kg/m <sup>3</sup>	1920	1913	1909	1914	
PESO ESPECÍFICO (ASTM C 131)									
N°	DATOS		UND	M - 1	M - 2	M - 3	PROMEDIO		
1	PMSH	A	gr	490.00	490.00	489.00	489.67		
2	PPAH2O	B	gr	1286.00	1280.00	1287.00	1284.33		
3	PPAH2O+PSSS	C	gr	1588.00	1586.00	1587.00	1587.00		
4	PSSS	S	gr	500.00	500.00	500.00	500.00		
CÁLCULO									
5	PESO ESPECÍFICO APARENTE	A/(B+S-C)		gr/cm <sup>3</sup>	2.47	2.53	2.45	2.48	
6	PESO ESPECÍFICO APARENTE (S.S.S.)	A/(B+S-C)		gr/cm <sup>3</sup>	2.47	2.53	2.45	2.48	
6	PESO ESPECÍFICO NOMINAL	A/(B+A-C)		gr/cm <sup>3</sup>	2.61	2.66	2.59	2.62	
CONTENIDO DE HUMEDAD (w %)									
MUESTRA	P <sub>MN</sub>	P <sub>M SH</sub>	W%						
M - 1	500.00	467.00	7.07%						
M - 2	500.00	468.00	6.84%						
M - 3	500.00	466.00	7.30%						
W%PROMEDIO			7.07%						
ABSORCIÓN (Abs %) (ASTM C 131)									
MUESTRA	P <sub>PSSS</sub>	P <sub>M SH</sub>	Ab%						
M - 1	500.00	498.00	0.40%						
M - 2	500.00	498.00	0.40%						
M - 3	500.00	499.00	0.20%						
Ab%PROMEDIO			0.33%						
<p>P<sub>MN</sub>: Peso de la Muestra Natural  P<sub>M SH</sub>: Peso de la Muestra Seca al Horno  P<sub>PSSS</sub>: Peso de la Muestra Superficialmente Seco  P<sub>PAH2O</sub>: Peso del picnómetro aforado lleno de agua  P<sub>PAH2O+PSSS</sub>: Peso total del picnómetro aforado con la muestra y lleno de agua</p>									

Grafico 2. Granulometría del Agregado Fino (Muestra N° 02/M-02)

Fuente: Elaboración propia.

### **4.1.3. AGREGADO GRUESO**

Se define como Agregado Grueso al material proveniente de la desintegración natural o artificial, retenido en el tamiz 4, 75 mm (No 4) y que cumple con los límites establecidos en la Norma N.T.P. 400.012 ó ASTM C 33. Para la siguiente investigación se trabajó con piedra chancada cuya procedencia es de la Cantera San Antonio.

Requisitos:

Varias Propiedades Físicas comunes del agregado, son relevantes para el comportamiento del agregado en el concreto.

A continuación, se tratan estas Propiedades Físicas.

Características y Propiedades Físicas:

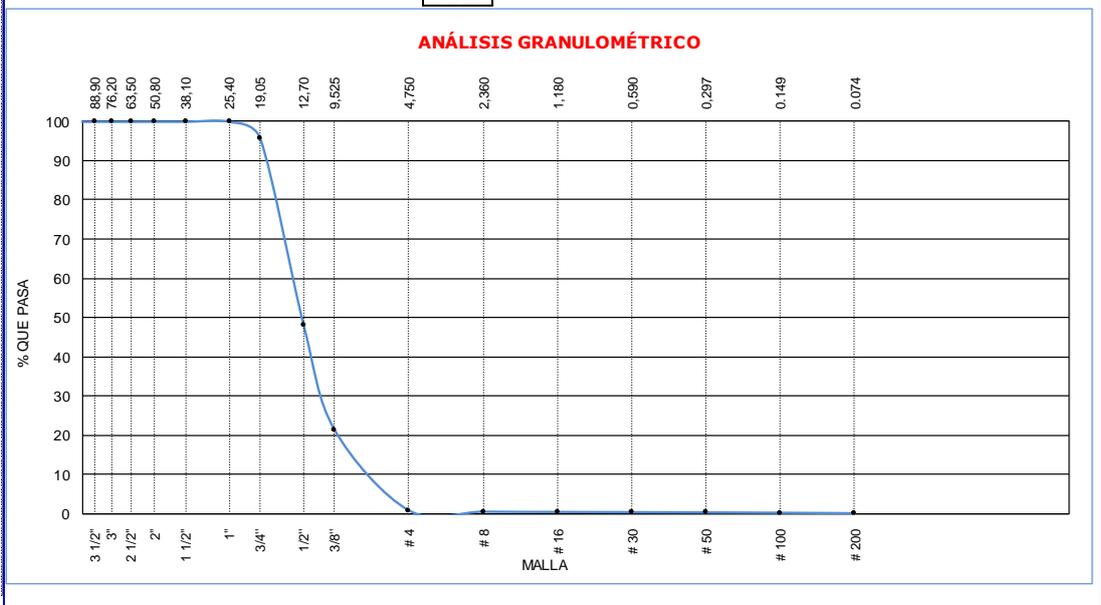
El tamaño máximo del Agregado Grueso que se utiliza en el concreto, tiene su fundamento en la economía. Comúnmente se necesita más agua y cemento para agregados de tamaño pequeño que para tamaños mayores. El tamaño máximo nominal de un agregado, es el menor tamaño de la malla por el cual debe pasar la mayor parte del agregado donde se produce el primer retenido y el tamaño máximo corresponde a la malla más pequeña por la que pasa todo el agregado.

Una vez definida la Granulometría, para la producción de un concreto de calidad, es necesario que el aprovisionamiento del

Agregado Grueso presente la menor variación posible, manteniéndose la regularidad de su Granulometría.

	<b>REGISTRO DE ENSAYO DE LABORATORIO</b> <b>CONTROL DE CALIDAD</b>		 
	<b>ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DEL AGREGADO GRUESO (PIEDRA CHANCADA)</b> <b>ASTM C136 / NTP 400.037</b>		
<b>NOMBRE DE PROYECTO:</b> Tesis "EVALUACIÓN DE LA INFLUENCIA DE LAS FIBRAS DE POLIETILENO EN EL DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y DURABILIDAD DE PAVIMENTO DE CONCRETO EN LA CIUDAD DE CERRO DE PASCO - 2017"		<b>ASESOR:</b> ING. PAUL MIRKO RODRIGUEZ ROJAS	Revisión: 1
<b>TESISTA:</b> PABLO LUIS, Josué David		<b>MUESTRA:</b> Agregado Grueso M-01	Fecha: 28/09/17
<b>CANTERA:</b> SAN ANTONIO-SACRAFAMILIA-PASCO		<b>PESO M-01=</b> 2,040.00 g.	<b>FECHA DE MUESTREO:</b> 22/09/2017
			Página: 1 de 3

Malla	Peso Ret. (gr)	Peso Ret. (%)	Peso Ret. Acum. (%)	% Pasa Acum.	
4"	101.60 mm	0.00	0.00	100.00	
###	88.90 mm	0.00	0.00	100.00	
3"	76.20 mm	0.00	0.00	100.00	
###	63.50 mm	0.00	0.00	100.00	
2"	50.80 mm	0.00	0.00	100.00	
###	38.10 mm	0.00	0.00	100.00	
1"	25.40 mm	0.00	0.00	100.00	
3/4"	19.05 mm	87.00	4.23	95.77	
1/2"	12.70 mm	978.00	47.51	51.73	48.27
3/8"	9.53 mm	550.00	26.72	78.45	21.55
# 4	4.75 mm	425.00	20.65	99.10	0.90
# 8	2.36 mm	6.70	0.33	99.42	0.58
# 16	1.18 mm	1.50	0.07	99.49	0.51
# 30	0.59 mm	1.20	0.06	99.55	0.45
# 50	0.30 mm	1.20	0.06	99.61	0.39
# 100	0.15 mm	1.80	0.09	99.70	0.30
# 200	0.07 mm	2.40	0.12	99.82	0.18
Fondo		3.80	0.18	100.00	0.00
					100.00



**Grafico 3.** Granulometría del Agregado Fino (Muestra N° 01/M-01)  
Fuente: Elaboración propia.

ZEMCO INGENIEROS S.A.C.		LABORATORIO DE ENSAYO DE MECÁNICA DE SUELOS, MATERIALES Y CONCRETO					UNIVERSIDAD DE PASCO	
		ESTUDIO DEL AGREGADO GRUESO (PIEDRA CHANCADA DE 1/2")						
PROYECTO:		Tesis "EVALUACIÓN DE LA INFLUENCIA DE LAS FIBRAS DE POLIETILENO EN EL DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y DURABILIDAD DE PAVIMENTO DE CONCRETO EN LA CIUDAD DE CERRO DE PASCO - 2017"						
N° DE MUESTRA:	1	CANTERA:	CANTERA SACRA FAMILIA					
MATERIAL USADO PARA:	CONCRETO	UBICACIÓN:	SACRA FAMILIA-PASCO					
FECHA DE MUESTRO:	22/09/2017	FECHA DEL ENSAYO:	25/09/2017					
PESO UNITARIO SUELTO (ASTM C 29)								
N°	DATOS	UND	M - 1	M - 2	M - 3	PROMEDIO		
1	PESO DEL RECIPIENTE	A	kg	8.27	8.27	8.27	8.27	
2	PESO DEL RECIPIENTE + MUESTRA	B	kg	27.05	27.60	27.70	27.45	
3	PESO DE LA MUESTRA	B - A	kg	18.78	19.33	19.43	19.18	
4	VOLUMEN DEL RECIPIENTE	C	m <sup>3</sup>	0.014	0.014	0.014	0.0144	
CÁLCULO								
5	PESO UNITARIO SUELTO (P.U.S.)	B - A /C	kg/m <sup>3</sup>	1307	1345	1352	1335	
PESO UNITARIO COMPACTADO (ASTM C 29)								
N°	DATOS	UND	M - 1	M - 2	M - 3	PROMEDIO		
1	PESO DEL RECIPIENTE	A	kg	8.27	8.27	8.27	8.27	
2	PESO DEL RECIPIENTE + MUESTRA	B	kg	30.35	30.75	30.25	30.45	
3	PESO DE LA MUESTRA	B - A	kg	22.08	22.48	21.98	22.18	
4	VOLUMEN DEL RECIPIENTE	C	m <sup>3</sup>	0.014	0.014	0.014	0.0140	
CÁLCULO								
5	PESO UNITARIO COMPACTADO (P.U.C.)	B - A /C	kg/m <sup>3</sup>	1577	1605	1570	1584	
PESO ESPECÍFICO (ASTM C 131)								
N°	DATOS	UND	M - 1	M - 2	M - 3	PROMEDIO		
1	P <sub>MSH</sub>	A	gr	2465.00	2477.00	2450.00	2464.00	
2	P <sub>SSS</sub>	B	gr	2500.00	2500.00	2500.00	2500.00	
3	P <sub>SSS</sub> SUMERGIDO + CANASTILLA		gr	2400.00	2405.00	2395.00	2400.00	
4	PESO DE LA CANASTILLA		gr	913.00	913.00	913.00	913.00	
5	P <sub>SSS</sub> SUMERGIDO	C	gr	1487.000	1492.000	1482.000	1487.0000	
CÁLCULO								
5	PESO ESPECÍFICO APARENTE	A/(B - C)	gr/cm <sup>2</sup>	2.43	2.46	2.41	2.43	
6	PESO ESPECÍFICO APARENTE (S.S.S.)	A/(B - C)	gr/cm <sup>3</sup>	2.43	2.46	2.41	2.43	
6	PESO ESPECÍFICO NOMINAL	A/(A - C)	gr/cm <sup>3</sup>	2.52	2.51	2.53	2.52	
CONTENIDO DE HUMEDAD (w %)								
MUESTRA	P <sub>MN</sub>	P <sub>MSH</sub>	W%					
M - 1	500.00	494.00	1.21%					
M - 2	500.00	493.00	1.42%					
M - 3	500.00	493.00	1.42%					
W%PR O M EDIO			1.35%					
ABSORCIÓN (Abs %) (ASTM C 131)								
MUESTRA	P <sub>SSS</sub>	P <sub>MSH</sub>	Ab%					
M - 1	2500.00	2465.00	1.42%					
M - 2	2500.00	2487.00	0.52%					
M - 3	2500.00	2450.00	2.04%					
Ab%PR O M EDIO			1.33%					
<p>P<sub>MN</sub>: Peso de la Muestra Natural  P<sub>MSH</sub>: Peso de la Muestra Seca al Horno  P<sub>SSS</sub>: Peso de la Muestra Superficialmente Seco</p>								

Grafico 4. Granulometría del Agregado Fino (Muestra N° 01/M-01)

Fuente: Elaboración propia.

#### 4.1.4. CEMENTO

El cemento utilizado para los ensayos fue el CEMENTO ANDINO TIPO I (bolsa de 3 pliegos), posee las siguientes características:

- Un peso específico de 3.12
- Tiene alto calor de hidratación

- No es resistente a los sulfatos

#### **4.1.5. AGUA**

El agua es uno de los componentes en la elaboración del concreto, pues la presencia de ella reacciona químicamente permitiendo la formación de gel. El agua no presenta inconveniente alguno para la elaboración del concreto ya que se usó el agua potable apta para el consumo humano de la red que alimenta el laboratorio empleado “ZEMCO INGENIEROS SAC” ubicado en la Calle Tarma N° 215 Barrio Paragsha del Distrito de Simón Bolívar en la Provincia de Pasco.

