

**CAPÍTULO I**  
**ANTECEDENTES**

# CAPÍTULO 1

## ANTECEDENTES

### 1.1. El Problema

#### 1.1.1. Planteamiento

El día a día en la construcción es muy importante, se trata siempre de evolucionar algunas metodologías constructivas utilizando herramientas e incluso nuevos materiales siempre buscando una mejor eficiencia de los mismos y si es posible un menor costo.

Es necesario por esta razón que se trate de mejorar la resistencia a distintos esfuerzos de estructuras de hormigón, como es el caso de las vigas, empleando materiales que añadidos en una mezcla convencional de hormigón incrementen sus propiedades mecánicas (resistencia a flexión), para su posterior puesta en obra. Ya que a pesar que el hormigón por si solo resiste muy bien los esfuerzos a compresión, es frágil para los esfuerzos de tracción. Este valor juega un papel muy importante en ciertos fenómenos, como la fisuración, esfuerzo cortante, la adherencia de las armaduras, etc.

Para esto se requiere analizar en laboratorio si estos materiales al añadirlos a la mezcla de hormigón mejoran la resistencia flexión del mismo.

Una de los materiales que actualmente es considerado un desecho, son las virutas de acero, que se generan en las tornerías de la ciudad de Tarija, las cuales no tienen uso específico y generan complicaciones de contaminación si no se eliminan de manera correcta.

#### 1.1.2. Formulación

El hormigón tiene la capacidad de soportar grandes esfuerzos de compresión, pero conserva una baja capacidad de resistir esfuerzos de tracción (aproximadamente el 10% de lo que resiste a compresión) fue por esto que se convirtió en la razón para buscar métodos para poder reforzarlo. Uno de las alternativas es usar material reutilizable colaborando con el medio ambiente y evitando afectar el presupuesto del mismo, para ello se pretende reciclar las virutas de acero como reforzamiento en vigas.

En este trabajo de investigación se analizó de forma específica en secciones rectangulares (probetas prismáticas) solicitadas a flexotracción (resistencia a tracción por flexión). Para la dosificación de las probetas se usó la norma (ACI 211)

Ante esta situación se planteó la siguiente pregunta:

¿Cómo llegar a mejorar la resistencia a flexión en la mezcla de un hormigón convencional?

### **1.1.3. Sistematización**

Se realizó un estudio del comportamiento de vigas sometidas a flexión por medio del ensayo de flexotracción.

Se abordó dicho tema estructural realizando los ensayos correspondientes para cada material que conforma el hormigón, obteniendo la resistencia de las probetas prismáticas a los 28 días de hormigonado.

Para este proceso se realizó un estudio en vigas estándar (150mm\*150mm\*500mm) de escala reducida normada con agregados que se obtienen en Charajas (Tarija) y cemento local.

## **1.2. Objetivos**

### **1.2.1. General**

- Evaluar la resistencia a flexión de un hormigón de 21 MPa con la inclusión de viruta de acero como material de refuerzo.

### **1.2.2. Específicos**

- Examinar la resistencia a flexión de las vigas a los 28 días de hormigonado.
- Realizar incorporaciones de viruta de acero planas y rectas a la mezcla de hormigón de 1%, 2%, 3%, 5%, 9%, 12% y 16% respecto de la masa de cemento total, con longitudes del material de 4, 5 y 6 cm.
- Analizar los resultados de la resistencia a flexión de las vigas, entre el hormigón patrón y el hormigón incorporado con viruta de acero.
- Determinar la viabilidad del uso de las virutas de acero como material de refuerzo en la mezcla de hormigón.

### **1.3. Justificación**

#### **1.3.1. Académica**

Aplicar los conocimientos adquiridos de todas las materias presentes de la malla curricular de la Carrera de Ingeniería Civil de la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho y las materias de la mención de estructuras, ampliando el desarrollo intelectual y el campo de visión de un ingeniero civil en el ámbito de la investigación motivando a los estudiantes a adentrarse en esta área.

En el presente trabajo se desarrolló un aporte a la investigación, específicamente en la mención: estructuras, con objetivos claros y definidos aplicando conocimientos teóricos y prácticos para el estudiante.

#### **1.3.2. Técnica**

La importancia de contar con herramientas para poder solucionar distintos problemas de carácter estructural, en este caso específico, de reforzamiento del mismo para mejorar sus propiedades mecánicas.

Utilizando materiales que son desechables y dándoles un respectivo uso como instrumento de mejoramiento de elementos estructurales brindando una mejor eficiencia y disminuyendo el costo que se requiera en caso de una reparación estructural.

#### **1.3.3. Social / Ambiental**

En este estudio se reutilizó un material desechado en nuestra región, que no se utiliza como herramienta, ya sea de reparación o reforzamiento estructural como orgánicos o minerales.

La investigación que se realizó será de gran ayuda para futuras investigaciones en el tema del mejoramiento de vigas e incluso otros tipos de elementos estructurales empleando materiales que son desechables en la región.

### **1.4. Alcance**

Para desarrollar el presente proyecto de ingeniería civil, se incorporará los siguientes porcentajes de viruta de acero (planas y rectas) de 1%, 2% y 3%, respecto a la masa de cemento total del hormigón, con longitudes de la viruta de 4, 5 y 6 cm; con una muestra patrón de 21 MPa

Para cada incorporación de viruta, con su respectiva longitud y la muestra patrón se considerará una muestra de 15 vigas falladas a la edad de 28 días determinando así la resistencia a flexión del elemento estructural, siempre tomando en cuenta la limitación temporal para la presentación del trabajo final.

Asimismo, se elaborará 24 probetas prismáticas, añadiendo porcentajes de 5%, 9%, 12% y 16% de viruta (largo previamente establecido), de tal manera que permita estudiar el comportamiento a esfuerzos de flexión de vigas de hormigón con adición de virutas de acero.

### **1.5. Hipótesis**

Con la incorporación de viruta de acero a la mezcla de hormigón, se logrará mejorar la resistencia a flexión del mismo.

### **1.6. Marco de Referencia**

#### **1.6.1. Conceptual**

El presente trabajo centró su estudio en el mejoramiento de vigas, específicamente en el refuerzo de este elemento estructural brindando un mejor comportamiento a esfuerzos de flexión con la incorporación de virutas de acero.

#### **1.6.2. Espacial**

El estudio se realizará en el laboratorio de resistencia de materiales dentro del campus de la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho.

#### **1.6.3. Temporal**

El presente trabajo de investigación abarcará el segundo semestre de la gestión 2020.

**CAPÍTULO II**  
**FUNDAMENTO TEÓRICO**

## CAPÍTULO II

### FUNDAMENTO TEÓRICO

#### 2.1. Antecedentes

Durante los últimos años se realizaron investigaciones, estudios e incluso tesis referentes al comportamiento mecánico que tiene el hormigón al añadir fibras de acero en su composición. Estos demuestran que son fiables y eficientes e incluso pueden ser materiales de construcción económicos si se usan inteligentemente.

Las primeras experiencias de adición de fibras a materiales destinados a la construcción corresponden a fibras metálicas.

La primera evidencia de hormigón reforzado con elementos metálicos se realizó en la ciudad de California en 1874 por A. Berard. Consistía en una piedra artificial que utilizaba acero granular procedente de desechos para el refuerzo del hormigón. Con el paso de los años el empleo de este material se fue consolidando en distintos estudios y trabajos enfocados en cómo llega a mejorar el comportamiento mecánico del hormigón. (Blanco Álvarez, pág. 7)

Ejemplo de ello es la publicación en la revista Informes de Construcción del IETcc. en el que Manuel Fernández Cánovas (Dr. Ingeniero de Construcción) manifiesta que algunos de los efectos que ocasionan la incorporación de fibras de acero hormigón son los siguientes:

Mejora del comportamiento a flexotracción, incremento de la resistencia a rotura, reducción de la deformación bajo cargas mantenidas, aumento de la resistencia a tracción, fuerte incremento en la resistencia a impacto y choque, gran resistencia a fatiga dinámica, fisuración controlada, aumento de la durabilidad. (Hormigones reforzados con fibra de acero, 1981, pág. 6)

Las fibras empleadas en el hormigón son discontinuas, presentando una distribución discreta y uniforme que le brindan homogeneidad. Este material puede tener varias formas geométricas rectas, onduladas, corrugadas y otros. Las virutas de acero se pueden considerar como fibras de acero de acuerdo a su forma y la manera como es obtenido.

Se realizó un estudio de este material en Colombia y lo hicieron público; se trata de lo siguiente:

“Mejoramiento de la resistencia a la flexión del concreto con adición de viruta de acero con porcentajes de 6%, 8%, 10%, 12% y 14%; respecto al agregado fino de la mezcla”.

Con base en los resultados obtenidos en los trabajos de grado anteriores de optimización de concretos adicionando viruta en unos porcentajes determinados y en las cuales se analizó el comportamiento del concreto a compresión, se decidió trabajar este mismo conglomerante cuando trabaja a flexión y remplazando agregado fino en porcentajes de 6%, 8%, 10%, 12%, y 14%, sin embargo, se trabajó con porcentajes menores como se mencionó anteriormente, pero dichos resultados no fueron los esperados al ser comparados con una muestra patrón estándar de concreto de 21MPa. se realizaron viguetas, fundiendo 10 elementos para las edades a fallar: 3, 7 y 28 días y así obtener los suficientes datos de Resistencia a la flexión, para poder realizar un análisis y concluir que con un porcentaje de 10% de viruta se puede tener un concreto altamente eficiente y económico.