### **4.2. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS**

#### **4.2.1. MÉTODO DE DISEÑO UTILIZADO Y ESPECIFICACIONES TÉCNICAS ASUMIDAS PARA REALIZAR LOS ENSAYOS DEL CONCRETO**

Para el diseño del concreto después de haber concluido los ensayos para determinar todas las características físicas de los materiales, se procede al diseño de mezcla. Independientemente que las características finales del concreto que se indican en las especificaciones técnicas o dejadas al criterio del profesional responsable del diseño de mezcla, las cantidades de materiales por metro cúbico de concreto pueden ser determinadas, cuando se emplea el método del comité 211 del ACI y se sigue los siguientes pasos:

1. Selección de la resistencia promedio a partir de la resistencia a la compresión especificada y la desviación estándar de la compañía constructora.
2. Selección del tamaño máximo nominal del agregado grueso.
3. Selección del asentamiento.
4. Selección del volumen unitario del agua de diseño.
5. Selección del contenido de aire.
6. Selección de la relación agua J cemento por resistencia y durabilidad.
7. Determinación del factor cemento.
8. Determinación del contenido del agregado grueso.
9. Determinación de la suma de los volúmenes absolutos de cemento, agua de diseño, aire y agregado grueso.
10. Determinación del volumen absoluto del agregado fino.
11. Determinación del peso seco del agregado fino.
12. Determinación de los valores de diseño del cemento, agua, aire, agregado grueso y agregado fino.
13. Corrección de los valores de diseño por humedad del agregado.
14. Determinación de la proporción en peso, de diseño y de obra.

15. Determinación de los pesos por tanda de una bolsa.

16. Dosificación de fibra de acuerdo a diseño.

#### 4.2.2. DESARROLLO DE DISEÑO DE MEZCLA PARA UNA RESISTENCIA DE $f'c = 280 \text{ KG/CM}^2$ , PARA PAVIMENTOS DE CONCRETO.

Con la información de las características de los agregados finos y gruesos y con la utilización de las tablas correspondientes, se procede al cálculo de diseño de mezclas y su corrección:



#### DISEÑO DE MEZCLAS ACI 211 PARA CONCRETO $f'c=280\text{Kg/cm}^2$



<b>TESIS</b>	: “EVALUACIÓN DE LA INFLUENCIA DE LAS FIBRAS DE POLIETILENO EN EL DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y DURABILIDAD DE PAVIMENTO DE CONCRETO EN LA CIUDAD DE CERRO DE PASCO - 2017”	
<b>TESISTA</b>	: Bachiller. Josué David PABLO LUIS	<b>ASESOR</b> : Ing. Paul Mirko, RODRIGUEZ ROJAS
<b>LUGAR</b>	: Laboratorio Zemco-Paragsha-Pasco	

#### I. ESPECIFICACIONES :

1.1 La resistencia de Diseño es de  $f'c=280\text{Kg/cm}^2$ , se desconoce le valor de la desviación estándar.

#### 1.2 Componentes:

##### 1.2.1 Cemento Andino Tipo I

Peso Específico	3.12	gr/cm <sup>3</sup>
-----------------	------	--------------------

##### 1.2.2 Agregado Fino

Arena Gruesa de la Cantera San Antonio-Sacra Familia

Peso Específico	2.48	gr/cm <sup>3</sup>
-----------------	------	--------------------

Absorción	0.33	%
-----------	------	---

Contenido de Humedad	7.07	%
----------------------	------	---

Modulo de Fineza	4.04	
------------------	------	--

Peso Unitario Suelto	1714.00	Kg/m <sup>3</sup>
----------------------	---------	-------------------

Peso Unitario Compactado	1914.00	Kg/m <sup>3</sup>
--------------------------	---------	-------------------

##### 1.2.3 Agregado Grueso

Piedra Chancada de la Cantera San Antonio-Sacra Familia

Tamaño Máximo Nominal	3/4"	
-----------------------	------	--

Peso Específico	2.43	gr/cm <sup>3</sup>
-----------------	------	--------------------

Absorción	1.33	%
-----------	------	---

Contenido de Humedad	1.35	%
----------------------	------	---

Peso Unitario Suelto	1335.00	Kg/m <sup>3</sup>
----------------------	---------	-------------------

Peso Unitario Compactado	1584.00	Kg/m <sup>3</sup>
--------------------------	---------	-------------------

##### 1.2.3 Agua

Agua Potable de Laboratorio ZEMCO Ingenieros-C.P. Paragsha

## II. SECUENCIA DE DISEÑO :

### 2.1 Selección de la Resistencia (f'cr) :

Dado que no se conoce el valor de la desviación estándar, entonces se tiene que  $f_{cr} = f_c + 84 \text{ Kg/cm}^2$   
 Entonces:  $f_{cr} = 280 + 84 = 364 \text{ Kg/cm}^2$

### 2.2 Selección del Tamaño Máximo Nominal:

El tamaño máximo nominal es de **3/4"**

### 2.3 Selección del Asentamiento:

Según la sección: **Subsección 438.02 (a)** del Manual de Carreteras "Especificaciones Técnicas Generales para Construcción" : **2" a 3"**

### 2.4 Volumen Unitario del Agua:

Para una mezcla de concreto de 1" a 2" de asentamiento, sin aire incorporado y cuyo agregado tiene un tamaño máximo nominal de 3/4" , el volumen unitario de agua es de : **190.00** Lt/m<sup>3</sup>

### 2.5 Contenido de Aire :

Se considera 2.00 % de aire atrapado por las características de los componentes de éste concreto. **2.00** %

### 2.6 Relación Agua-Cemento :

Para una resistencia de diseño f'cr = **364** Kg/cm<sup>2</sup> sin Aire Incorporado  
 la relación agua – cemento es de : **0.46** Por Durabilidad

### 2.7 Cálculo del contenido de Cemento:

Volumen Unitario del Agua: **190.0** Lt/m<sup>3</sup>  
 La relación agua – cemento es de : **0.46** Por Durabilidad  
 Resulta: **413.04** Kg/m<sup>3</sup> → **9.72** Bls/m<sup>3</sup>  
**9.80** Bls/m<sup>3</sup>

### 2.8 Contenido de Agregado Grueso :

Para un módulo de fineza **4.04** y un tamaño Máximo Nominal **3/4"**  
 Le corresponde un volumen unitario de: **0.46** m<sup>3</sup> de agregado grueso varillado  
 Sabemos el Peso Unitario **1584.00** Kg/m<sup>3</sup>  
 Resulta: **728.64** Kg/m<sup>3</sup>

### 2.9 Cálculo de Volúmenes Absolutos :

Cemento : =  $413.04 / (3.12 \times 1000) =$  **0.132** m<sup>3</sup>  
 Agua : =  $190 / (1.00 \times 1000) =$  **0.190** m<sup>3</sup>  
 Aire Atrapado : = 2% = **0.02** m<sup>3</sup>  
 Agregado Grueso : =  $728.64 / (2.43 \times 1000) =$  **0.300** m<sup>3</sup>  
 Total = **0.642** m<sup>3</sup>

### 2.10 Contenido de Agregado Fino :

Volumen absoluto de agregado fino :  $1.00 - 0.642 =$  **0.358** m<sup>3</sup>  
 Peso del Agregado Fino Seco:  $0.358 \times 2.48 \times 1000 =$  **887.251** m<sup>3</sup>

### 2.11 Valores de Diseño :

Cemento : = **413.043** Kg/m<sup>3</sup>  
 Agua de Diseño : = **190.000** Kg/m<sup>3</sup>  
 Agregado Fino Seco : = **887.25** Kg/m<sup>3</sup>  
 Agregado Grueso Seco = **728.640** Kg/m<sup>3</sup>

**Tabla 13. Tabla de Diseño de Mezcla Método ACI 211.**

<b>2.12 Corrección por Humedad de los Agregados :</b>				
Agregado Fino	887.25x1.0707	=	<b>949.979</b>	Kg/m3
Agregado Grueso	728.64x1.0135	=	<b>738.477</b>	Kg/m3
Humedad Superficial de:				
Agregado Fino	7.07-0.33	=	<b>6.740</b>	%
Agregado Grueso	1.35-1.33	=	<b>0.020</b>	%
Aporte de Humedad de los Agregados:				
Agregado Fino	887.25x(0.0674)	=	<b>59.801</b>	Lt/m3
Agregado Grueso	728.64x(0.0002)	=	<b>0.146</b>	Lt/m3
	Total	=	<b>59.946</b>	Lt/m3
Agua Efectiva :	190.0-(59.946)	=	<b>130.054</b>	Lt/m3
Los pesos de los materiales ya corregidos serán:				
Cemento		=	<b>413.043</b>	Kg/m3
Agua Efectiva		=	<b>130.054</b>	Kg/m3
Agregado Fino Húmedo		=	<b>949.98</b>	Kg/m3
Agregado Grueso Húmedo		=	<b>738.477</b>	Kg/m3
<b>2.13 Proporciones en Peso Húmedo :</b>				
413.043 /413.043	949.98 /413.043		738.477 /413.043	
	<b>1 : 2.3 : 1.79 : 0.31</b>			
<b>2.14 Pesos por Tanda de un Saco :</b>				
Cemento :	1.00 x 42.50	=	<b>42.500</b>	Kg/saco
Agua Efectiva :	0.04 x 42.50	=	<b>13.382</b>	Lt/saco
Agregado Fino :	2.30 x 42.50	=	<b>97.748</b>	Kg/saco
Agregado Grueso :	1.79 x 42.50	=	<b>75.985</b>	Kg/saco
<b>2.15 Pesos por Pie Cúbico de :</b>				
Agregado Fino Húmedo	949.98 x 35.31/ 1714	=	<b>19.570</b>	Kg/pie3
Agregado Grueso Húm.	738.48 x 35.31/ 1335	=	<b>19.532</b>	Kg/pie3
<b>2.16 Dosificación en Volumen :</b>				
Cemento	9.80 / 9.80	=	<b>1.000</b>	pie3
Agregado Fino Húmedo	19.57 / 9.80	=	<b>1.997</b>	pie3
Agregado Grueso Húm.	19.53 / 9.80	=	<b>1.993</b>	pie3
Agua de Mezcla	130.05 / 9.80	=	<b>13.271</b>	Lt/bolsa

Fuente: Elaboración Propia.

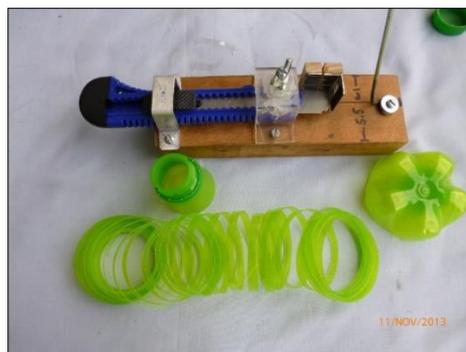
#### **4.2.3. DOSIFICACIÓN Y CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE LA FIBRA DE POLIETILENO EMPLEADO.**

Para conducir el trabajo investigativo, una vez obtenida las fibras, se realizaron ensayos comparativos entre un concreto patrón (sin adición de fibras de polietileno) y concretos reforzados con fibras (adición de fibras de polietileno en diferentes dosis), teniendo:

- Diseño Patrón: Dosis de 0.00 Kg. de fibra por 1 m<sup>3</sup> de concreto.
- Diseño N° 01: Dosis de 0.50 Kg. de fibra por 1 m<sup>3</sup> de concreto.
- Diseño N° 02: De 1.00 Kg. de fibra por 1 m<sup>3</sup> de concreto.
- Diseño N° 03: De 1.50 Kg. de fibra por 1 m<sup>3</sup> de concreto.
- Diseño N° 04: De 2.00 Kg. de fibra por 1 m<sup>3</sup> de concreto.

La obtención de las fibras de polietileno fue producto del siguiente procedimiento:

- Para iniciar se recolectaron botellas de plástico (tipo PET) provenientes de bebidas de gaseosas recogidas de basureros, las cuales se lavaron con agua.
- Posteriormente se cortaron tanto la parte superior como inferior de las botellas.
- Se colocaron en un dispositivo manual fabricado especialmente para la obtención de tiras de PET; las tiras fueron obtenidas con ancho de aproximadamente 3 mm y de largo de varios metros, dependiendo del tamaño de la botella que se cortara.

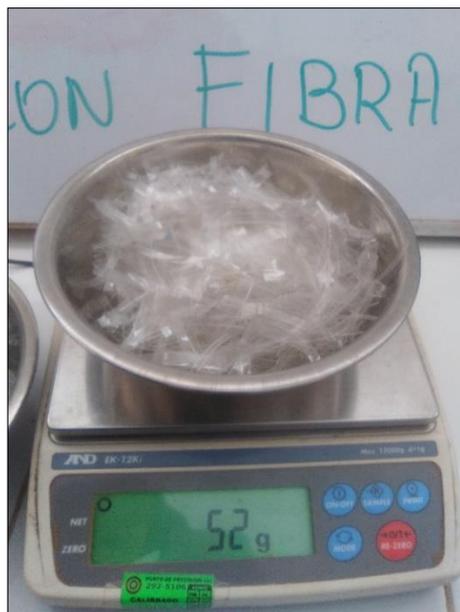


**Figura 18.** Dispositivo Manual para obtener tiras de PET. (Fileteadora).  
Fuente: <https://www.youtube.com/watch?v=wQPCXdVlyvQ>

Para la adición de las fibras, las tiras de PET obtenidas fueron cortadas en tramos de 4 cm para utilizarlas como refuerzo al concreto de forma dispersa, para ser puestas en probetas cilíndricas y primaticas de concreto, cabe indicar que el PET cortado no sufrió modificación alguna en sus propiedades.