Al analizar los resultados desde la primera edad del curado se pudo notar que la muestra que alcanzó los mayores esfuerzos frente a la resistencia a la flexión de la muestra estándar, fue la muestra con el 10% de adición de viruta logrado a los 28 días de curado con un promedio de 65.6 MPa y un aumento frente a la muestra estándar del 34,56%. (Delgado Rugeles & Edgar Dario, 2008, págs. 5 - 7).

Al considerar este material como fibras de acero en el presente proyecto de Ingeniería Civil se analizará si material mejora las propiedades mecánicas del hormigón, como es su resistencia a flexotracción del mismo, tal y como indica los estudios y publicaciones anteriores sobre el uso de este componente y los beneficios que otorga al hormigón.

## **2.2. Componentes del Hormigón**

El hormigón se puede definir como la mezcla de un material aglutinante (cemento), áridos, agua y eventualmente aditivos, que al endurecerse forman una especie de “piedra artificial” y después de cierto tiempo es capaz de soportar grandes esfuerzos de compresión e incluso tolerar esfuerzos de flexión en un porcentaje aproximadamente del 10% de lo que resiste a compresión.

Los distintos tipos de materiales que se utilicen para la elaboración del hormigón influyen en la trabajabilidad que éste pueda tener, el tiempo que necesita para poder adquirir la resistencia y su respectiva función para lo cual fue preparado.

### **2.2.1. Cemento**

#### **2.2.1.2. Breve Historia del Cemento**

En la Antigua Grecia empezaron a usar las cenizas volcánicas obtenidas de la isla de Santorini debido a que la cal era el único aglomerante para las construcciones de ese entonces, a dichas cenizas se las consideró en ese entonces como los primeros cementos naturales. Posteriormente en el siglo I a. C. se empezó a utilizar el cemento natural en la Antigua Roma, obtenido en Pozzuoli.

Pero la necesidad de construcción en zonas que contenían agua llevo la necesidad de encontrar aglomerantes que sean capaces de endurecer bajo estas condiciones adversas, es así que en el siglo XVIII John Smeaton construye la cimentación de un faro en el acantilado de Eddystone, en la costa Cornwall, empleando un mortero de cal calcinada.

El siglo XIX, Joseph Aspdin y James Parker patentaron en 1824 el Portland Cement, denominado así por su color gris verdoso oscuro similar a la piedra de Portland. Isaac Johnson, en 1845, obtiene el prototipo del cemento moderno, con una mezcla de caliza y arcilla calcinada a alta temperatura.

En el siglo XX surge el auge de la industria del cemento, debido a los experimentos de los químicos franceses Vicat y Le Chatelier y el alemán Michaelis, que logran cemento de calidad homogénea; la invención del horno rotatorio para calcinación y el molino tubular y los métodos de transportar hormigón fresco ideados por Juergen Hinrich Magens que patenta entre 1903 y 1907. (Cementospall's Blog, 2010).

#### **2.2.1.3. Definición**

El cemento es un conglomerante hidráulico, es decir tiene propiedades de adherencia y cohesión que al mezclarse con agua reacciona químicamente en un proceso denominado hidratación, el que le da la propiedad de fraguar y endurecer tanto expuesto al aire o totalmente sumergido en agua.

El cemento portland es aquel obtenido por la pulverización del Clinker<sup>1</sup> con la adición en algunos casos de sulfato de calcio.

Los cementos que se utilizan en Bolivia son cementos portland que cumplen con los requisitos especificados en la Norma Boliviana NB-011 y ASTM C-150.

#### 2.2.1.4. Características Fundamentales del Cemento

Las características mecánicas que tiene el cemento son:

- Fraguado
- Expansión
- Finura de molido
- Resistencia mecánica

**Tabla 1: Características de los Cementos Portland**

| <b>Tipo*</b>   | <b>Descripción</b>   | <b>Características Opcionales</b> |
|--|--|-----------------------------------|
| I  | Uso General  | 1, 5                              |
| II   | Uso general; calor de hidratación moderado y resistencia moderada a los sulfatos | 1, 4, 5.                          |
| III  | Alta resistencia inicial   | 1, 2, 3, 5.                       |
| IV   | Bajo calor de hidratación  | 5                                 |
| V  | Alta resistencia a los sulfatos  | 5, 6.                             |
| Características Opcionales<br>1. Aire incluido, IA, IIA, IIIA.<br>2. Resistencia moderada a los sulfatos: C <sub>3</sub> A máximo, 8%.<br>3. Alta resistencia a los sulfatos: C <sub>3</sub> A máximo, 5%.<br>4. Calor de hidratación moderado: calor máximo de 290 kJ/kg (70 cal/g) a los 7 días, o la suma de C <sub>3</sub> S y C <sub>3</sub> A, máximo 58%.<br>5. Alcali bajo: máximo de 0.60%, expresando como Na <sub>2</sub> O equivalente.<br>6. El límite de resistencia Alternativa de sulfatos está basado en el ensayo de expansión de barras de mortero. |  |                                   |

(\*) Para cementos especificados en la ASTM C 150.

**Fuente:** ASTM C-150

#### 2.2.1.5. Composición Química del Cemento

Las materias primas que se utilizan para la fabricación de cemento portland consisten generalmente en cal, sílice, alúmina y óxido de hierro, estos mismos se mezclan en un horno

<sup>1</sup> Principal componente del cemento

rotatorio hasta encontrar un estado de equilibrio químico. En la química del cemento, las fórmulas se expresan con frecuencia con la suma de óxidos. (Sánchez de Guzmán, 2001, pág. 33).

“Durante este proceso de fusión de la materia prima que ha de dar origen al Clinker se forman silicatos cálcicos, aluminatos cálcicos y ferritos de composición compleja. De ellos los componentes básicos del cemento son los silicatos cálcicos.” (Antezana García, 2012, pág. 12).

La fórmula química de los cuatro compuestos principales son los siguientes:

- Silicato tricálcico  $3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2 = \text{C}_3\text{S}$  (Resistencia Mecánica a corto y mediano plazo).
- Silicato dicálcico  $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2 = \text{C}_2\text{S}$  (Resistencia Mecánica a largo plazo).
- Aluminato tricálcico  $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 = \text{C}_3\text{A}$  (Propicia mayor velocidad de fraguado, resistencias a corto plazo y elevado calor de hidratación. Se controla con la adición de yeso).
- Ferroaluminato tetracálcico  $4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3 = \text{C}_4\text{AF}$  (Favorece a la hidratación de los componentes durante la calcinación del Clinker)

#### 2.2.1.6. Clasificación del Cemento

La norma ASTM C-150 especifica lo siguiente para poder clasificar a los cementos:

- **Tipo I:** Cemento común de uso general. Para hormigones que no sufran ataques ambientales ni biológicos.
- **Tipo II:** Cemento con moderada resistencia a los sulfatos, generalmente se lo utiliza en estructuras de drenaje donde sus aguas no sean demasiado severas.
- **Tipo III:** Cemento de alta resistencia inicial, proporciona resistencias elevadas en un corto periodo de tiempo, su aplicación puede ser en encofrados donde se necesite su retiro pronto.

- **Tipo IV:** Bajo calor de hidratación, se utiliza en ambientes donde se necesite mantener una baja cantidad y velocidad de calor, como por ejemplo las presas.
- **Tipo V:** Alta resistencia a los sulfatos, se usa generalmente en hormigones que están expuestos a severos ataques de sulfatos como son las aguas freáticas.
- **Tipos IA, IIA y IIIA:** Cementos inclusores de aire, se asemejan a los cementos tipo I, II y III, pero a diferencia de estos durante su fabricación se añade un agente inclusor de aire, su uso brinda protección contra la congelación y el proceso de deshielo.

Para los cementos hidráulicos mezclados la norma ASTM C-595 reconoce los siguientes:

- **Tipo IS:** Cemento portland con escoria de alto horno.
- **Tipo IP:** Cemento portland con adición puzolánica.
- **Tipo P:** Cemento portland con puzolana para usos cuando no se requiere alta resistencia inicial.
- **Tipo I (PM):** Cemento portland con puzolana modificado.
- **Tipo I (SM):** Cemento portland con escoria, modificado.
- **Tipo S:** Cemento con escoria para la combinación con cemento Portland en la fabricación de concreto y en combinación con cal hidratada en la fabricación del mortero de albañilería.

Según la Norma Boliviana NB-011 los cementos portland se clasifican en los siguientes:

- Cemento portland, **Tipo I**
- Cemento portland con puzolana, **Tipo IP**
- Cemento portland con filler calizo, **Tipo IF**
- Cemento con puzolana, **Tipo P**

Las combinaciones para los diferentes cementos portland se muestra en la siguiente tabla:

**Tabla 2: Clasificación y Composición de los Cementos en Bolivia según la NB-011**

| Tipos de cemento   |                                      |      | Proporción en masa (1)  |                  |                   |                                 |
|--------------------|--------------------------------------|------|-------------------------|------------------|-------------------|---------------------------------|
|                    |                                      |      | Componentes principales |                  |                   | Componentes principales (2) (3) |
| Denominación       | Designación                          | Tipo | Clinker                 | Puzolana Natural | Filler Calizo (3) |                                 |
| Cemento Portland   | Cemento Portland                     | I    | 95 a 100                | -                | -                 | 0 a 5                           |
|                    | Cemento Portland con Puzolana        | IP   | 60 a 94                 | 6 a 40           | -                 | 0 a 5                           |
|                    | Cemento Portland con Filler o Caliza | IF   | 80 a 94                 | -                | 6 a 20            | 0 a 5                           |
| Cemento Puzolánico |                                      | P    | 45 a 60                 | 40 a 55          | -                 | 0 a 5                           |

(1) En estos valores se excluyen: el regulador de fraguado y los aditivos.

(2) Los componentes adicionales pueden ser uno o dos entre puzolanas y filler calizo, a menos que sean componentes principales del cemento

(3) La caliza a utilizarse como filler calizo o como componente adicional deberá cumplir el requisito de un contenido mínimo del 85% de carbonato cálcico.

**Fuente:** NB-011

### 2.2.1.7. Cementos Portland Locales

Sus características físico-mecánicas le permiten brindar el mejor rendimiento en dosificaciones de cualquier tipo de hormigón y mortero para diferentes aplicaciones. En la presente tabla se presenta las características y criterios para el uso de este tipo de cemento.

**Tabla 3: Características y Criterios de Empleo de los Cementos Portland**

|                         | <b>Cemento tipo I 30</b>  | <b>Cemento tipo I 40</b>  | <b>Cementos puzolánicos IP 30 - IP 40</b>   |
|-------------------------|---|---|---|
| <b>Características</b>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Bajo calor de hidratación.</li> <li>• Baja retracción.</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Resistencia mecánica alta.</li> <li>• Endurecimiento rápido.</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Hormigones más trabajables, más compactos, más impermeables, y de mayor resistencia química.</li> <li>• Bajo calor de hidratación menor fisuración y retracción química.</li> </ul>  |
| <b>Limitaciones</b>     | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Resistencia mecánica media.</li> <li>• Poca resistencia química</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Poca resistencia química.</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Evolución de resistencia más lenta, por lo que se aconseja dejar el apuntalado de los encofrados 10 días más de lo acostumbrado.</li> </ul>  |
| <b>Indicado para</b>    | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Hormigón armado.</li> <li>• Hormigón en masa de pequeño o mediano volumen.</li> <li>• Pavimentos y firmes de carreteras.</li> <li>• Estabilización de suelos.</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Hormigón armado.</li> <li>• Hormigón pretensado.</li> <li>• Prefabricación.</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Obras de hormigón en masa de grandes volúmenes.</li> <li>• Obras marítimas, vertederos industriales o sanitarios.</li> <li>• Obras en medios agresivos por aguas puras, carbónicas o con débil acidez.</li> <li>• Hormigones muy impermeables.</li> <li>• Prefabricación.</li> </ul> |
| <b>No indicado para</b> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Obras en aguas, terrenos o ambientes agresivos.</li> <li>• Macizos de gran volumen, sobre lodo en dosificaciones altas.</li> </ul>                                       | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Obras en aguas, terrenos o ambientes agresivos.</li> <li>• Piezas de hormigón armado de gran espesor.</li> <li>• Elementos o piezas fisurables por retracción.</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Hormigón en climas secos o fríos.</li> <li>• Obras en ambientes muy agresivos.</li> <li>• Obras que requieren alta resistencia inicial.</li> </ul>   |
| <b>Precauciones</b>     | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Cuidar el almacenamiento. No debe prolongarse más de tres meses.</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Cuidar el almacenamiento. No debe prolongarse más de dos meses.</li> <li>• Cuidar el amasado y sobre todo, el curado.</li> <li>• Precauciones para evitar fisuración por retracción durante las primeras horas.</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Curar prolongadamente, sobre todo en climas secos y fríos.</li> <li>• Evitar desecación durante el primer periodo de endurecimiento en climas calidos y secos.</li> </ul>  |

**Fuente:** (García Meseguer, Morán Cabré, & Arroyo Portero, 2010)

**Tabla 4: Tipos de Cemento Elaborado por las Productoras de Bolivia según la NB-011**

|                 | Tipos de Cemento |      |      | Características                |
|-----------------|------------------|------|------|--------------------------------|
|                 | IP30             | IP40 | -    |                                |
| <b>SOBOCE</b>   | IP30             | IP40 | -    | Bajo Norma Boliiiana<br>NB-011 |
| <b>ITACAMBA</b> | -                | -    | IF30 |                                |
| <b>COBOCE</b>   | IP30             | -    | -    |                                |
| <b>FANCESA</b>  | IP30             | IP40 | -    |                                |

**Fuente:** Elaboración Propia en base a información proporcionada por las empresas productoras de cemento.

### 2.2.2. Agua para el Hormigón

El agua en su relación con el hormigón se puede utilizar en tres aplicaciones la primera como el componente utilizado para las mezclas del mismo, la segunda como elemento esencial del curado de estructuras recién construidas y tercera para poder lavar los agregados grueso y fino.

**Tabla 5: Requisitos que debe cumplir el Agua para poder realizar el Mezclado para el Hormigón**

| REQUISITOS                               | NORMA BOLIVIANA DEL HORMIGÓN |
|--|------------------------------|
| Sustancias disueltas                     | Menor o igual a 15 gr/l.     |
| Sulfatos expresados como SO <sub>4</sub> |                              |
| -Sulfatos solubles como SO <sub>4</sub>  | Menor o igual a 1 gr/l.      |
| Ión cloruro Cl                           | Menor o igual a 6 gr/l.      |
| Hidratos de carbono                      | 0                            |
| Sustancias orgánicas solubles en eter    | Menor o igual a 15 gr/l.     |
| Sólidos en suspensión                    | Menor o igual a 2 gr/l.      |
| Exponente de hidrogeno ph                | Mayor o igual a 5.           |

**Fuente:** Norma Boliviana NB-637.

El agua utilizada para el amasado o mezcla, brinda al hormigón la trabajabilidad que éste requiere para ser puesto en obra, además de ser parte de la hidratación del cemento. Si se añade agua en exceso se puede formar una serie de poros en toda la superficie del hormigón disminuyendo de esta manera la resistencia que éste adquiera.

El agua de curado es fundamental durante la etapa de fraguado del hormigón, ya que además de mejorar la hidratación del mismo ayuda a que no se produzca el fenómeno de retracción<sup>2</sup>.

El agua para el amasado y el curado respectivo del hormigón tiene que ser potable que no tenga ni sabor ni olor notorio. No debe contener la presencia de sustancias como ácidos azúcares e incluso sales.

Algunas de las sustancias que con mayor frecuencia se encuentran en las aguas y que inciden en la calidad del concreto como lo indica (El Agua del Concreto, 2009), se presentan a continuación:

- Las aguas que contengan menos de 2000 ppm. de sólidos disueltos generalmente son aptas para hacer concretos; si tienen más de esta cantidad deben ser ensayados para determinar sus efectos sobre la resistencia del concreto.
- Si se registra presencia de carbonatos y bicarbonatos de sodio o de potasio en el agua de la mezcla, estos pueden reaccionar con el cemento produciendo rápido fraguado; en altas concentraciones también disminuye la resistencia del concreto.
- El alto contenido de cloruros en el agua de mezclado puede producir corrosión en el acero de refuerzo o en los cables de tensionamiento de un concreto pre esforzado.
- El agua que contenga hasta 10000 ppm. de sulfato de sodio, puede ser usada sin problemas para el concreto.
- Las aguas ácidas con pH por debajo de 3 pueden crear problemas en el manejo o deben ser evitadas en lo posible.
- Cuando el agua contiene aceite mineral (petróleo) en concentraciones superiores a 2%, pueden reducir la resistencia del concreto en un 20%.
- Cuando la salinidad del agua del mar es menor del 3.5%, se puede utilizar en concretos no reforzados y la resistencia del mismo disminuye en un 12%, pero si la salinidad aumenta al 5% la reducción de la resistencia es del 30%.

---

<sup>2</sup> Disminución del volumen del concreto durante el proceso de fraguado del mismo, y se produce por la pérdida de agua (debida a evaporación).

### 2.2.3. Agregados o Áridos

La Norma Boliviana NB-594 define árido o agregado como: “Material granular, generalmente inerte, resultante de la desintegración natural y desgaste de las rocas o que se obtiene mediante la trituración de ellas, de escorias siderúrgicas o de otros materiales suficientemente duros que permiten obtener partículas de forma y tamaño estables.”

#### 2.2.3.1. Clasificación de los Agregados para el Hormigón

Se pueden clasificar según tres aspectos: por su procedencia, por su tamaño y por su gravedad específica. En este estudio nos enfocaremos a desarrollar la clasificación según su tamaño.