Se empleó fibra de polietileno obtenido de botellas plásticas recicladas (material PET), con las siguientes características físicas:

- Espesor de fibra : 0,08 mm
- Ancho de la fibra : 3 mm
- Largo L : 40 mm
- Relación de esbeltez : Relación entre el largo y el espesor: 0.002



**Figura 19.** Pesado de Dosis de la Fibra de Polietileno.

**Fuente:** Elaboración Propia.

#### 4.2.4. PREPARACIÓN DE MEZCLAS

Para llevar a cabo la investigación se realizaron ensayos comparativos entre un concreto patrón (dosificación sin fibra de polietileno) y concreto reforzado con fibras de polietileno (adicionado en diferentes dosis de fibra). Las dosis de fibras de polietileno se incorporaron directamente a la mezcladora de concreto, cómo si se tratara de un agregado o aditivo más, agregando poco a poco, a máximas revoluciones para asegurar su correcta distribución. Es importante que al mezclar las fibras con el resto de los componentes del concreto, se distribuyan uniformemente mientras se mezclan en el equipo, para evitar que las fibras se concentren solo en ciertas partes, se recomienda un tiempo de mezclado de 10 minutos.



**Figura 20.** Adición de la Fibra de Polietileno a la mezcladora.  
**Fuente:** Elaboración Propia.

#### **4.2.5. FABRICACIÓN DE PROBETAS**

Para poder apreciar el comportamiento del concreto respecto al tiempo, se elaboraron probetas cilíndricas (15 cm de diámetro y 30 cm de altura) y viguetas de sección prismática (15 cm. x 15 cm. x 54 cm.) tanto para concreto patrón (sin adición de fibras de polietileno) y concretos reforzados con fibras (adición de fibras de polietileno en diferentes dosis).

En esta investigación se denominaron como:

- PDP (Probetas Diseño Patrón): a las probetas con concreto patrón (sin adición de fibras)
- PD1 (Probeta Diseño N° 01): a las probetas con concreto con adición de fibras en dosis igual a Dosis de 0.50 Kg. de fibra por 1 m<sup>3</sup> de concreto.
- PD2 (Probeta Diseño N° 02): a las probetas con concreto con adición de fibras en dosis igual a Dosis de 1.00 Kg. de fibra por 1 m<sup>3</sup> de concreto.
- PD3 (Probeta Diseño N° 03): a las probetas con concreto con adición de fibras en dosis igual a Dosis de 1.50 Kg. de fibra por 1 m<sup>3</sup> de concreto.
- PD4 (Probeta Diseño N° 04): a las probetas con concreto con adición de fibras en dosis igual a Dosis de 2.00 Kg. de fibra por 1 m<sup>3</sup> de concreto.

Dichas probetas cilíndricas, así como las prismáticas fueron ubicados en un lugar cercano a la Mezcladora de Concreto para la preparación de la mezcla del concreto a la vez se aseguró que el lugar de extracción de probetas fuera en una superficie plana. Para el caso de los moldes prismáticos, se llenaron hasta la mitad con el concreto mezclado incorporado de fibras, se varilló 63 veces en espiral y se golpeó con el martillo de goma 15 veces en el perímetro, este procedimiento se llevó a cabo dos veces, es decir, por el número de capas. Al final se añadió un poco más de concreto para enrasarlo y colocar su nomenclatura. El procedimiento que se siguió para las probetas cilíndricas fue el siguiente: se rellenó el concreto a cada tercio, se realizó el varillado en espiral para evitar la segregación del concreto, luego se realizaron los golpes con el martillo de goma, se repitió este procedimiento por las tres capas y por último se agregó un poco de concreto para el enrasado final (ver referencias en ASTM C192). Los moldes se removieron al día siguiente de su preparación y fueron llevados cuidadosamente a una habitación de curado hasta los 28 días de su elaboración.

#### **4.2.6. ENSAYOS DEL CONCRETO FRESCO**

Una vez que se consideraron los ingredientes del concreto, examinaremos las propiedades del concreto fresco recién mezclado. Puesto que las propiedades en el largo plazo del concreto como resistencia, estabilidad del volumen y

durabilidad son severamente afectados por el grado de compactación, es esencial que la consistencia o manejabilidad del concreto fresco sean tales que el concreto pueda compactarse adecuadamente y ser transportado, colocado y acabado con la facilidad suficiente para que no segregue, lo cual perjudicaría la compactación. Por otro lado, el control de calidad del concreto fresco depende en primera instancia de los procedimientos de muestreo que permitan contar con porciones representativas, y luego, el conocimiento de las propiedades en este estado y las pruebas que lo evalúan. La Norma ASTM C-172, da las pautas a seguirse en el muestreo, y que consisten básicamente en:

El tiempo transcurrido entre la obtención de dos porciones para formar una muestra debe ser como máximo 15 min.

Las muestras deben transportarse al sitio donde se realizarán los ensayos o donde se moldearán probetas, teniendo que efectuarse un re-mezclado con lampa para uniformizar la mezcla luego del transporte.

Las pruebas de control de concreto fresco deben efectuarse a más tardar 5 min. después de obtenida la muestra.

El moldeo de probetas para ensayos de compresión debe iniciarse dentro de los 15 min. luego del muestreo.

El tiempo entre la obtención y el uso de la muestra debe ser el menor posible, cuidando en todo momento de protegerla del sol, el viento y otras fuentes de evaporación.

El tamaño mínimo de muestras para ensayos de compresión debe ser 1 pie<sup>3</sup>.

El muestreo de mezcladoras estacionarias o camiones mezcladores debe realizarse del tercio central de la carga, y en por lo menos dos porciones que se integrarán en una sola muestra.

El muestreo de concreto ya descargado se debe efectuar con por lo menos 5 porciones que se integran en una muestra. Es importante tener en cuenta que todas estas limitaciones están establecidas para que la muestra que se obtenga sea óptima desde el punto de vista estadística, y que si bien el incumplimiento de alguna de ellas no ocasiona un perjuicio aparente al concreto, sí puede estar afectando al resultado del control, y consecuentemente obtener un mal resultado de un buen concreto.

#### **4.2.7. ENSAYO DEL CONO DE ABRAMS - ASENTAMIENTO (NTP 339.035)**

El ensayo de slump proporciona información útil sobre la uniformidad de las mezclas y es una herramienta muy importante en el control de calidad del concreto fresco. Las

variaciones en el slump en varias mezclas de una misma dosificación indican que algún cambio ha ocurrido en las características físicas y granulometría de los agregados, el contenido de aire, la temperatura, el uso de aditivos.

***Equipos y Accesorios:***

Barra compactadora, recta de acero liso de 16 mm (5/8") de diámetro y aproximadamente 600 mm (24") de largo, con un extremo redondeado con forma de punta redondeada. En ningún caso se usa fierro corrugado.

Cono de Abrams, molde metálico con forma de tronco de cono hueco, con los dos círculos de las bases paralelos entre sí y formando ángulo recto con el eje del cono. El diámetro de la base inferior es 20 cm. y de 10 cm. en la base superior con un espesor mínimo de 1,5 mm y la altura del molde es de 30 cm. El molde está provisto de agarradores y aletas de pie.

**Procedimiento:**

Se coloca el molde sobre una superficie plana, manteniéndolo inmóvil pisando las dos aletas de pie del cono.

Se realiza el llenado del concreto en 3 capas de aproximadamente 1/3 del volumen del cono cada una y se compactan con 25 golpes, distribuyendo uniformemente los golpes en la sección transversal de cada capa.

Luego se llena el cono hasta los 2/3 del volumen total y se compacta de nuevo 25 veces, penetrando esta capa pero no atravesando hasta el fondo, sólo penetrando ligeramente en la capa inmediata inferior.

Se llena el cono en exceso y se compacta de nuevo con 25 golpes. Si después de compactar hubiera una deficiencia de material, se añade la cantidad necesaria para mantener un exceso por encima del molde.

Finalmente, se retira el exceso de concreto de la parte superior del cono utilizando la varilla de acero o la plancha de albañil y enrasar. Se limpia el concreto derramado en la base del cono y se levanta el mismo sin movimientos laterales o torsionales.

Para terminar se coloca la varilla de acero horizontalmente a lo largo del molde invertido de manera que la varilla se extienda hasta el concreto revenido. Se mide la distancia de la parte inferior de la varilla de acero al centro de la cara superior del concreto deformado.



**Figura 21.** Determinación del Asentamiento del Concreto fresco.  
Fuente: Elaboración Propia.

Determinación del asentamiento del Concreto Patrón:

*Tabla 14. Asentamiento del Concreto Patrón*

ENSAYO SLUMP		CONCRETO PATRON	
DESCRIPCION	MUESTRA 01	MUESTRA 02	MUESTRA 03
ASENTAMIENTO	3"	3 1/4"	2 3/4"
PROMEDIO :			3"

Fuente: Elaboración Propia.

Determinación del asentamiento del Concreto Adicionado con Fibras de Polietileno (Dosis óptima):

*Tabla 15. Asentamiento del Concreto Adicionado con Fibras de Polietileno*

ENSAYO SLUMP		CONCRETO CON FIBRAS	
DESCRIPCION	MUESTRA 01	MUESTRA 02	MUESTRA 03
ASENTAMIENTO	2 3/4"	2 1/2"	3"
PROMEDIO :			2 3/4"

Fuente: Elaboración Propia.

#### 4.2.8. CONTENIDO DE AIRE (NTP 339.036)

Toda mezcla de concreto tiene aire entrampado entre los materiales (agua, cemento y agregados). La cantidad de este aire depende de las propiedades físicas del agregado, del método de compactación y de las proporciones en que se han combinado los ingredientes en la mezcla. Generalmente este aire ocupa del 1% al 3% de volumen de la mezcla salvo que el concreto este expuesto a cambios bruscos de temperatura {congelarse y descongelarse), para lo cual se necesita incorporar aire mediante el uso de aditivos, por lo tanto el volumen de aire en la mezcla

aumentaría. Hay tres métodos para medir el contenido de aire total en el concreto fresco:

- a) Gravimétrico
- b) Volumétrico
- e) De presión

El método más confiable y exacto es el de presión, el cual se basa en la relación entre el volumen de aire y la presión aplicada (a una temperatura constante). No se necesita conocer las proporciones de la mezcla o las propiedades de los materiales, el porcentaje aire se obtiene directamente.

*Tabla 16. CONTENIDO DE AIRE - Patrón*

CONTENIDO DE AIRE		CONCRETO PATRON	
DESCRIPCION	MUESTRA 01	MUESTRA 02	MUESTRA 03
ASENTAMIENTO	1.70%	1.80%	1.60%
<b>PROMEDIO :</b>			<b>1.70%</b>

Fuente: Elaboración Propia.

*Tabla 17. CONTENIDO DE AIRE - Concreto Adicionado con Fibras de Polietileno*

CONTENIDO DE AIRE		CONCRETO CON FIBRAS	
DESCRIPCION	MUESTRA 01	MUESTRA 02	MUESTRA 03
ASENTAMIENTO	1.70%	1.60%	1.70%
<b>PROMEDIO :</b>			<b>1.67%</b>

Fuente: Elaboración Propia.

#### 4.2.9. ENSAYOS DEL CONCRETO ENDURECIDO

En el concreto endurecido se pueden realizar muchos ensayos de tipo destructivo y no destructivo para evaluar las

características en este estado, pero solo se tratará de los que se aplican en nuestro país y ciudad de manera rutinaria.

#### **4.2.10. ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN AXIAL (NTP 339.034)**

Consistió en aplicar una carga axial en compresión a los moldes cilíndricos en una velocidad tal que esté dentro del rango especificado antes que la falla ocurra. El esfuerzo a la compresión de la muestra está calculado por el cociente de la máxima carga obtenida durante el ensayo entre el área de la sección transversal de la muestra. Se aplicó la velocidad de carga continua y constante desde el inicio hasta producir la rotura de la probeta. Para poder apreciar el comportamiento de la resistencia del concreto respecto al tiempo, ensayamos probetas cilíndricas de 15 cm de diámetro y 30 cm de altura para edades de 7 y 28 días.

##### **Procedimiento:**

- Las probetas fueron ensayadas a las edades de 7 y 28 días.
- se llevó a cabo la medición de las probetas (diámetros)
- Previo al ensayo, se observó que las placas de carga y caras de ensayo se encuentren absolutamente limpias, y que la probeta se encuentre correctamente centrada entre las placas de carga.

- La carga se aplicó en forma continua, evitando choques. Se aplicó la velocidad de carga continua y constante desde el inicio hasta producir la rotura de la probeta.
- Luego se registró la carga máxima P.

**Expresión de resultados:**

La resistencia a la compresión de la probeta se calcula con la siguiente fórmula:

$$f'c = \frac{4 P}{\pi \cdot D^2}$$

Dónde:

f'c: Es la resistencia de rotura a la compresión (kg/cm<sup>2</sup>)

P : La carga máxima de rotura (kg)

D: Es el diámetro promedio de la probeta cilíndrica (cm).