Siguiendo esta figura para (Quiroz Crespo & Salamanca Osuna, 2006) los áridos se clasifican en:

- **Agregado Grueso:** Es un material granular que es retenido por el tamiz N°4 (de 4.75 mm). El agregado grueso en nuestro medio es denominado “Grava”, que resulta de la desintegración y abrasión naturales de la roca o procede de la trituración de esta.
- **Agregado Fino:** Es un material granular que pasa por el tamiz de 3/4 in (9.5 mm) y casi en su totalidad por el tamiz N°4 (de 4.75 mm) y es retenido por el tamiz N°200 (0.075 mm). El agregado fino en nuestro medio se denomina “Arena”, este resulta de la desintegración y abrasión naturales de la roca o procede de la trituración de esta. (pág. 29).

El árido de mayor compromiso en el hormigón es la arena, las mejores son las que provienen del río por lo que no hay que preocuparse de su resistencia y la durabilidad que estas obtienen.

Al mismo tiempo se tiene que tener muy en cuenta la humedad que estas poseen, además de que no debe contener sustancias perjudiciales ya que influyen de manera directa a la dosificación del hormigón.

La resistencia de la grava es proporcional a la dureza que posee, su densidad y su módulo de elasticidad.

### **2.2.3.2. Características de los Agregados**

Las características de los agregados brindan un criterio de selección de los mismos. Además de otorgar un tratamiento y acondicionamiento de los mismos en caso de ser necesario.

Para (Quiroz Crespo & Salamanca Osuna, 2006), realizan varias pruebas en los agregados del hormigón para:

- Establecer que se satisfagan requisitos mínimos de calidad; se incluyen esas cualidades básicas deseables como tenacidad<sup>3</sup>, solidez y resistencia a la abrasión.
- Determinar características útiles para seleccionar las proporciones para el hormigón, como la gravedad específica y la absorción.
- Asegurar que en forma rutinaria se cumplan con los requisitos para el trabajo. En la mayor parte de los casos, las pruebas aplicadas a los agregados dan un índice para predecir el comportamiento en el hormigón, en lugar de evaluar un atributo en verdad básico. (pág. 29).

### **2.2.3.3. Textura Superficial**

Para (Quiroz Crespo & Salamanca Osuna, 2006):

La textura superficial de los agregados influye además de la calidad del hormigón en estado fresco, en las resistencias que éste adquiere, repercutiendo más en la resistencia a flexotracción que a la de compresión.

El hormigón puede contener una gran variedad de características superficiales, empezando desde una muy lisa hasta una muy áspera e incluso una de panal; si este es el caso se convierte en un hormigón satisfactorio.

Mientras mayor sea la rugosidad superficial de los agregados mayor es la superficie de contacto con la pasta de cemento, haciendo necesaria la utilización de mayor contenido de pasta para lograr la trabajabilidad deseada, pero favorece la adherencia pasta-agregado y así mejora las resistencias. Esto es característico de los agregados de trituración.

---

<sup>3</sup> Energía de deformación total que es capaz de absorber o acumular un material antes de alcanzar la rotura en condiciones de impacto.

En el caso de los cantos rodados, donde su superficie es lisa, dan mejor trabajabilidad al hormigón, pero menor adherencia pasta-agregado. (pág. 32).

#### **2.2.3.4. Forma del Agregado**

Para (Quiroz Crespo & Salamanca Osuna, 2006):

La forma del agregado tiene gran influencia en las propiedades del hormigón fresco y endurecido, particularmente en lo que hace a la docilidad y resistencias mecánicas respectivamente.

Un agregado grueso con muchos ángulos, que presenta un mayor número de vacíos, exigirá una mayor cantidad de arena para dar lugar a un hormigón trabajable, pero tendrá una mayor relación. Inversamente, el agregado grueso bien redondeado que tiende hacia las partículas esféricas requerirá menos arena y tendrá mayor trabajabilidad, pero tendrá una menor relación. No obstante, resulta interesante hacer notar que los hormigones producidos con una gran disparidad en las formas de las partículas, con un contenido dado de cemento por metro cúbico de hormigón, con frecuencia tendrán más o menos la misma resistencia a la compresión.

También se ha medido la forma y textura de las partículas del agregado fino; la investigación indica que la forma de la partícula y la textura superficial del agregado fino puede tener una influencia más importante sobre la resistencia del hormigón que la del agregado grueso.

Las formas delgadas y alargadas dan lugar a hormigones de peor calidad. Disminuyen la trabajabilidad del hormigón, obligando a una mayor cantidad de agua y arena, lo que en definitiva se traduce en una disminución de la resistencia. Además, las formas planas tienden a orientarse en un plano horizontal, acumulando agua y aire debajo de ellas, lo que repercute desfavorablemente en la durabilidad de los hormigones. Por otra parte, aunque el tipo de material sea muy resistente, estas formas son frágiles y se pueden romper en el mezclado y la compactación del hormigón. Algunas especificaciones para el agregado grueso limitan la cantidad de partículas delgadas o alargadas a un máximo del 10% al 15% en peso, más o menos. Esas partículas se definen como aquellas cuya relación de la dimensión más larga de un prisma rectangular y la dimensión menor sea mayor que 5.

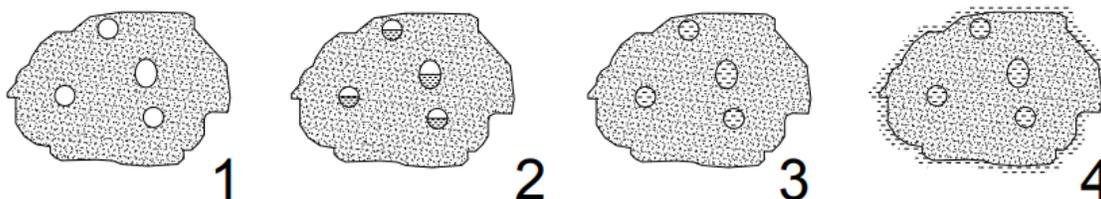
Los agregados triturados resultan en hormigones con alta resistencia a la flexotracción, por lo que son preferidos para pavimentos en carreteras.

La Norma Boliviana NB-596 prescribe que el coeficiente de forma<sup>4</sup>, determinado según el método de ensayo indicado en la NB-610, no debe ser inferior a 0.15. En caso de serlo, se deberán realizar ensayos de resistencia en laboratorio, antes de autorizar su uso. (págs. 32 - 33).

### 2.2.3.5. Gravedad Específica y Absorción

La Gravedad Específica es la relación entre la densidad del agregado y la del agua ( $10 \text{ kN/m}^3$ ). Sin embargo, todos los agregados son porosos hasta cierto punto, lo que permite la entrada de agua en los espacios de los poros o capilares cuando se colocan en la mezcla de hormigón, o bien, ya están húmedos cuando entran al hormigón. Por lo tanto, la definición cuidadosa de la gravedad específica debe tomar en cuenta tanto el peso como el volumen de la porción de agua contenida dentro de las partículas. El agua libre que se encuentra sobre las superficies exteriores del agregado húmedo no entra en el cálculo de la gravedad específica, pero contribuye a la relación A/C del hormigón.

**Figura 1: Estados de Saturación de los Agregados**



**Fuente:** (Quiroz Crespo & Salamanca Osuna, 2006, pág. 36)

1. Seco (Secado al horno).
2. Parcialmente Saturado.
3. Saturado con la superficie seca (SSD, por sus siglas en inglés); poros llenos de agua y seco en la superficie.

---

<sup>4</sup> Consiste en clasificar las partículas de una muestra de árido según la relación entre sus dimensiones máxima y mínima.

4. Saturado húmedo en la superficie; poros llenos de agua y húmedo en la superficie.

La Absorción se define como el incremento de peso de un árido poroso seco, hasta lograr su condición de saturación con la superficie seca, debido a la penetración de agua a sus poros permeables.

La absorción es el valor de la humedad del agregado cuando tiene todos sus poros llenos de agua, pero su superficie se encuentra seca. En esta condición se hacen los cálculos de dosificación para elaborar el hormigón. Sin embargo, el agregado en los acopios puede tener cualquier contenido de humedad (estados 2 a 4). Si la humedad del agregado es inferior a la absorción, se deberá agregar más agua al hormigón para compensar la que absorberán los agregados. Por el contrario, si la humedad supera a la absorción, habrá que disminuir la cantidad de agua que se pondrá a la mezcla ya que los agregados estarán aportando agua.

El valor de la absorción es un concepto necesario para el ingeniero en obra, en el cálculo de la relación A/C de la mezcla de hormigón, pero, en algunos casos, puede ser que también refleje una estructura porosa que afecte la resistencia a la congelación y deshielo del hormigón.

No se suelen fijar límites de aceptación para la absorción debido a que ésta no solo depende de la porosidad de la roca, sino también de otros aspectos tales como la distribución granulométrica, contenido de finos, tamaño máximo de los agregados, forma de las partículas. Sin embargo, se puede considerar como rocas de buena calidad aquellas que presentan una absorción menor al 3% para agregado grueso, y menores al 5% para el caso de agregado fino.

La absorción de un agregado grueso se expresa arbitrariamente en términos del agua que entra en los poros o capilares durante un periodo de remojo de 24 horas y se calcula sobre la base del peso del agregado secado al horno. (Quiroz Crespo & Salamanca Osuna, 2006, págs. 36 - 37).

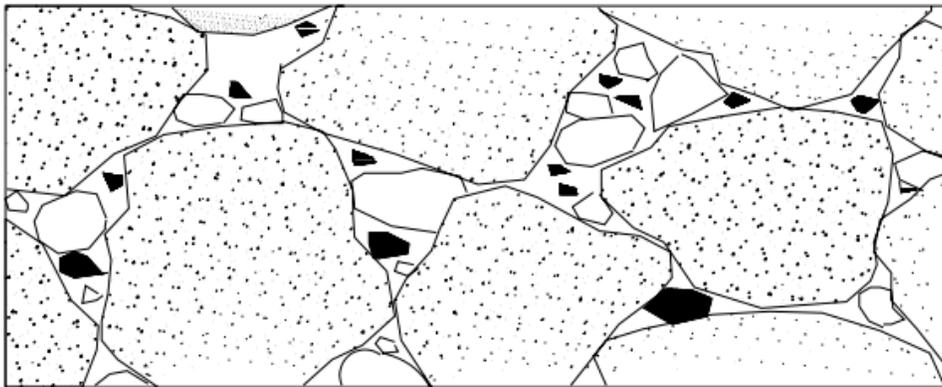
#### **2.2.3.6. Vacíos y Gradación**

- **Vacíos:** La cantidad de compactación, la forma, textura superficial y la gradación del agregado influyen de manera importante sobre la cantidad de vacíos. Un agregado bien graduado es aquel que contiene cantidades apropiadas de las

partículas progresivamente más finas para llenar las aberturas entre los tamaños mayores y, de este modo, reducir el contenido de vacíos. No obstante, no se ha encontrado que un agregado excelentemente graduado, como para dar lugar a un mínimo de vacíos, sea fundamental para tener un hormigón aceptable. De hecho, los agregados con curvas granulométricas discontinuas en uno o más tamaños de tamiz, que se han empleado con éxito e, incluso, algunos los recomiendan.

- **Gradación:** Después de la excavación o explotación en la mina, los agregados del hormigón casi siempre se sujetan a un proceso de tamizado para proporcionar los tamaños adecuados para que exista una cantidad mínima de vacíos, los que serán ocupados por la pasta de cemento, como se muestra en la Figura 2.

**Figura 2: Áridos de Granulometría Continua - Mínimos**



**Fuente:** (Quiroz Crespo & Salamanca Osuna, 2006, pág. 38)

La confirmación de que los tamaños deseados se encuentran presentes en el producto se realiza por el "análisis mecánico" o prueba de tamices. Dependiendo de la naturaleza de los agregados que se empleen, es posible que deba mantenerse un balance bastante preciso entre la relación de las fracciones de agregado fino y de agregado grueso, para lograr la movilidad, plasticidad y ausencia de segregación deseadas, todo lo cual se agrupa en el término general "trabajabilidad". (Quiroz Crespo & Salamanca Osuna, 2006, pág. 38).

#### **2.2.3.7. Módulo de Finura**

También llamado módulo granulométrico da una idea del grosor o finura del agregado.

El módulo de finura se calcula sumando los porcentajes retenidos acumulados en los tamices estándar y dividiendo la suma entre 100.

Cambios significativos en la granulometría de la arena tienen una repercusión importante en la demanda de agua y, en consecuencia, en la trabajabilidad del hormigón, por lo que si hubiese una variación significativa en la granulometría de la arena deben hacerse ajustes en el contenido de cemento y agua para conservar la resistencia del hormigón. Para no tener que recalcular la dosificación del hormigón el módulo de finura del agregado fino, entre envíos sucesivos, no debe variar en más de  $\pm 0.2$ .

Los valores normales de M.F. del agregado fino son de 2.50 a 3.0, mientras que para el agregado grueso depende del tamaño máximo del agregado. (Quiroz Crespo & Salamanca Osuna, 2006, págs. 39 - 40).

### **2.3. Aditivos**

Son productos especialmente formulados para mejorar algunas propiedades de los hormigones, tanto en estado fresco como endurecido. Para esto la Norma Boliviana NB-1001, define los requisitos de calidad que todo aditivo debe cumplir para ser aceptado en la fabricación de hormigones, restringiendo su proporción a un máximo de 5%, con relación al contenido de cemento. Por encima de este porcentaje debe ser considerado como adición y tener un tratamiento distinto.

Para el presente trabajo de investigación se empleará las virutas de acero como un aditivo ya que se analizará si este material mejora la resistencia a flexotracción del hormigón o no, para luego en algún futuro según los resultados obtenidos se pueda analizar el mismo como material para “adicionar” al hormigón.

A continuación, se describen los aditivos más comunes:

#### **2.3.1. Reductor de Agua (Plastificante)**

Como plastificante si se desea mejorar la trabajabilidad del hormigón fresco, manteniendo la cantidad de agua de amasado (sin modificar la relación A/C).

Como reductor de agua de amasado (reduce hasta un 15% de agua de amasado, disminuyendo la relación A/C), mientras se mantiene la trabajabilidad del hormigón, mejorando así la resistencia del hormigón.

Se puede además, en forma controlada, conjugar los dos efectos, mejorando la trabajabilidad y reduciendo la relación A/C. (Quiroz Crespo & Salamanca Osuna, 2006, pág. 71).

### **2.3.2. Reductor de Agua de Alto Rango (Súper – Plastificante)**

Su función es la misma que la del plastificante, pero su efecto es más enérgico. Pueden convertir a un hormigón normal en un hormigón fluido, que no requiere de vibración para llenar todos los espacios de los encofrados, inclusive en sitios de difícil acceso para el hormigón. (Quiroz Crespo & Salamanca Osuna, 2006, pág. 71).

### **2.3.3. Aceleradores**

Aditivos cuya función principal es reducir o adelantar el tiempo de fraguado (inicial y final) del cemento que se encuentra en el hormigón, lo que significa además que el hormigón desarrollará su resistencia inicial antes que una mezcla sin este aditivo. Aunque la reducción del tiempo de fraguado, puede producir una disminución de las resistencias finales, que puede ser temporal. (Quiroz Crespo & Salamanca Osuna, 2006, pág. 72).

### **2.3.4. Retardadores**

“Estos retrasan el inicio del fraguado manteniendo por más tiempo su consistencia plástica.” (Quiroz Crespo & Salamanca Osuna, 2006, pág. 73).

### **2.3.5. Agentes Incluidores de Aire**

El rol de los agentes incluidos de aire o aireadores es introducir en el hormigón millones de pequeñas burbujas de aire, separadas y repartidas uniformemente. Estas micro-burbujas permanecen así durante el endurecimiento del material, de esta manera se mejora sensiblemente la resistencia al hielo y a las sales anticongelantes. Como resultado además se obtiene el mejoramiento de la trabajabilidad y la disminución de la segregación. (Quiroz Crespo & Salamanca Osuna, 2006, pág. 74).

### **2.3.6. Impermeabilizantes**

Estos aditivos pueden reducir la profundidad de los poros visibles y pueden retardar la penetración de la lluvia en el hormigón o bloques porosos, mediante un aumento de compacidad de los hormigones. Estos aditivos no se pueden considerar agentes para proporcionar hermeticidad al agua, ya que no evitarán el paso de la humedad. (Quiroz Crespo & Salamanca Osuna, 2006, pág. 75).

### **2.3.7. Expansores**

Para (Quiroz Crespo & Salamanca Osuna, 2006, pág. 76) son: “Aditivos que se expanden durante el período de hidratación del hormigón o reaccionan con otros componentes del hormigón para causar expansión, se utilizan para reducir al mínimo los efectos de la contracción por secado.”

### **2.4. Virutas de Acero**

Se puede definir como el desecho generado por procesos de corte o torno, en su mayoría se usan para la elaboración de partes aceradas como por ejemplo para automotores, tiene varias formas redondeadas, alargadas, planas, etc. Se empleará este material como elemento adicional del hormigón, buscando que incremente la resistencia a flexión del mismo.

Recuperado de: (Universidad de Buenos Aires, Facultad de Ingeniería) A partir de la apariencia de la viruta se puede obtener mucha información valiosa acerca del proceso de corte, ya que algunos tipos de viruta indican un corte más eficiente que otros. El tipo de viruta está determinado primordialmente por:

- a. Propiedades del material a trabajar.
- b. Geometría de la herramienta de corte.
- c. Condiciones del maquinado (profundidad de corte, velocidad de avance y velocidad de corte).

En general, es posible diferenciar inicialmente tres tipos de viruta:

- **Viruta Discontinua.** Este caso representa el corte de la mayoría de los materiales frágiles tales como el hierro fundido y el latón fundido; para estos casos, los esfuerzos que se producen delante del filo de corte de la herramienta provocan fractura. Lo

anterior se debe a que la deformación real por esfuerzo cortante excede el punto de fractura en la dirección del plano de corte, de manera que el material se desprende en segmentos muy pequeños. Por lo común se produce un acabado superficial bastante aceptable en estos materiales frágiles, puesto que el filo tiende a reducir las irregularidades.

Las virutas discontinuas también se pueden producir en ciertas condiciones con materiales más dúctiles, causando superficies rugosas. Tales condiciones pueden ser bajas velocidades de corte o pequeños ángulos de ataque en el intervalo de  $0^\circ$  a  $10^\circ$  para avances mayores de 0.2 mm. El incremento en el ángulo de ataque o en la velocidad de corte normalmente elimina la producción de la viruta discontinua.