Se presentan las resistencias de las probetas ensayadas:

*Tabla 18. Dosificación con Relación a/c=0.46 - Diseño Patrón*

<b>Dosificación con Relación a/c=0.46 - Diseño Patrón</b>		
<b>PDP</b>	<b>Resistencia Obtenida a los 7 días f' c (Kg/cm<sup>2</sup>)</b>	<b>Resistencia Obtenida a los 28 días f' c (Kg/cm<sup>2</sup>)</b>
Probeta 01	203.16	312.07
Probeta 02	209.74	314.60
Probeta 03	205.37	311.02
<b>f' c Promedio (Kg/cm<sup>2</sup>)</b>	<b>206.09</b>	<b>312.56</b>
<b>Desviación</b>	3.35	1.84

Fuente: Elaboración Propia.

**Tabla 19.** Dosificación con Relación a/c=0.46 - Diseño 01

Dosificación con Relación a/c=0.46 - Diseño N° 01		
PD1	Resistencia Obtenida a los 7 días f' c (Kg/cm2)	Resistencia Obtenida a los 28 días f' c (Kg/cm2)
Probeta 01	201.24	298.50
Probeta 02	195.15	295.75
Probeta 03	201.39	302.93
<b>f' c Promedio (Kg/cm2)</b>	<b>199.26</b>	<b>299.06</b>
<b>Desviación</b>	3.56	3.62

Fuente: Elaboración Propia.

**Tabla 20.** Dosificación con Relación a/c=0.46 - Diseño 02

Dosificación con Relación a/c=0.46 - Diseño N° 02		
PD2	Resistencia Obtenida a los 7 días f' c (Kg/cm2)	Resistencia Obtenida a los 28 días f' c (Kg/cm2)
Probeta 01	206.92	321.65
Probeta 02	201.59	317.43
Probeta 03	204.11	318.87
<b>f' c Promedio (Kg/cm2)</b>	<b>204.21</b>	<b>319.32</b>
<b>Desviación</b>	2.66	2.15

Fuente: Elaboración Propia.

**Tabla 21.** Dosificación con Relación a/c=0.46 - Diseño 03

Dosificación con Relación a/c=0.46 - Diseño N° 03		
PD3	Resistencia Obtenida a los 7 días f' c (Kg/cm2)	Resistencia Obtenida a los 28 días f' c (Kg/cm2)
Probeta 01	196.42	305.14
Probeta 02	200.81	308.02
Probeta 03	201.91	303.21
<b>f' c Promedio (Kg/cm2)</b>	<b>199.71</b>	<b>305.46</b>
<b>Desviación</b>	2.91	2.42

Fuente: Elaboración Propia.

**Tabla 22.** Dosificación con Relación a/c=0.46 - Diseño 04

Dosificación con Relación a/c=0.46 - Diseño N° 04		
PD4	Resistencia Obtenida a los 7 días f' c (Kg/cm2)	Resistencia Obtenida a los 28 días f' c (Kg/cm2)
Probeta 01	197.20	299.76
Probeta 02	191.66	295.98
Probeta 03	197.58	297.15
<b>f' c Promedio (Kg/cm2)</b>	<b>195.48</b>	<b>297.63</b>
<b>Desviación</b>	4.53	2.29

Fuente: Elaboración Propia.

#### 4.2.11. ENSAYO DE RESISTENCIA A LA FLEXIÓN O MÓDULO DE ROTURA (NTP 339.078)

La resistencia a la flexión se expresa como el Módulo de Rotura ( $M_r$ ) que consiste en ensayar una probeta de sección prismática de 15 cm. x 15 cm. x 54 cm., apoyándola sobre dos soportes separados 46 cm. y aplicando una carga a los tercios de la luz libre (a 15 cm. de cada extremo) hasta que la falla ocurra (véase la figura). Para poder apreciar el comportamiento de la resistencia del concreto respecto al tiempo, ensayamos viguetas para edades de 28 días.

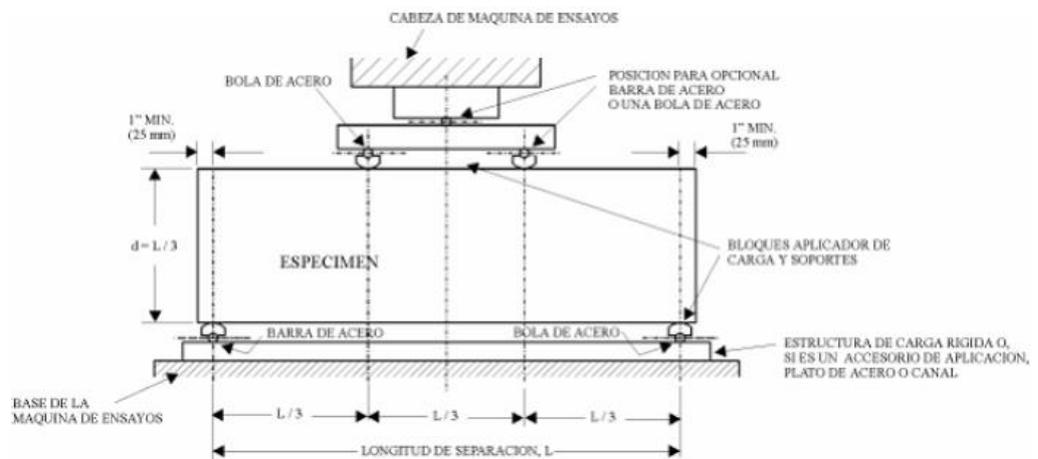


Figura 22. Esquema del equipo adecuado para el ensayo de flexión del concreto usando una viga simple cargada en los tercios de la luz.

#### Procedimiento:

1. Trazar rectas finas sobre las cuatro caras mayores que marquen las secciones de apoyo.
2. Verificar y registrar las dimensiones de la probeta, expresándola en cm.

3. Limpiar la superficie de las piezas de apoyo y de carga y las zonas de contacto de la probeta.
4. Colocar la probeta en la prensa de ensayo, y haciendo coincidir las líneas de trazado con las piezas de apoyo y de carga correspondientes.
5. Aplicar la carga a una velocidad que incremente constantemente la resistencia de la fibra extrema hasta producir la rotura de la viga.
6. Luego se registró la carga máxima P.

**Expresión de resultados:**

La fractura de la probeta se produce dentro del tercio central de la luz de ensayo, se calcula la resistencia a la tracción por flexión como módulo de rotura según la fórmula siguiente:

Donde:

$$Mr = \frac{P L}{b h^2}$$

Mr : Es el módulo de rotura (kg/cm<sup>2</sup> )

P : Es la carga máxima de rotura (kg)

L : Es la luz libre entre apoyos (cm)

b : Es el ancho promedio de la probeta en la sección de falla (cm)

h : Es la altura promedio de la probeta en la sección de falla (cm)

Se presentan los Módulos de Roturas de las Vigas ensayadas:

**Tabla 23.** Dosificación con Relación  $a/c=0.46$  - Diseño Patrón – Módulo de rotura

Dosificación con Relación $a/c=0.46$ - Diseño Patrón			
VDP	Viga 01	Viga 02	Viga 03
Módulo de Rotura (Kg/cm <sup>2</sup> )	40.71	41.27	40.81
Módulo de Rotura Promedio (Kg/cm <sup>2</sup> )	40.93		
Desviación	0.30		

Fuente: Elaboración Propia.

**Tabla 24.** Dosificación con Relación  $a/c=0.46$  - Diseño 01 – Módulo de rotura

Dosificación con Relación $a/c=0.46$ - Diseño N° 01			
VD1	Viga 01	Viga 02	Viga 03
Módulo de Rotura (Kg/cm <sup>2</sup> )	40.68	40.31	42.32
Módulo de Rotura Promedio (Kg/cm <sup>2</sup> )	41.10		
Desviación	1.07		

Fuente: Elaboración Propia.

**Tabla 25.** Dosificación con Relación  $a/c=0.46$  - Diseño 02 – Módulo de rotura

Dosificación con Relación $a/c=0.46$ - Diseño N° 02			
VD2	Viga 01	Viga 02	Viga 03
Módulo de Rotura (Kg/cm <sup>2</sup> )	41.53	43.05	48.52
Módulo de Rotura Promedio (Kg/cm <sup>2</sup> )	44.37		
Desviación	3.68		

Fuente: Elaboración Propia.

**Tabla 26.** Dosificación con Relación  $a/c=0.46$  - Diseño 03 – Módulo de rotura

Dosificación con Relación $a/c=0.46$ - Diseño N° 03			
VD3	Viga 01	Viga 02	Viga 03
Módulo de Rotura (Kg/cm <sup>2</sup> )	47.98	45.17	46.71
Módulo de Rotura Promedio (Kg/cm <sup>2</sup> )	46.62		
Desviación	1.41		

Fuente: Elaboración Propia.

**Tabla 27.** Dosificación con Relación  $a/c=0.46$  - Diseño 04 – Módulo de rotura

Dosificación con Relación $a/c=0.46$ - Diseño N° 04			
VD4	Viga 01	Viga 02	Viga 03
Módulo de Rotura (Kg/cm <sup>2</sup> )	40.76	40.91	40.71
Módulo de Rotura Promedio (Kg/cm <sup>2</sup> )	40.79		
Desviación	0.11		

Fuente: Elaboración Propia.

### 4.3. PRUEBA DE HIPÓTESIS

#### 4.3.1. HIPÓTESIS GENERAL PLANTEADO.

Las fibras de polietileno influyen en el diseño, construcción y durabilidad de pavimento de concreto en la ciudad de Cerro de Pasco-2017.

#### 4.3.2. PRUEBA DEL HIPÓTESIS GENERAL PLANTEADO.

##### EFFECTO DE LA VARIABLE SOBRE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN AXIAL ( $f'c$ )

Como variable respuesta se evaluó la resistencia a la compresión axial ( $f'c$ ) a 28 días.

Tabla 28. Comparación de Resistencias Promedio de Compresión

Tabla Comparativa de Resistencias Promedio de Compresión Axial		
Diseño	Resistencia Promedio a los 7 días $f'c$ (Kg/cm <sup>2</sup> )	Resistencia Promedio a los 28 días $f'c$ (Kg/cm <sup>2</sup> )
Diseño Patrón - PDP	206.09	312.56
Diseño con Fibra N° 01 - PD1	199.26	299.06
Diseño con Fibra N° 02 - PD2	204.21	319.32
Diseño con Fibra N° 03 - PD3	199.71	305.46
Diseño con Fibra N° 04 - PD4	195.48	297.63

Fuente: Elaboración Propia.

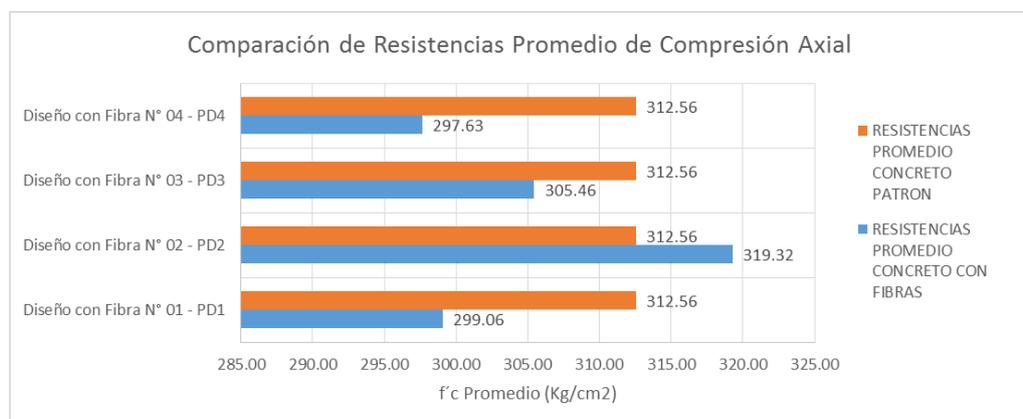


Gráfico 5. Comparación de Resistencias Promedio de Compresión

Fuente: Elaboración Propia.

Para interpretar los resultados del experimento, es conveniente construir una gráfica de las respuestas promedio para diseño ensayadas a 28 días.

La gráfica muestra una mayor resistencia a la compresión axial cuando la edad es de 28 días y el tipo de concreto es el de Diseño con Fibras PD2 (Probetas Diseño N° 03) concreto reforzado con fibras de polietileno en una dosis igual a 1.00 Kg/m<sup>3</sup> de concreto, resultando ser un promedio de 319.32 kg/cm<sup>2</sup> con respecto al concreto patrón (sin adición de fibras)

### **EFFECTO DE LAS VARIABLES SOBRE LA RESISTENCIA A LA FLEXIÓN (MR)**

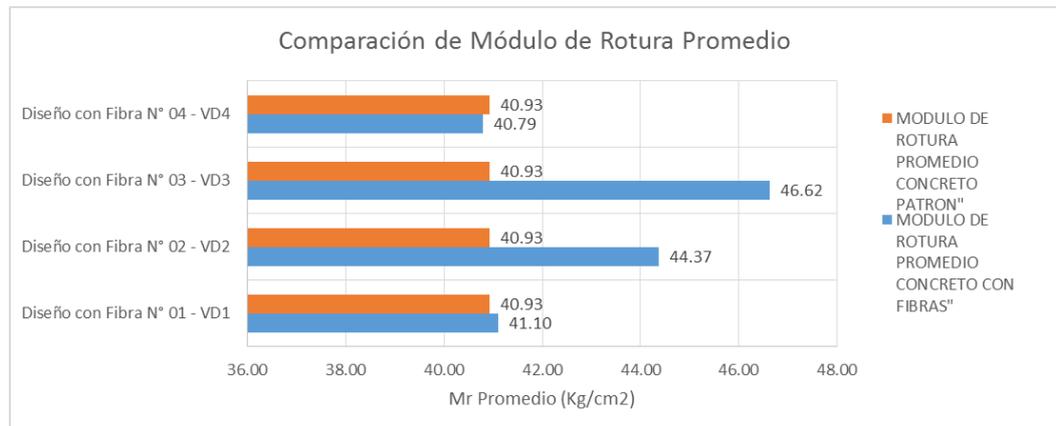
Como variable respuesta se evaluó el Modulo de Rotura (Mr) a 28 días.

*Tabla 29. Comparación del Módulo de Rotura Promedio*

<b>Tabla Comparativa del Módulo de Rotura Promedio</b>	
<b>Diseño</b>	<b>Módulo de Rotura Promedio a los 28 días Mr (Kg/cm<sup>2</sup>)</b>
Diseño Patrón - VDP	40.93
Diseño con Fibra N° 01 - VD1	41.10
Diseño con Fibra N° 02 - VD2	44.37
Diseño con Fibra N° 03 - VD3	46.62
Diseño con Fibra N° 04 - VD4	40.79

Fuente: Elaboración Propia.

Para interpretar los resultados del experimento, es conveniente construir una gráfica de las respuestas promedio para diseño ensayadas a 28 días.



**Gráfico 6.** Comparación del Módulo de Rotura Promedio  
**Fuente:** Elaboración Propia.

La gráfica muestra un mayor Módulo de Rotura, cuando la edad es de 28 días y el tipo de concreto es el de Diseño con Fibras VD3 (Viga Diseño N° 03) concreto reforzado con fibras de polietileno en una dosis igual a 1.50 Kg/m<sup>3</sup> de concreto, resultando ser un promedio de 46.62 kg/cm<sup>2</sup> con respecto al concreto patrón (sin adición de fibras)

#### 4.4. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

##### 4.4.1. DISEÑO DE LA ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO (CASO APLICATIVO AV. 28 DE JULIO-CHAUPIMARCA-C. DE P.)

El pavimento es una estructura de capas que se coloca sobre el terreno natural debidamente acondicionado, con el objetivo de mejorar las condiciones de transitabilidad, haciendo que el flujo vehicular sea más cómodo y económico. Asimismo, el pavimento mejora las características de resistencia del terreno ante la penetración, disminuyendo las magnitudes de los asentamientos ante la aplicación de las cargas de tráfico a

través de las ruedas. En el presente estudio se proyecta pavimentar Las siguientes vías:

*Tabla 30. Vía para aplicación*

VIA PARA APLICACIÓN	LONG.	ANCHO PROM
AVENIDA 28 DE JULIO TRAMO AV. CIRCUNVALACION TUPAC AMARU - AV. AREQUIPA	209.20 ml	9.52 ml

Fuente: Elaboración Propia.

Estas vías se encuentran dentro del casco urbano del distrito de Chaupimarca que es jurisdicción de la Municipalidad Provincial de Pasco, considerando un adecuado sistema de drenaje (cunetas de evacuación pluvial).

#### **4.4.2. FACTORES DE DISEÑO DE PAVIMENTOS**

Un pavimento de concreto o pavimento rígido consiste básicamente en losas de concreto simple o reforzado, apoyadas directamente sobre una capa base o sub-base. La losa de concreto, de alta resistencia a la flexión y al desgaste, funciona como una súper-carpeta y base, simultáneamente. Por su alta rigidez y alto módulo elástico, tiene un comportamiento de elemento estructural de viga. Absorbe prácticamente toda la carga.

El cálculo del espesor de diseño del pavimento de concreto hidráulico utilizando la ecuación AASHTO es función de los siguientes factores, los principales son:

- Desviación estándar Normal y Global ( $Z_r$ ) ( $S_o$ )

- Índice de serviciabilidad inicial (Po)
- Índice de serviciabilidad final (Pt)
- Módulo de Rotura (Sc)
- Coeficiente de transferencia de carga (J)
- Coeficiente de drenaje (Cd)
- Módulo de Elasticidad del Concreto (E c)
- Módulo de Reacción del Sub grado (k)
- Eje de carga equivalente de 18 kips (W18) para el periodo analizado.

#### A. DESVIACIÓN ESTÁNDAR NORMAL (Zr)

Los Valores de la desviación estándar normal, Zr, correspondientes a los niveles de confiabilidad, R, se muestran en la siguiente tabla.

*Tabla 31. Desviación estándar normal*

<b>Confiabilidad, R, en porcentaje</b>	<b>Desviación estándar normal, ZR</b>
50	-0.000
60	-0.253
70	-0,524
75	-0,674
80	-0,841
85	-1,037
90	-1,282
91	-1,340
92	-1,405
93	-1,476
94	-1,555
95	-1,645
96	-1,751
97	-1,881
98	-2,054
99	-2,327
99.9	-3,090
99.99	-3,750

Fuente: Elaboración Propia.

Los niveles sugeridos de confiabilidad de acuerdo a la clasificación funcional del camino se muestran en el cuadro siguiente.

*Tabla 32. Nivel de confiabilidad*

Clasificación funcional	Nivel de confiabilidad, R, recomendado	
	Urbana	Rural
Interestatales y vías rápidas	85 – 99,9	80 – 99,9
Arterias principales	80 – 99	75 – 95
Colectoras	80 – 95	75 – 95
Locales	50 – 80	50 – 80

Fuente: Elaboración Propia.

La confiabilidad en el diseño (R) puede ser definida como la probabilidad de que la estructura tenga un comportamiento real igual o mejor que el previsto durante la vida de diseño adoptada.

Cada valor de R está asociado estadísticamente a un valor del coeficiente de STUDENT ( $Z_R$ ). A su vez,  $Z_R$  determina, en conjunto con el factor "So", un factor de confiabilidad.

#### **B. DESVIACIÓN ESTÁNDAR GLOBAL (So)**

La desviación normal del error estándar combinado en la estimación de los parámetros de diseño y el comportamiento del pavimento (modelo de deterioro) para pavimentos rígidos oscila en el siguiente rango  $0,30 < So < 0,40$ , pero se recomienda usar 0.37 - 0.38.

#### **C. ESPESOR, EN PULGADAS, DE LA LOSA DE CONCRETO**

Es la incógnita a determinar.

**D. DIFERENCIA ENTRE EL ÍNDICE DE SERVICIABILIDAD INICIAL,  $P_o$  , Y EL ÍNDICE DE SERVICIABILIDAD TERMINAL DE DISEÑO,  $P_t$  ( $\Delta PSI$ )**

El índice de serviciabilidad presente es un sistema de calificación (evaluación) del pavimento que oscila entre 0 (pavimento imposible de transitar) y 5 (pavimento perfecto).

$P_o = 3,5$ - (3,5 es la máxima calificación lograda en la AASHO Road Test para pavimento rígido).

$P_t$  = índice más bajo que puede tolerarse antes de realizar una medida de rehabilitación = 2,5+ para carreteras con un volumen de tráfico alto ó 2,0+ para carreteras con un volumen menor.

Valores tomados  $P_o = 4.2$  y  $P_t = 2$

**E. MODULO DE ROTURA DEL CONCRETO (MR)**

La resistencia del concreto a la flexión es considerada como el módulo de rotura (MR) en Kg/cm<sup>2</sup>, que en el diseño asume el criterio de fatiga, que controla el agrietamiento del pavimento bajo las cargas repetitivas de los camiones.

Este módulo se incrementa conforme pasa el tiempo, pero comúnmente se toma como la resistencia promedio a los 28 días, mediante la siguiente relación.

$$MR = 0.15 f'c$$

Donde:

$f'c = 210$  (Kg/cm<sup>2</sup>) Resistencia a la compresión a los 28 días (Kg/cm<sup>2</sup>).

- Se tendrán valores Módulo de Rotura de Diseño Patrón igual a: Mr (Diseño Patrón) =40.93 Kg/cm<sup>2</sup>=582.16 psi.
- Se tendrán valores Módulo de Rotura de Diseño con Fibra igual a: Mr (Diseño N° 03) =46.62 Kg/cm<sup>2</sup>= 663.09 psi.

#### **F. COEFICIENTE DE TRANSFERENCIA DE CARGA (J)**

La capacidad de carga representa la capacidad de un pavimento de hormigón de transferir parte de las cargas solicitantes a través de las juntas transversales.

La eficiencia de la transferencia de carga depende de múltiples factores y tiende a disminuir durante la edad con las repeticiones de carga.

Dentro de los factores más importantes de eficiencia se pueden mencionar los siguientes:

- Existencia de dispositivos especiales de transferencia de carga. Esto es, pasadores y pasa juntas.
- Interacción de las caras de la junta transversal. Para el caso de no existir dispositivos especiales puede existir transferencia por roce entre las caras de la junta. Su eficiencia depende básicamente de la abertura de la junta y de la angulosidad de los agregados.

El efecto de transferencia de carga se considera en conjunto con el sistema de hombros, a través de un coeficiente J, cuyos valores se indican en la siguiente tabla:

*Tabla 33. Dispositivo de transferencia*

Hombros de Dispositivo de transferencia	Asfalto		Concreto	
	Si	No	Si	No
Pavimento con juntas simples y juntas reforzadas	3,2	3,8 – 4,4	2,5 – 3,4	3,6 – 4,2

Fuente: Elaboración Propia.

### G. COEFICIENTE DE DRENAJE (Cd)

Este coeficiente es función de las condiciones de drenaje predominantes y de la precipitación media anual.

Los coeficientes de drenaje recomendado se muestran en el siguiente cuadro.

*Tabla 34. Porcentaje del tiempo en que la estructura de pavimento está expuesta a niveles de humedad cercanos a la saturación*

Calidad del drenaje	Porcentaje del tiempo en que la estructura de pavimento está expuesta a niveles de humedad cercanos a la saturación			
	Menos de 1%	1 – 5%	5 – 25%	Más del 25%
Excelente	1,25 – 1,20	1,20 – 1,15	1,15 – 1,10	1,10
Buena	1,20 – 1,15	1,15 – 1,10	1,10 – 1,00	1,00
<b>Regular</b>	<b>1,15 – 1,10</b>	<b>1,10 – 1,00</b>	<b>1,00 – 0,90</b>	<b>0,90</b>
Pobre	1,10 – 1,00	1,00 – 0,90	0,90 – 0,80	0,80
Deficiente	1,00 – 0,90	0,90 – 0,80	0,80 – 0,70	0,70

Fuente: Elaboración Propia.

La calidad del drenaje se define en términos del tiempo en que el agua tarda en ser eliminada de la capa sub-base, estas relaciones se muestran en el siguiente cuadro:

Tabla 35. Calidad del drenaje

Calidad del drenaje	Agua eliminada en
Excelente	2 horas
Buena	1 día
Regular	1 semana
Pobre	1 mes
Deficiente	Agua no drena

Fuente: Elaboración Propia.

Para calcular el tiempo en que el agua es eliminada será necesario conocer la permeabilidad,  $k$ , pendientes, espesor, DSB del material a utilizar como capa sub-base.

#### H. MÓDULO DE ELASTICIDAD, EN PSI, DEL CONCRETO DE CEMENTO PÓRTLAND ( $E_c$ ).

Para concretos de peso normal se puede utilizar la siguiente correlación en función de la resistencia a la compresión simple (PSI) a los 28 días:

$$E_c = 57000 * (f'_c)^{0.5}$$

$$E_c \text{ (Diseño } f'_c = 280 \text{ Kg/cm}^2) = 57000 * (3982.54)^{0.5} = 3597120.02$$

- $E_c$  (Diseño Patrón) = 3800514.56
- $E_c$  (Diseño N° 03) = 3841393.189

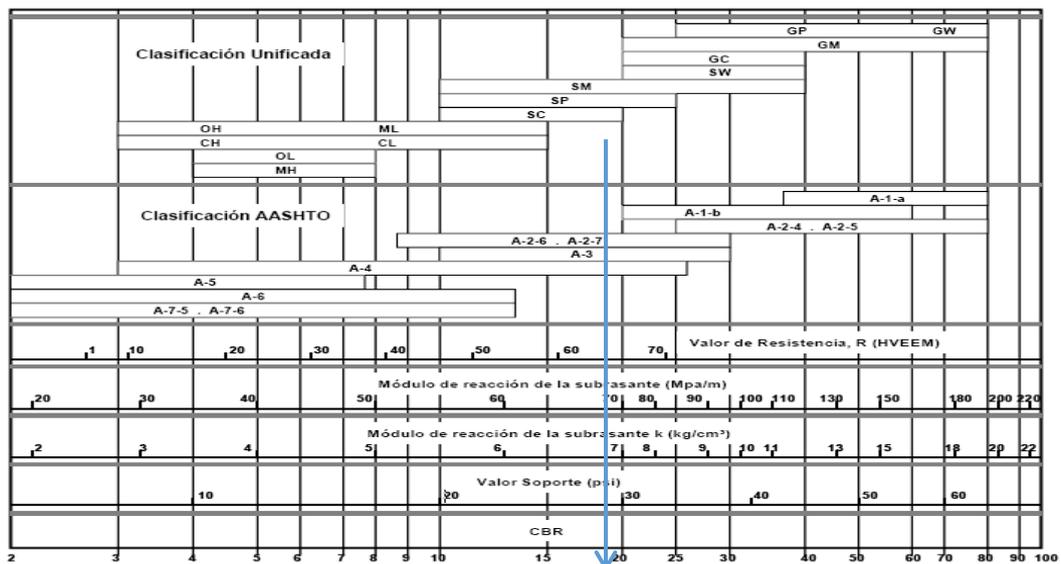
#### I. MÓDULO DE REACCIÓN DEL SUBGRADO (K)

El soporte del sub grado y la sub-base está definido en términos del módulo de reacción del sub grado de Westergaard ( $k$ ). Este es igual a la carga en libras por pulgada cuadrada sobre un área cargada (placa de 30" de diámetro) dividida entre la deflexión en pulgadas para esa carga (ASTM D1196).