- **Viruta Continua.** Este tipo de viruta, el cual representa el corte de la mayoría de materiales dúctiles que permiten al corte tener lugar sin fractura, es producido por velocidades de corte relativamente altas, grandes ángulos de ataque (entre  $10^\circ$  y  $30^\circ$ ) y poca fricción entre la viruta y la cara de la herramienta.

Las virutas continuas y largas pueden ser difíciles de manejar y en consecuencia la herramienta debe contar con un rompevirutas<sup>5</sup> que retuerce la viruta y la quiebra en tramos cortos.

- **Viruta Continua con Protuberancias.** Este tipo de viruta representa el corte de materiales dúctiles a bajas velocidades en donde existe una alta fricción sobre la cara de la herramienta. Esta alta fricción es causa de que una delgada capa de viruta quede cortada de la parte inferior y se adhiera a la cara de la herramienta. La viruta es similar a la viruta continua, pero la produce una herramienta que tiene una saliente de metal aglutinando soldada a su cara. Periódicamente se separan porciones de la saliente y quedan depositadas en la superficie del material, dando como resultado una superficie rugosa; el resto de la saliente queda como protuberancia en la parte trasera de la viruta. (págs. 51 - 57).

---

<sup>5</sup> Mejora el control de la viruta y reduce la resistencia de corte. Un mejor equilibrio entre los dos incrementará el rendimiento del maquinado.

**Figura 3: Viruta Discontinua**



**Fuente:** Elaboración Propia

El tipo de acero de las virutas cumple con la norma ASTM A-36, que se comercializa en la ciudad de Tarija; se la obtuvo de una plancha metálica, dicho material sobra de algunos trabajos que realizan los torneros.

De esta plancha se realizaron cortes, formando discos metálicos que gracias al torno se formaron virutas discontinuas del mismo tipo de acero.

Su composición química es:

**Tabla 6: Composición Química (Valores Típicos)**

| Acero    | C     | Si   | Mn         | P     | S     |
|----------|-------|------|------------|-------|-------|
| ASTM A36 | ≤0.26 | ≤0.4 | 0.8 - 1.20 | ≤0.04 | ≤0.05 |

**Fuente:** Elaboración Propia

**Tabla 7: Composición Química (% , ≤), para Placas y Barras de Acero, ancho ≤ 380 mm (15 pulg.)**

| Acero    | C    | Si  | Mn             | P    | S    | Cu  | Espesor (d), mm (pulg.)      |
|----------|------|-----|----------------|------|------|-----|------------------------------|
| ASTM A36 | 0.26 | 0.4 | Sin requisitos | 0.04 | 0.05 | 0.2 | d ≤ 20 (0.75)                |
|          | 0.27 | 0.4 | 0.60-0.90      | 0.04 | 0.05 | 0.2 | 20 < d ≤ 40 (0.75 < d ≤ 1.5) |
|          | 0.28 | 0.4 | 0.60-0.91      | 0.04 | 0.05 | 0.2 | 40 < d ≤ 100 (1.5 < d ≤ 4)   |
|          | 0.29 | 0.4 | 0.60-0.92      | 0.04 | 0.05 | 0.2 | > 100 (4)                    |

**Fuente:** Elaboración Propia

## **2.5. El Hormigón**

Es un material que tiene gran resistencia y durabilidad; debido a cómo se elabora puede adquirir cualquier forma. El hormigón tradicional se puede obtener con la mezcla de tres componentes esenciales como son: el cemento, agua y agregados o áridos; a estos en ciertas ocasiones se les añade un cuarto componente conocido como aditivo, cuya función es otorgarle cierta mejora a sus propiedades mecánicas, en este caso particular el elemento es la viruta de acero.

Los materiales pétreos se agregan a la pasta por una cuestión de economía al tener similar resistencia a la del material endurecido, procurando que su volumen sea el mayor posible y su conformación lo suficientemente variada como para que no queden huecos sin llenar por la pasta y que ésta los recubra perfectamente.

El proceso de endurecimiento del hormigón comienza luego del mezclado en el cual se produce el inicio de la reacción química al ponerse el cemento en contacto con el agua. Esta reacción química persiste mientras haya existencia de agua o humedad en la mezcla y necesita para producirse un mínimo de un 20% de agua en relación a la cantidad de cemento empleada, medida en peso, aunque esta proporción dé lugar a un producto muy poco moldeable, necesitando de agua adicional.

Esta adición de agua no es necesaria para que se produzca la reacción química, pero sí lo es para asegurarnos la trabajabilidad (facilidad de ser moldeado, colado y acabado), de la mezcla fresca, lo que conduce a un eficaz llenado de los moldes sin que se produzcan huecos, pero tiene el doble inconveniente de que reduce proporcionalmente la resistencia final del hormigón y que su evaporación por secado da origen a la aparición de conductos capilares (fisuras y grietas por evaporación de agua) que van desde la masa del hormigón hasta su superficie y que, finalmente, quedan vacíos a través de estos conductos donde puede colarse la humedad y producir la corrosión de las armaduras, disminuyendo la durabilidad del material.

Para lograr la homogeneidad (relación de semejanza y uniformidad) del material es necesario contar con una dosificación adecuada, tanto de los materiales ligantes (cemento) como de los inertes (arena y grava), con una suficiente cantidad de agua como para que la

mezcla resulte trabajable y sin un exceso que le haga perder demasiada resistencia. El tiempo de mezclado debe ser suficiente (90 segundos aproximadamente) porque un exceso provocaría la segregación (separación de los componentes del hormigón) de los materiales y un defecto podría provocar que la pasta no recubriera los áridos en su totalidad. (Carrillo, Salomone, & Nápoli, 2009, págs. 3 - 4).

El hormigón tiene una gran resistencia a esfuerzos de compresión y muy escasa a los de tracción, (aproximadamente el 10% de su resistencia a compresión). Las propiedades y características del mismo se estudian con el único fin de determinar el diseño de la mezcla adecuado para cumplir con las especificaciones previamente solicitadas.

### **2.5.1. Propiedades del Hormigón**

#### **2.5.1.2. Estado Fresco**

Se considera como estado fresco del hormigón, cuando se finaliza el amasado del mismo hasta cuando empieza a endurecer (rigidizar); una de las características son la trabajabilidad, pero también se da los casos de segregación, exudación y retracción.

- **Trabajabilidad**, es decir la facilidad con la que se puede mezclar, transportar y vaciar en un lugar determinado con una pérdida mínima de homogeneidad.

Se puede llegar a medir la trabajabilidad del hormigón con el Cono de Abrams.

- **Segregación**, ocurre cuando los materiales que componen el hormigón se separan. Esto se puede dar por dos causas internas y externas, la primera es cuando hay una mala distribución granulométrica o mala proporción de la mezcla, la segunda se da cuando existe un mal manejo, mal mezclado e incluso carencia o exceso de vibrado.
- **Exudación**, conocida también como sangrado, se denomina a la tendencia que tiene el agua de subir a la superficie del hormigón recién vaciado. Esto puede conducir a una disminución en la relación agua/cemento.
- **Retracción**, sucede cuando la evaporación del agua va produciendo un secado progresivo del hormigón, produciendo fisuraciones.

#### **2.5.1.3. Estado Endurecido**

Entre las principales tenemos las siguientes:

- **Elasticidad**, es la capacidad que tiene el hormigón de deformarse bajo el efecto de una carga actuante, sin existir una deformación permanente. Esto se observa mejor según el Módulo de Elasticidad del mismo.
- **Resistencia**, es la capacidad de soportar cargas y esfuerzos; su mejor comportamiento es en compresión a comparación con la tracción ya que esta resiste aproximadamente el 10% de lo que soporta a compresión, debido a las propiedades adherentes de la pasta de cemento. Esta propiedad depende en gran parte de la relación agua/cemento, la temperatura, el tiempo, el tipo de cemento y calidad de los agregados empleados. Otro factor a tener en cuenta para esta propiedad es el tiempo de curado que se le brinda al hormigón.
- **Extensibilidad**, es la propiedad del hormigón de poder deformarse sin tener que presentar agrietaciones, depende de la elasticidad del mismo y se observa al estar sometido a cargas constantes a lo largo del tiempo.
- **Densidad**, es la cantidad de peso por unidad de volumen (densidad=peso/volumen). Variará con la clase de áridos y con la forma de colocación en obra.
  - La densidad de los Hormigones livianos oscilará entre los 2 y los 15 kN/m<sup>3</sup>.
  - Las densidades de los Hormigones normales oscilan en:
    - Apisonados: 20 a 22 kN/m<sup>3</sup>.
    - Vibrados: 23 a 24 kN/m<sup>3</sup>. o Centrifugados: 24 a 25 kN/m<sup>3</sup>.
    - Proyectados 25 a 26 kN/m<sup>3</sup>.
    - En los Hormigones Pesados las densidades pueden alcanzar los 40 kN/m<sup>3</sup>. Este tipo de Hormigón se utiliza para construir pantallas de protección contra las radiaciones.
- **Durabilidad**, es la capacidad del hormigón de resistir el paso del tiempo sin perder sus otras propiedades; la durabilidad del hormigón depende de los agentes que pueden agredir al material, ya sean: mecánicos, físicos o químicos. Los que mayor daño

producen al hormigón son: el agua, las sales que arrastra, el calor o variaciones bruscas de temperatura, agentes contaminantes.