Los valores de k pueden expresarse en Psi/in (libras por pulgada cuadrada por pulgada) o pci (libras por pulgada cúbica). Debido a que la prueba de placa es costosa, usualmente, el valor k se estima a partir de pruebas más simples como la del CBR (ASTM D1883). El resultado es válido ya que no se requiere una determinación exacta del valor k; las variaciones normales a partir de un valor estimado no afectarán apreciablemente el espesor requerido.

Por ello se recomienda usar las correlaciones con otros ensayos simples como la Razón de Soporte de California (CBR) o clasificación de suelos, con resultados válidos, entonces ya que no se requiere un valor exacto de k. Se proporciona las correlaciones que se reproducen en la siguiente figura.

**Correlación aproximada entre la clasificación de los suelos y los diferentes ensayos**



Fuente: Generado por el Consultor

Fuente: Elaboración Propia.

Del estudio de mecánica de suelos las calicatas 1 y 2 se clasifican como:

- SUCS = SC
- AASHTO = A-2-6

Teniendo un valor aproximado de  $k = 26$  psi

#### **J. EJE DE CARGA EQUIVALENTE DE 18 Kips (W18)**

Datos requeridos:

- $D$  = espesor de losa de concreto asumido, in
- ADT = tránsito promedio diario en vpd.
- $t$  = periodo de diseño en años
- $g$  = incremento anual del crecimiento del tráfico
- $n$  = número de carriles
- DL = factor de distribución por carril
- DD = distribución direccional crítica

Composición del tráfico (tipos de ejes de carga y su respectivo porcentaje de distribución en el ADT). De acuerdo al MTC y del estudio de tráfico se tiene el tipo de tráfico pesado expresado en ejes equivalentes tipo Tp1  $EE > 150000$  EE

#### **K. PERIODO DE DISEÑO**

El período de diseño es el período de análisis de tráfico, es el tiempo en que se puede predecir el comportamiento del tráfico.

Comúnmente es difícil pronosticar la variación del parque automotor para un tiempo muy largo, por cuya razón se tomó como el período de diseño como 20 años.

El período de diseño seleccionado afecta el espesor de diseño, pudiendo resultar antieconómico para tiempos mayores, a pesar que la vida útil del pavimento puede ser mayor.

#### **L. TRAFICO**

El factor tráfico se expresa en la cantidad y los pesos de las cargas axiales pesadas esperadas durante el período de diseño.

Este se deriva de las estimaciones de:

- Tráfico promedio diario de todos los vehículos en ambas direcciones (average daily traffic - ADT).
- Tráfico promedio diario de camiones en ambas direcciones (average daily truck traffic - ADTT).
- Cargas axiales de camiones. Proyección

En un caso práctico, el ADT de diseño se obtiene multiplicando el ADT actual por un factor de proyección que a su vez es función de la tasa de crecimiento del parque automotor.

El factor de crecimiento así obtenido comúnmente es con la fórmula del interés compuesto, que arroja datos como los mostrados a continuación para un período de diseño de 20 años.

## **M. BERMAS - SARDINELES - DOWELS**

La presencia de las bermas y sardineles ayudan a evitar el bombeo en los suelos de fundación, disminuyendo el efecto de la erosión. Del mismo modo se usará Juntas con Trabazón de Agregados, por el bajo tráfico vehicular.

### **4.4.3. CALCULO DEL ESPESOR DEL PAVIMENTO**

#### **CALCULO DEL ESPESOR DE PAVIMENTO CON MODULO DE ROTURA DE DISEÑO PATRON**

- $M_r$  (Diseño Patrón)=40.93 Kg/cm<sup>2</sup>=582.16 psi.
- $E_c$  (Diseño Patrón)=57000\*( 4445.64818)  
 $^{0.5}=3800514.56$

#### **CALCULO DEL ESPESOR DE PAVIMENTO CON MODULO DE ROTURA DE DISEÑO CON FIBRAS**

- $M_r$  (Diseño N° 03)=46.62 Kg/cm<sup>2</sup>= 663.09 psi.
- $E_c$  (Diseño N° 03)= 3841393.18959

El diseño del espesor del pavimento se realizará mediante el uso del Programa DISEÑO DE PAVIMENTOS versión 1.00 método ASSHTO. Previamente se establecerán todos los datos de ingreso conforme los numerales del título anterior.

### **4.4.4. DISEÑO GEOMETRICO Y DISTRIBUCION DE JUNTAS**

Uno de los aspectos importantes para que el diseño de pavimentos óptimos es lo relacionado con la geometría en planta y la distribución de las juntas, para evitar la aparición de grietas

por el efecto de contracción del concreto, efectos térmicos y la transferencia de cargas entre paños adyacentes.

Existiendo los tipos de juntas; de contracción, longitudinales, de expansión, cuyos diseños se muestran en el plano de detalles. Además, en este plano se proporciona el detalle de la junta de construcción, que es usado cuando por alguna razón de fuerza mayor se tenga que suspender los trabajos, caso contrario se debe coincidir con la ubicación de las otras juntas.

#### 4.5. ANÁLISIS COMPARATIVO DE LOS RESULTADOS

Una vez ingresado todos los datos necesarios al programa Ecuación AASHTO 93, nos da como resultado un espesor del pavimento de:

Con valores de las propiedades del Concreto Patrón tenemos:

$$6.9 \text{ pulgadas} = 17.526 \text{ cm} = 20 \text{ cm}$$

Tipo de Pavimento		Confianza (R) y Desviación estándar (So)	
<input type="radio"/> Pavimento flexible	<input checked="" type="radio"/> Pavimento rígido	90 % Zr=-1.282	So 0.38
Serviciabilidad inicial y final		Módulo de reacción de la subrasante	
PSI inicial 4.2	PSI final 2	k 26 pci	
Información adicional para pavimentos rígidos			
Módulo de elasticidad del concreto - Ec (psi)	3597120.02	Coeficiente de transmisión de carga - (J)	2.5
Módulo de rotura del concreto - Sc (psi)	582.16	Coeficiente de drenaje - (Cd)	1.15
Tipo de Análisis		Espesor de losa (plg)	
<input checked="" type="radio"/> Calcular D	W18 = 1500000	D =	6.9
<input type="radio"/> Calcular W18			
Calcular		Salir	

Fuente: Elaboración Propia

Con valores de las propiedades del Concreto con Fibras (Diseño N° 03), tenemos:

$$6.4 \text{ pulgadas} = 16.256 \text{ cm} = 15.0 \text{ cm}$$

The screenshot shows the 'Ecuación AASHTO 93' software interface. The window title is 'Ecuación AASHTO 93'. The interface is divided into several sections:

- Tipo de Pavimento:** Radio buttons for 'Pavimento flexible' and 'Pavimento rígido'. 'Pavimento rígido' is selected.
- Confiabilidad (R) y Desviación estándar (So):** A dropdown menu shows '90 % Zr=-1.282' and a text box shows 'So = 0.38'.
- Serviciabilidad inicial y final:** Text boxes for 'PSI inicial' (4.2) and 'PSI final' (2).
- Módulo de reacción de la subrasante:** Text box for 'k' (26) and 'pci'.
- Información adicional para pavimentos rígidos:** Text boxes for 'Módulo de elasticidad del concreto - Ec (psi)' (3597120.02), 'Módulo de rotura del concreto - Sc (psi)' (663.09), 'Coeficiente de transmisión de carga - (J)' (2.5), and 'Coeficiente de drenaje - (Cd)' (1.15).
- Tipo de Análisis:** Radio buttons for 'Calcular D' and 'Calcular w18'. 'Calcular D' is selected. A text box shows 'W18 = 1500000'.
- Espesor de losa (plg):** Text box for 'D = 6.4'.
- Buttons:** 'Calcular' and 'Salir' buttons at the bottom.

Fuente: Elaboración Propia.

## CONCLUSIONES

1. Las fibras de polietileno influyen en el mejoramiento de las propiedades mecánicas del concreto, mediante la adición de fibras obtenidas de botellas plásticas recicladas, se realizó diferentes proporciones que son de 0.00 Kg, 0.50 Kg, 1.00 Kg, 1.50 Kg y 2.00 Kg por metro cubico de concreto logrando un aumento del Mr en un 114% en relación al concreto patrón.
2. Con la adición de fibras recicladas, obtenidas de botellas de polietileno en forma de fibras, en dosis diferentes se observa que añadiendo 1.50 Kg/m<sup>3</sup> de concreto obtenemos la dosis optima de fibra dotando de mayor capacidad a flexión en relación al concreto patrón.
3. En el diseño estructural del pavimento rígido, la calidad de la sub rasante acarrea en gran medida los espesores de la estructura, siendo:

CAPAS	SIN ADICION DE FIBRAS	CON ADICION DE FIBRAS
SUBRASANTE	8 pulgadas	8 pulgadas
PAVIMENTO RIGIDO	6.9 pulgadas	6.4 pulgadas

4. Al realizar una evaluación económica se aprecia la comparación de costos en la vía de aplicación.

PRESUPUESTO PAVIMENTO RIGIDO	
CONCRETO PATRON	S/. 139,570.21
CONCRETO CON FIBRAS	S/. 129,452.96

Se observa que existe una diferencia de S/ 10,117.25 soles, tomando como base el área de la vía de aplicación mencionado líneas arriba.

## RECOMENDACIONES

1. Para futuros estudios en esta misma línea de investigación de fibras de polietileno, se recomienda que la terminación de cada fibra debería ser picada, para incrementar la adherencia del concreto y la fibra.
2. Se recomienda el uso de esta alternativa desde el punto de vista ambiental, debido a que genera disminución de los residuos sólidos.
3. Es requisito indispensable contar con estudios de materiales del concreto y de suelos, para poder conocer las propiedades físicas, para poder diseñar una mezcla.
4. Se recomienda a las empresas constructoras de vías de transporte usar estas fibras, ya que se obtienen de materiales reciclables y representan un ahorro significativo.

## REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA

1. Pasquel Carbajal (1998-1999). Tópicos De Tecnología De Concreto En El Perú", Capitulo De Ingeniería Civil, Consejo Departamental Lima, p 11-25.
2. Yang h. Huang (2004). Pavement analysis and desing (Second edition). University of Kentucky. EE.UU.
3. CE.010, P. H. (2010). Reglamento Nacional de Edificaciones (4ta ed.). Lima: GE Megbyte.
4. EG-2013. (2013). Especificaciones Técnicas Generales para Construcción (Vol. I). Lima: MTC.
5. Glosario vial, 2. (2013). Glosario de términos de uso frecuente en proyectos de infraestructura vial. Lima: MTC.
6. Menéndez, J. R. (2013). Ingeniería de Pavimentos: diseño y gestión de pavimentos (1°Ed.). Lima, Perú: imprenta ICG.
7. Vivar R., G. (1995). Diseño y Construcción de Pavimentos (2da ed., Vol. Libro 6). Lima: Colección del Ingeniero Civil - CIP.
8. Reyes L., F. A. (2003). Diseño Racional de Pavimentos (1ra ed.). Bogotá: Centro Editorial Javeriano CEJA.
9. Montejo, A. (2002). Ingeniería de Pavimentos para Carreteras (2° Ed.). Bogotá, Colombia: Universidad Nacional de Colombia ediciones y publicaciones.

10. Nicholas J., G., & Lester A., H. (2005). Ingeniería de Transito y Carreteras (3ra ed.). México: Thomson Editores S.A. de C.V.
11. Rico, A., Del Castillo, H. (2005). La Ingeniería de Suelos en las Vías Terrestres Carreteras, Ferrocarriles y Aeropistas (Vol. 1). México: Editorial Limusa S.A.