- **Permeabilidad**, es la capacidad de un material de hacer atravesar líquidos o gases (fluidos).

La impermeabilidad del hormigón es importante para su resistencia a los ataques químicos. Esta impermeabilidad depende en parte del exceso de agua en el amasado y del posterior curado del hormigón. Para que un hormigón tenga mayor impermeabilidad, suelen emplearse aditivos.

- **Porosidad**, la porosidad se considera como la proporción de huecos respecto de la masa total. Influye en la resistencia, la densidad, y la permeabilidad del hormigón.

### **2.5.2. Curado de Especímenes de Hormigón**

El curado se realiza para evitar la evaporación de agua sin endurecer, los testigos deben ser cubiertos inmediatamente después del acabado, preferiblemente con una platina no reactiva con el concreto, o una lámina de plástico dura e impermeable. Se permite el uso de lona húmeda para el cubrimiento de las muestras, pero se evitará el contacto con la lona, la cual debe permanecer húmeda durante las 24 horas contadas después de confeccionar la muestra. Las muestras deben ser removidas de sus moldes en un tiempo no menor de 20 horas ni mayor de 48 horas después de su elaboración.

El ambiente de curado o cámara húmeda proporcionará a los especímenes sumergidos en agua una humedad de 50% al 100% y una temperatura de  $23^{\circ} \pm 2^{\circ} \text{ C}$  ( $73.4^{\circ} \pm 3^{\circ} \text{ F}$ ) desde el momento en que se realiza el desmolde hasta el momento del ensayo. También se puede sumergir en agua atemperada de  $23^{\circ}$  a  $27^{\circ} \text{ C}$ . (Quiroz Crespo & Salamanca Osuna, 2006, pág. 199).

### **2.6. Influencia de las Fibras de Acero en el Hormigón**

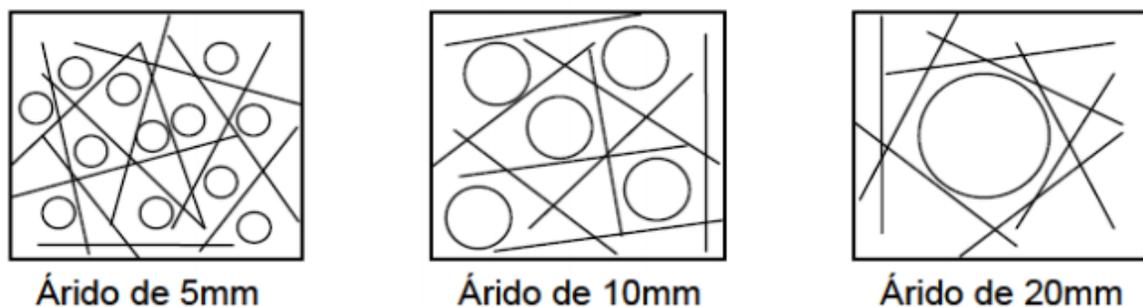
Una de las grandes ventajas que se tiene con el uso de este tipo de fibras en el hormigón es incorporarlo a elementos que se encuentren trabajando a esfuerzos de tracción. Las fibras metálicas, concretamente las de acero, son las que más se emplean en el refuerzo de hormigones por ser las más eficaces y económicas, si tenemos elementos que están sometidos a esfuerzos de tracción

Los principales efectos que trae consigo la incorporación de fibras de acero a los hormigones podemos resumirlos en los siguientes:

- Mejora del comportamiento a flexotracción.
- Incremento de la resistencia a rotura.
- Reducción de la deformación bajo cargas mantenidas.
- Aumento de la resistencia a tracción.
- Fuerte incremento en la resistencia a impacto y choque.
- Gran resistencia a fatiga dinámica.
- Fisuración controlada. Aumento de la durabilidad. (Fernández Cánovas, 1981, pág. 6).

“Los hormigones reforzados con fibras de acero están formados, esencialmente, por: un conglomerante hidráulico; áridos finos y gruesos; agua; fibras discontinuas cuya misión es contribuir a mejorar determinadas características de los hormigones y, eventualmente, aditivos.” (Mármol Salazar, 2010, pág. 15).

**Figura 4: Efecto del Tamaño del Árido en la Distribución de las Fibras**



**Fuente:** (Mármol Salazar, 2010) (pág. 16)

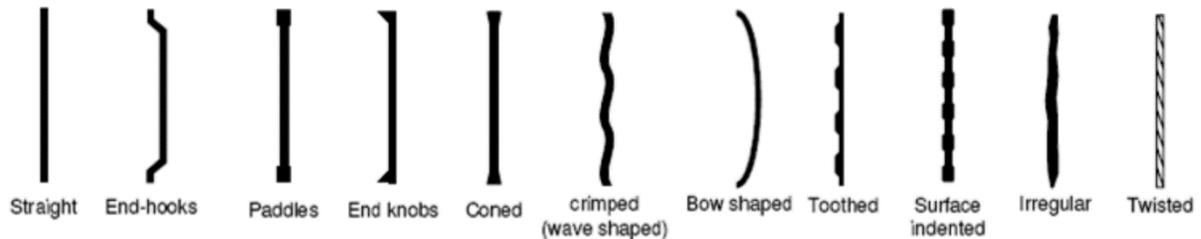
Para conseguir una buena resistencia a tracción y flexotracción se recomienda que la longitud de las fibras (viruta de acero) sea como mínimo el doble del tamaño del árido.

Si la proporción de fibras es alta (superior al 3% o 4% en peso), si el tamaño del árido es mayor a 0.02m, existe el peligro de la formación de bolas de fibras (erizos). (García

Meseguer, Morán Cabré, & Arroyo Portero, 2010, págs. 96 - 97)

Para evitar esto y lograr una buena dispersión de las fibras se recomienda adicionarlas a una mezcla ya fluida (ACI-544), dosificar los hormigones con suficiente contenido de agregado fino y no emplear fibras demasiado esbeltas.

**Figura 5: Forma Geométrica de las Fibras**



**Fuente:** (Mármol Salazar, 2010, pág. 19)

## 2.7. Campo de Aplicación de las Virutas de Acero

Los principales empleos de las virutas de acero en el hormigón se dan en elementos que estén sometidos a esfuerzos de tracción como pueden ser las cáscaras de pared delgada (cúpulas, reservorios cilíndricos), como también los elementos que estén trabajando a esfuerzos combinados e incluso de torsión.

A continuación, se presentan algunas otras aplicaciones en las que tuvo éxito este material:

- Las fibras de acero distribuidas en una losa de hormigón armado reducen la propagación de fisuras debido a la retracción, aumenta la resistencia e incluso colabora en la ductilidad del mismo. La disminución en la resistencia que generan los agregados livianos en reemplazo de los agregados comunes se compensa con el aumento de resistencia dado por las fibras de acero.
- Las investigaciones experimentales muestran que las fibras de acero en el hormigón, en adecuadas cantidades, mejora la resistencia al corte por las siguientes razones: el aumento en la resistencia a la tracción retarda la formación y crecimiento de fisuras, una menor distancia entre fibras que la que existe entre estribos implica mayor efectividad en el mecanismo de “coser las fisuras” que tienen ambos refuerzos y por último una mejor distribución de las fisuras de tracción. (Cucchiara, La Mendola , & Papia, 2004)

- Para el hormigón proyectado reforzado con fibra de acero (SFERS: Steel Fiber Reinforced Shotcrete), una de sus características es su alta resistencia y su ductilidad luego del pico de tensión. El valor de la resistencia de este tipo de hormigón especial aumenta rápidamente luego de su aplicación, y alcanza a casi el doble que el hormigón proyectado ordinario. La ductilidad del SFERS se obtiene con la introducción de las fibras de acero y es efectiva para mantener el túnel estable luego de la fluencia. Asimismo, SFERS es efectivo para sostener la presión de la tierra. (Masayasu, 2003).

El acero es el material más comúnmente usado para las fibras. Los concretos resultantes parecen ser muy durables, por lo menos mientras las fibras están cubiertas y protegidas por la pasta de cemento. Los concretos reforzados con fibras de acero son muy usados en pavimentos, cascarones delgados y productos precolados, así como en algunos parches y cubiertas.

Se ha mostrado que el uso de las fibras incrementa la vida por fatiga de las vigas y disminuye los anchos de las grietas cuando los miembros están sometidos a cargas de fatiga.

El uso de fibras incrementa considerablemente los costos. Ésta ha sido probablemente la razón por la que los concretos reforzados con fibras se han usado más bien para revestimientos tales como pavimentos de autopistas y pistas de aeropuertos, no para proyectos integrales de concreto. En realidad, a largo plazo, si las cargas incrementadas de servicio de los concretos reforzados con fibras son consideradas, ellos podrían resultar económicamente favorables. Por ejemplo, muchos contratistas de hogares residenciales usan concreto reforzado con fibras para construir vías de acceso a garajes en vez de concreto reforzado convencional. (McCormac & Brown, 2011, págs. 20 - 21).