## **ANEXOS**

**ANEXO N° 01** - Estudio para la caracterización de los agregados.

**ANEXO N° 02** - Diseño de Mezclas del Concreto (Método ACI 211).

**ANEXO N° 03** - Panel Fotográfico.

**ANEXO N° 04** – Ensayos al Concreto Endurecido.

## ANEXO N° 01 - Estudio para la caracterización de los agregados.

	<b>REGISTRO DE ENSAYO DE LABORATORIO</b> <b>CONTROL DE CALIDAD</b>		 
	<b>ANALISIS GRANULOMETRICO DEL AGREGADO FINO (ARENA SEGUNDA)</b> <b>ASTM C136 / NTP 400.037</b>		
<b>NOMBRE DE PROYECTO:</b> Tesis "EVALUACIÓN DE LA INFLUENCIA DE LAS FIBRAS DE POLIETILENO EN EL DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y DURABILIDAD DE PAVIMENTO DE CONCRETO EN LA CIUDAD DE CERRO DE PASCO - 2017"		<b>ASESOR:</b> ING. PAUL MIRKO RODRIGUEZ ROJAS	
<b>TESISTA:</b> PABLO LUIS, Josué David		<b>MUESTRA:</b> Agregado Fino M-01	
<b>CANTERA:</b> SAN ANTONIO-SACRAFAMILIA-PASCO		<b>PESO M-01=</b> 1,520.50 g.	<b>FECHA DE MUESTREO:</b> 22/09/2017
		Revisión: 1 Fecha: 26/09/17 Página: 1 de 3	

Malla	Peso Ret. (gr)	Peso Ret. (%)	Peso Ret. Acum. (%)	% Pasa Acum.
4"	101.60 mm	0.00	0.00	100.00
3 1/2"	88.90 mm	0.00	0.00	100.00
3"	76.20 mm	0.00	0.00	100.00
2 1/2"	63.50 mm	0.00	0.00	100.00
2"	50.80 mm	0.00	0.00	100.00
1 1/2"	38.10 mm	0.00	0.00	100.00
1"	25.40 mm	0.00	0.00	100.00
3/4"	19.05 mm	0.00	0.00	100.00
1/2"	12.70 mm	0.00	0.00	100.00
3/8"	9.53 mm	24.00	1.58	98.42
# 4	4.75 mm	254.00	16.71	81.72
# 8	2.36 mm	375.00	24.66	57.05
# 16	1.18 mm	315.00	20.72	36.34
# 30	0.59 mm	296.00	19.47	16.87
# 50	0.30 mm	168.00	11.05	5.82
# 100	0.15 mm	53.30	3.51	2.32
# 200	0.07 mm	19.70	1.30	1.02
Fondo		15.50	1.02	0.00
				100.00

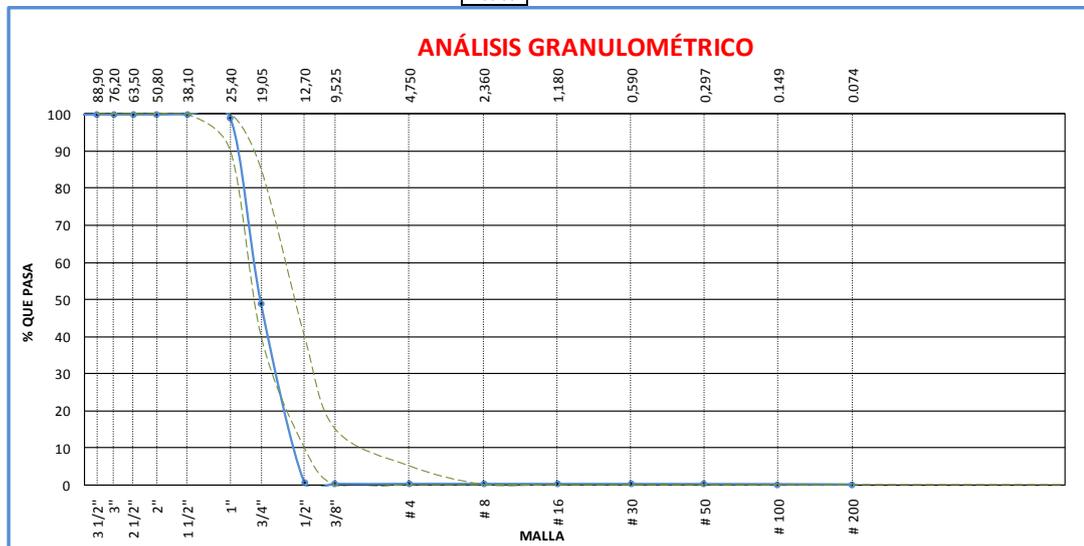


Tabla : Granulometría Agregado Fino

Autor : Autor de la Tesis

<b>NOMBRE DE PROYECTO:</b> Tesis "EVALUACIÓN DE LA INFLUENCIA DE LAS FIBRAS DE POLIETILENO EN EL DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y DURABILIDAD DE PAVIMENTO DE CONCRETO EN LA CIUDAD DE CERRO DE PASCO - 2017"		<b>ASESOR:</b> ING. PAUL MIRKO RODRIGUEZ ROJAS	Revisión: 1
<b>TESISTA:</b> PABLO LUIS, Josué David		<b>MUESTRA:</b> Agregado Grueso M-01	Fecha: 28/09/17
<b>CANTERA:</b> SAN ANTONIO-SACRAFAMILIA-PASCO		<b>PESO M-01=</b> 2,040.00 g.	<b>FECHA DE MUESTREO:</b> 22/09/2017
			Página: 1 de 3

Malla	Peso Ret. (gr)	Peso Ret. (%)	Peso Ret. Acum. (%)	% Pasa Acum.
4"	101.60 mm	0.00	0.00	100.00
3 1/2"	88.90 mm	0.00	0.00	100.00
3"	76.20 mm	0.00	0.00	100.00
2 1/2"	63.50 mm	0.00	0.00	100.00
2"	50.80 mm	0.00	0.00	100.00
1 1/2"	38.10 mm	0.00	0.00	100.00
1"	25.40 mm	0.00	0.00	100.00
3/4"	19.05 mm	87.00	4.23	95.77
1/2"	12.70 mm	978.00	47.51	48.27
3/8"	9.53 mm	550.00	26.72	21.55
# 4	4.75 mm	425.00	20.65	0.90
# 8	2.36 mm	6.70	0.33	99.42
# 16	1.18 mm	1.50	0.07	99.49
# 30	0.59 mm	1.20	0.06	99.55
# 50	0.30 mm	1.20	0.06	99.61
# 100	0.15 mm	1.80	0.09	99.70
# 200	0.07 mm	2.40	0.12	99.82
Fondo		3.80	0.18	100.00
				100.00

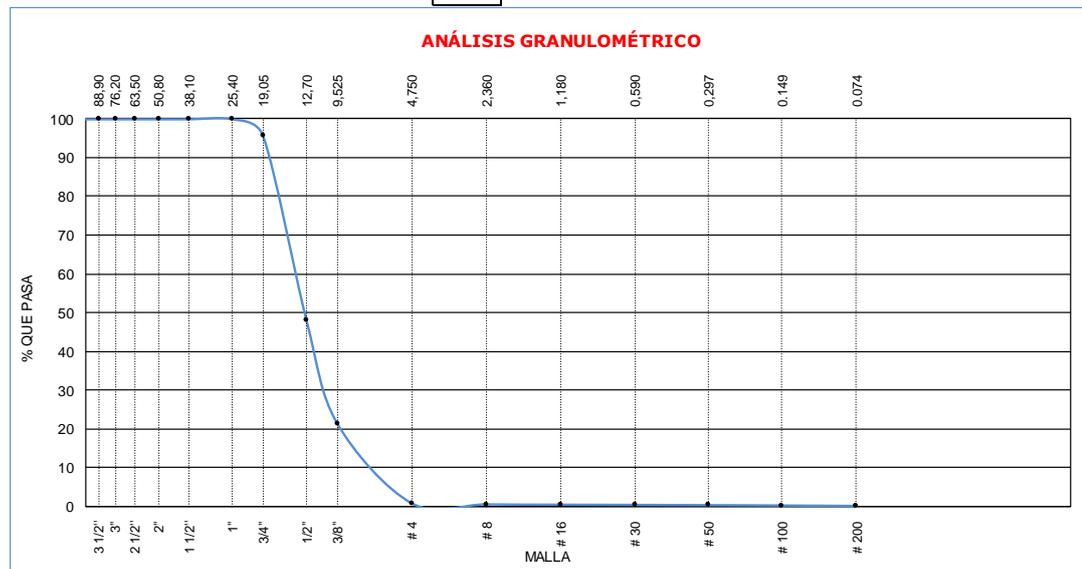


Tabla : Granulometría Agregado Grueso

Autor : Autor de la Tesis

PROYECTO:

Tesis "EVALUACIÓN DE LA INFLUENCIA DE LAS FIBRAS DE POLIETILENO EN EL DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y DURABILIDAD DE PAVIMENTO DE CONCRETO EN LA CIUDAD DE CERRO DE PASCO - 2017"

N° DE MUESTRA 1  
MATERIAL USADO PARA: CONCRETO  
FECHA DE MUESTRO: 22/09/2017

CANTERA: SAN ANTONIO  
UBICACIÓN: SACRA FAMILIA-PASCO  
FECHA DEL ENSAYO: 27/09/2017

PESO UNITARIO SUELTO (ASTM C 29)							
N°	DATOS		UND	M - 1	M - 2	M - 3	PROMEDIO
1	PESO DEL RECIPIENTE	A	kg	8.27	8.27	8.27	8.27
2	PESO DEL RECIPIENTE + MUESTRA	B	kg	32.50	32.85	33.35	32.90
3	PESO DE LA MUESTRA	B - A	kg	24.23	24.58	25.08	24.63
4	VOLÚMEN DEL RECIPIENTE	C	m <sup>3</sup>	0.014	0.014	0.014	0.0144
CÁLCULO							
5	PESO UNITARIO SUELTO (P.U.S.)	(B-A)/C	kg/m <sup>3</sup>	1686	1710	1745	1714

PESO UNITARIO COMPACTADO (ASTM C 29)							
N°	DATOS		UND	M - 1	M - 2	M - 3	PROMEDIO
1	PESO DEL RECIPIENTE	A	kg	8.27	8.27	8.27	8.27
2	PESO DEL RECIPIENTE + MUESTRA	B	kg	35.15	35.05	35.00	35.07
3	PESO DE LA MUESTRA	B - A	kg	26.88	26.78	26.73	26.79
4	VOLÚMEN DEL RECIPIENTE	C	m <sup>3</sup>	0.014	0.014	0.014	0.0140
CÁLCULO							
5	PESO UNITARIO COMPACTADO (P.U.C.)	(B - A)/C	kg/m <sup>3</sup>	1920	1913	1909	1914

PESO ESPECÍFICO (ASTM C 131)							
N°	DATOS		UND	M - 1	M - 2	M - 3	PROMEDIO
1	PMSH	A	gr	490.00	490.00	489.00	489.67
2	PPAH2O	B	gr	1286.00	1280.00	1287.00	1284.33
3	PPAH2O+PSSS	C	gr	1588.00	1586.00	1587.00	1587.00
4	PSSS	S	gr	500.00	500.00	500.00	500.00
CÁLCULO							
5	PESO ESPECÍFICO APARENTE	A/(B+S-C)	gr/cm <sup>3</sup>	2.47	2.53	2.45	2.48
6	PESO ESPECÍFICO APARENTE (S.S.S.)	A/(B+S-C)	gr/cm <sup>3</sup>	2.47	2.53	2.45	2.48
6	PESO ESPECÍFICO NOMINAL	A/(B+A-C)	gr/cm <sup>3</sup>	2.61	2.66	2.59	2.62

CONTENIDO DE HUMEDAD (w %)			
MUESTRA	P <sub>MN</sub>	P <sub>M SH</sub>	W%
M - 1	500.00	467.00	7.07%
M - 2	500.00	468.00	6.84%
M - 3	500.00	466.00	7.30%
W%PR O M EDIO			7.07%

ABSORCIÓN (Abs %) (ASTM C 131)			
MUESTRA	P <sub>PSSS</sub>	P <sub>M SH</sub>	Ab%
M - 1	500.00	498.00	0.40%
M - 2	500.00	498.00	0.40%
M - 3	500.00	499.00	0.20%
Ab%PR O M EDIO			0.33%

P<sub>MN</sub>: Peso de la Muestra Natural  
P<sub>M SH</sub>: Peso de la Muestra Seca al Horno  
P<sub>PSSS</sub>: Peso de la Muestra Superficialmente Seco  
P<sub>PAH2O</sub>: Peso del picnómetro aforado lleno de agua  
P<sub>PAH2O+MSSS</sub>: Peso total del picnómetro aforado con la muestra y lleno de agua

Tabla : Especificaciones del Agregado Fino

Autor : Autor de la Tesis



**LABORATORIO DE ENSAYO DE MECÁNICA DE SUELOS, MATERIALES Y CONCRETO**

**ESTUDIO DEL AGREGADO GRUESO (PIEDRA CHANCADA DE 1/2")**



PROYECTO: Tesis "EVALUACIÓN DE LA INFLUENCIA DE LAS FIBRAS DE POLIETILENO EN EL DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y DURABILIDAD DE PAVIMENTO DE CONCRETO EN LA CIUDAD DE CERRO DE PASCO - 2017"

N° DE MUESTRA: 1 CANTERA: CANTERA SACRA FAMILIA  
 MATERIAL USADO PARA: CONCRETO UBICACIÓN: SACRA FAMILIA-PASCO  
 FECHA DE MUESTRO: 22/09/2017 FECHA DEL ENSAYO: 01/10/2017

PESO UNITARIO SUELTO (ASTM C 29)							
N°	DATOS	UND	M - 1	M - 2	M - 3	PROMEDIO	
1	PESO DEL RECIPIENTE	A	kg	8.27	8.27	8.27	8.27
2	PESO DEL RECIPIENTE + MUESTRA	B	kg	27.05	27.60	27.70	27.45
3	PESO DE LA MUESTRA	B - A	kg	18.78	19.33	19.43	19.18
4	VOLÚMEN DEL RECIPIENTE	C	m <sup>3</sup>	0.014	0.014	0.014	0.0144
CÁLCULO							
5	PESO UNITARIO SUELTO (P.U.S.)	(B-A)/C	kg/m <sup>3</sup>	1307	1345	1352	1335

PESO UNITARIO COMPACTADO (ASTM C 29)							
N°	DATOS	UND	M - 1	M - 2	M - 3	PROMEDIO	
1	PESO DEL RECIPIENTE	A	kg	8.27	8.27	8.27	8.27
2	PESO DEL RECIPIENTE + MUESTRA	B	kg	30.35	30.75	30.25	30.45
3	PESO DE LA MUESTRA	B - A	kg	22.08	22.48	21.98	22.18
4	VOLÚMEN DEL RECIPIENTE	C	m <sup>3</sup>	0.014	0.014	0.014	0.0140
CÁLCULO							
5	PESO UNITARIO COMPACTADO (P.U.C.)	(B-A)/C	kg/m <sup>3</sup>	1577	1605	1570	1584

PESO ESPECÍFICO (ASTM C 131)							
N°	DATOS	UND	M - 1	M - 2	M - 3	PROMEDIO	
1	P <sub>M SH</sub>	A	gr	2465.00	2477.00	2450.00	2464.00
2	P <sub>SSS</sub>	B	gr	2500.00	2500.00	2500.00	2500.00
3	P <sub>SSS</sub> SUMERGIDO + CANASTILLA		gr	2400.00	2405.00	2395.00	2400.00
4	PESO DE LA CANASTILLA		gr	913.00	913.00	913.00	913.00
5	P <sub>SSS</sub> SUMERGIDO	C	gr	1487.000	1492.000	1482.000	1487.0000
CÁLCULO							
5	PESO ESPECÍFICO APARENTE	A/(B - C)	gr/cm <sup>2</sup>	2.43	2.46	2.41	2.43
6	PESO ESPECÍFICO APARENTE (S.S.S.)	A/(B - C)	gr/cm <sup>3</sup>	2.43	2.46	2.41	2.43
6	PESO ESPECÍFICO NOMINAL	A/(A - C)	gr/cm <sup>3</sup>	2.52	2.51	2.53	2.52

CONTENIDO DE HUMEDAD (w %)			
MUESTRA	P <sub>M N</sub>	P <sub>M SH</sub>	W%
M - 1	500.00	494.00	1.21%
M - 2	500.00	493.00	1.42%
M - 3	500.00	493.00	1.42%
W%PROMEDIO			1.35%

ABSORCIÓN (Abs %) (ASTM C 131)			
MUESTRA	P <sub>SSS</sub>	P <sub>M SH</sub>	Ab%
M - 1	2500.00	2465.00	1.42%
M - 2	2500.00	2487.00	0.52%
M - 3	2500.00	2450.00	2.04%
Ab%PROMEDIO			1.33%

P<sub>M N</sub>: Peso de la Muestra Natural  
 P<sub>M SH</sub>: Peso de la Muestra Seca al Horno  
 P<sub>SSS</sub>: Peso de la Muestra Superficialmente Seco

Tabla : Especificaciones del Agregado Grueso

Autor : Autor de la Tesis

## ANEXO N° 02 - Diseño de Mezclas del Concreto (Método ACI 211).



### DISEÑO DE MEZCLAS ACI 211 PARA CONCRETO $f'c=280\text{Kg/cm}^2$



<b>TESIS :</b>	"EVALUACIÓN DE LA INFLUENCIA DE LAS FIBRAS DE POLIETILENO EN EL DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y DURABILIDAD DE PAVIMENTO DE CONCRETO EN LA CIUDAD DE CERRO DE PASCO - 2017"		
<b>TESISTA :</b>	Bach. Josué David PABLO LUIS	<b>ASESOR :</b>	Ing. Paul Mirko, RODRIGUEZ ROJAS
<b>LUGAR :</b>	Laboratorio Zemco-Paragsha-Pasco		

#### I. ESPECIFICACIONES :

1.1 La resistencia de Diseño es de  $f'c=280\text{Kg/cm}^2$ , se desconoce le valor de la desviación estándar.

#### 1.2 Componentes:

##### 1.2.1 Cemento Andino Tipo I

Peso Específico 3.12 gr/cm<sup>3</sup>

##### 1.2.2 Agregado Fino

Arena Gruesa de la Cantera San Antonio-Sacra Familia

Peso Específico 2.48 gr/cm<sup>3</sup>

Absorción 0.33 %

Contenido de Humedad 7.07 %

Modulo de Fineza 4.04

Peso Unitario Suelto 1714.00 Kg/m<sup>3</sup>

Peso Unitario Compactado 1914.00 Kg/m<sup>3</sup>

##### 1.2.3 Agregado Grueso

Piedra Chancada de la Cantera San Antonio-Sacra Familia

Tamaño Máximo Nominal 3/4"

Peso Específico 2.43 gr/cm<sup>3</sup>

Absorción 1.33 %

Contenido de Humedad 1.35 %

Peso Unitario Suelto 1335.00 Kg/m<sup>3</sup>

Peso Unitario Compactado 1584.00 Kg/m<sup>3</sup>

##### 1.2.3 Agua

Agua Potable de Laboratorio ZEMCO Ingenieros-C.P. Paragsha

#### II. SECUENCIA DE DISEÑO :

##### 2.1 Selección de la Resistencia ( $f'cr$ ) :

Dado que no se conoce el valor de la desviación estándar, entonces se tiene que

$$f'cr = f'c + 84 \text{ Kg/cm}^2$$

Entonces:  $f'cr = 280 + 84 = 364 \text{ Kg/cm}^2$

##### 2.2 Selección del Tamaño Máximo Nominal:

El tamaño máximo nominal es de 3/4"

##### 2.3 Selección del Asentamiento:

Según la sección: **Subsección 438.02 (a)** del Manual de Carreteras "Especificaciones Técnicas Generales para Construcción" : 2" a 3"

##### 2.4 Volumen Unitario del Agua:

Para una mezcla de concreto de 1" a 2" de asentamiento, sin aire incorporado y cuyo agregado tiene un tamaño máximo nominal de 3/4" , el volumen unitario de agua es de : 190.00 Lt/m<sup>3</sup>

##### 2.5 Contenido de Aire :

Se considera 2.00 % de aire atrapado por las características de los componentes de éste concreto. 2.00 %

<b>2.6 Relación Agua-Cemento :</b>				
Para una resistencia de diseño $f'_{cr}$ =	<b>364</b>	Kg/cm <sup>2</sup> sin Aire Incorporado		
la relación agua – cemento es de :	<b>0.46</b>	Por Durabilidad		
<b>2.7 Cálculo del contenido de Cemento:</b>				
Volumen Unitario del Agua:	<b>190.0</b>	Lt/m <sup>3</sup>		
La relación agua – cemento es de :	<b>0.46</b>	Por Durabilidad		
Resulta:	<b>413.04</b>	Kg/m <sup>3</sup> →	<b>9.72</b>	Bls/m <sup>3</sup>
			<b>9.80</b>	Bls/m <sup>3</sup>
<b>2.8 Contenido de Agregado Grueso :</b>				
Para un módulo de fineza	<b>4.04</b>	y un tamaño Maimo Nominal	<b>3/4"</b>	
Le corresponde un volumen unitario de:	<b>0.46</b>	m <sup>3</sup> de agregado grueso varillado		
Sabemos el Peso Unitario	<b>1584.00</b>	Kg/m <sup>3</sup>		
Resulta:	<b>728.64</b>	Kg/m <sup>3</sup>		
<b>2.9 Cálculo de Volúmenes Absolutos :</b>				
Cemento :	= 413.04 / (3.12x1000)=		<b>0.132</b>	m <sup>3</sup>
Agua :	= 190 / (1.00x1000) =		<b>0.190</b>	m <sup>3</sup>
Aire Atrapado :	= 2% =		<b>0.02</b>	m <sup>3</sup>
Agregado Grueso :	= 728.64 / (2.43x1000) =		<b>0.300</b>	m <sup>3</sup>
Total	=		<b>0.642</b>	m <sup>3</sup>
<b>2.10 Contenido de Agregado Fino :</b>				
Volumen absoluto de agregado fino :	1.00-0.642	=	<b>0.358</b>	m <sup>3</sup>
Peso del Agregado Fino Seco:	0.358x2.48x1000	=	<b>887.251</b>	m <sup>3</sup>
<b>2.11 Valores de Diseño :</b>				
Cemento :	= <b>413.043</b>	Kg/m <sup>3</sup>		
Agua de Diseño :	= <b>190.000</b>	Kg/m <sup>3</sup>		
Agregado Fino Seco :	= <b>887.25</b>	Kg/m <sup>3</sup>		
Agregado Grueso Seco	= <b>728.640</b>	Kg/m <sup>3</sup>		
<b>2.12 Corrección por Humedad de los Agregados :</b>				
Agregado Fino	887.25x1.0707	=	<b>949.979</b>	Kg/m <sup>3</sup>
Agregado Grueso	728.64x1.0135	=	<b>738.477</b>	Kg/m <sup>3</sup>
Humedad Superficial de:				
Agregado Fino	7.07-0.33	=	<b>6.740</b>	%
Agregado Grueso	1.35-1.33	=	<b>0.020</b>	%
Aporte de Humedad de los Agregados:				
Agregado Fino	887.25x(0.0674)	=	<b>59.801</b>	Lt/m <sup>3</sup>
Agregado Grueso	728.64x(0.0002)	=	<b>0.146</b>	Lt/m <sup>3</sup>
Total	=		<b>59.946</b>	Lt/m <sup>3</sup>
Agua Efectiva :	190.0-(59.946)	=	<b>130.054</b>	Lt/m <sup>3</sup>
Los pesos de los materiales ya corregidos serán:				
Cemento	= <b>413.043</b>	Kg/m <sup>3</sup>		
Agua Efectiva	= <b>130.054</b>	Kg/m <sup>3</sup>		
Agregado Fino Húmedo	= <b>949.98</b>	Kg/m <sup>3</sup>		
Agregado Grueso Húmedo	= <b>738.477</b>	Kg/m <sup>3</sup>		
<b>2.13 Proporciones en Peso Húmedo :</b>				
413.043 / 413.043	949.98 / 413.043	738.477 / 413.043		
	<b>1 : 2.3 : 1.79 : 0.31</b>			
<b>2.14 Pesos por Tanda de un Saco :</b>				
Cemento :	1.00 x 42.50	=	<b>42.500</b>	Kg/saco
Agua Efectiva :	0.04 x 42.50	=	<b>13.382</b>	Lt/saco
Agregado Fino :	2.30 x 42.50	=	<b>97.748</b>	Kg/saco
Agregado Grueso :	1.79 x 42.50	=	<b>75.985</b>	Kg/saco
<b>2.15 Pesos por Pie Cúbico de :</b>				
Agregado Fino Húmedo	949.98 x 35.31/ 1714	=	<b>19.570</b>	Kg/pie <sup>3</sup>
Agregado Grueso Húm.	738.48 x 35.31/ 1335	=	<b>19.532</b>	Kg/pie <sup>3</sup>
<b>2.16 Dosificación en Volumen :</b>				
Cemento	9.80 / 9.80	=	<b>1.000</b>	pie <sup>3</sup>
Agregado Fino Húmedo	19.57 / 9.80	=	<b>1.997</b>	pie <sup>3</sup>
Agregado Grueso Húm.	19.53 / 9.80	=	<b>1.993</b>	pie <sup>3</sup>
Agua de Mezcla	130.05 / 9.80	=	<b>13.271</b>	Lt/bolsa

**ANEXO N° 03 - Panel Fotográfico**



*En la vista, se observa la visita a la cantera San Antonio de Sacra familia para la obtención de Agregado Grueso y Agregad Fino para el trabajo de investigación.*





*En la vista, se aprecian las muestras de Agregado Grueso (Izquierda) y Agregado Fino (Derecha) para la determinación de sus propiedades.*



*En la vista, se realiza el ensayo de granulometría del Agregado Grueso*

*NTP 400.037 - ASTM C136*



*En la vista, se realiza los ensayos para la determinación del Peso Unitario Suelto (ASTM C29) y Compactado (ASTM C29) del agregado grueso.*



*En la vista, se procede con el ensayo para la determinación del Peso Unitario Suelto y Compactado del agregado fino.*



*En la vista, se practica el ensayo para la determinación del peso específico del agregado grueso (ASTM C131).*



*En la vista, se desarrolla el ensayo para la determinación del contenido de humedad de los agregados (w%).*



*En la vista, una vez diseñada la mezcla se procedió a dosificar los materiales en las cantidades correspondientes.*



*En la vista, se realiza el ensayo de Cono de Abrams o asentamiento (slump) Siguiendo el procedimiento adecuado.*



*En la vista, la adición de las fibras de polietileno a la mezcla.*



*En la vista, se presentan las probetas cilíndricas de 6"x12" y vigas, listas para ser curadas en la poza.*



*En la vista, se desarrolla el ensayo de compresión axial de las probetas cilíndricas.*





*En la vista, se desarrolla el ensayo de flexión en vigas de hormigón en el equipo normado correspondiente.*





*En la vista, se observa las fibras de polietileno añadidas al concreto en las vigas ensayadas a flexión.*



## **ANEXO N° 04 – Ensayos al Concreto Endurecido.**

- 4.1. Ensayo de Compresión Axial en Probetas Estándares de Concreto NTP 339 - 034 (2008)
  - Ensayo de Compresión Axial Probeta Diseño Patrón
  - Ensayo de Compresión Axial Probeta Diseño N° 01
  - Ensayo de Compresión Axial Probeta Diseño N° 02
  - Ensayo de Compresión Axial Probeta Diseño N° 03
  - Ensayo de Compresión Axial Probeta Diseño N° 04
  
- 4.2. Ensayo de Flexión en Vigas de Hormigón NTP 339.079 - ASTM C293
  - Ensayo de Flexión en Vigas Diseño Patrón
  - Ensayo de Flexión en Vigas Diseño N° 01
  - Ensayo de Flexión en Vigas Diseño N° 02
  - Ensayo de Flexión en Vigas Diseño N° 03
  - Ensayo de Flexión en Vigas Diseño N° 04