## **2.8. Dosificación para Elaborar la Mezcla de Hormigón**

Para la correcta elaboración del hormigón de 21MPa se analizará las virutas de acero como si fueran fibras del mismo material, además de que se realizará 15 probetas cilíndricas para poder certificar que la dosificación de la presente investigación cumple con la resistencia prevista. Con la rotura de las mismas a los 28 días en la prensa de laboratorio de Resistencia de los Materiales (U.A.J.M.S.)

Los componentes del hormigón reforzado con fibras de acero son: cemento, agua, áridos, aditivos (y, en su caso, adiciones) y el propio material, que en este caso serán las virutas de acero. La particularidad que presenta este material en la mezcla que, al ser elementos rígidos, con gran área superficial y con geometría muy diferente a la de los áridos, la docilidad del hormigón se ve reducida.

Aun así, la adición de virutas de acero no condiciona la naturaleza de los componentes del hormigón. Se necesita tener especial atención al contenido de cloruros de los componentes para evitar la corrosión de las virutas. Es decir, los cementos, el agua de amasado y los áridos pueden ser los mismos que en el caso del hormigón convencional de acuerdo con las normativas correspondientes.

Sin embargo, para este hormigón es preferible el uso de áridos rodados, especialmente las arenas puesto que, para una relación agua/cemento dada, aportan una mayor docilidad que los áridos machacados. Por esta razón, es habitual incorporar más cantidad de finos que en los hormigones convencionales, con el objetivo de contrarrestar la reducción de docilidad provocada por la incorporación de viruta.

Otro aspecto a tener en cuenta es la relación entre el tamaño máximo de árido y la longitud de las fibras, pues influye en las resistencias a tracción, flexotracción y tenacidad. Además, para asegurar la eficacia de las virutas, éstas deben envolver al árido. Para obtener los mejores resultados conviene que el tamaño máximo del árido grueso sea la mitad de la longitud de la fibra.

Por lo general, el tamaño máximo de árido utilizado es de 20 mm. En relación a los aditivos, en este tipo de hormigones se utilizan aditivos reductores de agua, sobre todo superplastificantes, para compensar la ya mencionada reducción de docilidad que provocan las virutas. En ningún caso debe compensarse mediante un incremento del agua de amasado.

El empleo de adiciones mejora su impermeabilidad y en consecuencia su durabilidad. Adicionalmente, se produce un aumento de las resistencias mecánicas.

La máxima eficacia de este material viene dada por una correcta dosificación de los componentes. No obstante, no existe un método de dosificación establecido para los hormigones reforzados con viruta de acero. En general se toma como referencia la

dosificación del hormigón convencional, realizando algunas modificaciones para compensar, la disminución de docilidad y conseguir una distribución adecuada de las virutas en el hormigón. Para obtener el máximo rendimiento de este material es necesario que éstas se encuentren embebidas en la mezcla.

Los factores que hay que tener en cuenta en la dosificación son, las que se presentan a continuación:

- Relación agua/cemento
- Contenido de cemento
- Tamaño máximo y granulometría del árido
- Tipo y contenido de fibras
- Tipo y contenido de adiciones
- Tipo y contenido de aditivos

El primero de los factores mencionados, la relación agua/cemento, es esencial para la resistencia mecánica y la durabilidad del hormigón. Para este tipo de hormigones oscila entre 0,4-0,65.

En cuanto al segundo factor, el contenido de cemento, cuyo valor oscila entre los 300-450 kg/m<sup>3</sup>, superior al de los hormigones convencionales.

El tamaño máximo del árido, tal y como se ha dicho anteriormente, es de 20 mm.

La necesidad de compacidad máxima requiere de un mayor contenido de árido fino (arena). Finalmente, independientemente del método de dosificación, es vital que la dispersión de las virutas de acero sea uniforme con el fin de evitar riesgo de segregación y de formación de bolas entre las mismas. La uniformidad en la dispersión depende principalmente del porcentaje de viruta, la esbeltez, la relación agua/cemento y el sistema de mezclado.

Con los valores anteriormente mencionados de estos parámetros se puede obtener esa uniformidad. Amasado y puesta en obra. Para el amasado simplemente se añaden las virutas

con el resto de componentes a la hormigonera. Se amasa durante un minuto o minuto y medio hasta conseguir la dispersión de todas las virutas.

El acero posee un módulo de elasticidad diez veces superior al del hormigón; este tipo de fibras de acero detentan una buena adherencia a la pasta, alto alargamiento de rotura y, por otra parte, son fáciles de mezclar.

Recuperado de (García Meseguer, Morán Cabré, & Arroyo Portero, 2010). Las fibras de acero pueden obtenerse por diferentes métodos; el más común consiste en fabricarlas por corte de alambre trefilado, de acero, de bajo contenido en carbono. El diámetro de los alambres está comprendido entre 0,25 y 0,80 mm. La longitud de las fibras puede ser muy variable, oscilando entre 10 y 75 mm.

Los principales efectos que trae consigo la incorporación de fibras de acero a los hormigones podemos resumirlos en los siguientes:

- Mejora del comportamiento a flexotracción.
- Incremento de la resistencia a rotura.
- Reducción de la deformación bajo cargas mantenidas.
- Aumento de la resistencia a tracción.
- Fuerte incremento en la resistencia a impacto y choque.
- Gran resistencia a fatiga dinámica.
- Fisuración controlada. Aumento de la durabilidad. (pág. 96).

### **2.8.1. Método A.C.I. (American Concrete Institute)**

El comité 318 de la ACI, define este método como la práctica estándar para seleccionar proporciones en condiciones normales, seleccionar su pesaje y masa de los ingredientes que componen el Hormigón.

El Comité de la 211, da el método de dosificar hormigones, posteriormente las diferentes tablas se fueron corrigiendo por las exigencias de las solicitudes que requerían algunos tipos de hormigones.

Utilizando hasta el día de hoy para mezclas de hormigón son las que señalan:

### 2.8.1.1. Procedimiento de Diseño

**Tabla 8: Procedimiento de Diseño**

| PASO | DESCRIPCIÓN                                  |
|------|--|
| 1    | Selección del asentamiento                   |
| 2    | Selección del tamaño máximo del agregado     |
| 3    | Estimación del contenido de aire             |
| 4    | Estimación del contenido de agua de mezclado |
| 5    | Determinación de la resistencia de diseño    |
| 6    | Selección de la relación agua-cemento        |
| 7    | Cálculo del contenido de cemento             |
| 8    | Estimación de las proporciones de agregados  |
| 9    | Ajuste por humedad de los agregados          |
| 10   | Ajustes a las mezclas de prueba              |

**Fuente:** (Sánchez de Guzmán, 2001, pág. 227)

### 2.8.1.2. Asentamientos Recomendados para Diversos Tipos de Construcción y Sistemas de Colocación y Compactación

**Tabla 9: Asentamientos Recomendados para Diversos Tipos de Construcción y Sistemas de Colocación y Compactación**

| Consistencia | Asentamiento mm. | Ejemplo de Tipo de construcción  | Sistema de colocación  | Sistema de compactación  |
|--------------|------------------|--|--|--|
| Muy seca     | 0-20             | Prefabricados de alta resistencia, revestimiento de pantallas de cimentación | Con vibradores de formaleta; hormigones de proyección neumática (lanzados) | Secciones sujetas a vibración extrema, puede requerirse presión                        |
| Seca         | 20-35            | Pavimentos   | Pavimentadoras con terminadora vibratoria                                  | Secciones sujetas a vibración intensa  |
| Semi - seca  | 35-50            | Pavimentos, fundaciones en homigón simple                                    | Colocación con máquinas operadas manualmente                               | Secciones simplemente reforzadas, con vibración  |
| Media        | 50-100           | Elementos compactados a mano, losas muros, vigas                             | Colocación manual  | Secciones medianamente reforzadas, sin vibración                                       |
| Húmeda       | 100-150          | Elementos estructurales esbeltos   | Bombeo   | Secciones bastante reforzadas, sin vibración   |
| Muy húmeda   | 150 o más        | Elementos muy esbeltos, pilotes fundidos "in situ"                           | Tubo-embudo Tremie   | Secciones altamente reforzadas, sin vibración (Normalmente no adecuados para vibrarse) |

**Fuente:** (Sánchez de Guzmán, 2001, pág. 228)

### 2.8.1.3. Tamaños Máximos de Agregados según el Tipo de Construcción

**Tabla 10: Tamaños Máximos de Agregados según el Tipo de Construcción**

| Dimensión mínima de la sección (cm) | Tamaño máximo en pulg. (mm.)       |                    |                      |                                      |
|-------------------------------------|------------------------------------|--------------------|----------------------|--------------------------------------|
|                                     | Muros reforzados, vigas y columnas | Muros sin refuerzo | Losas muy reforzadas | Losas sin refuerzo o poco reforzadas |
| 6 - 15                              | 1/2"(12) - 3/4"(19)                | 3/4"(19)           | 3/4"(19) - 1"(25)    | 3/4"(19) - 1 3/4"(38)                |
| 19 - 29                             | 3/4"(19) - 1 1/2"(38)              | 1 1/2"(38)         | 1 1/2"(38)           | 1 1/2"(38) - 3"(76)                  |
| 30 - 74                             | 1 1/2"(38) - 3"(76)                | 3"(76)             | 1 1/2"(38) - 3"(76)  | 3"(76)                               |
| 75 o más                            | 1 1/2"(38) - 3"(76)                | 6"(152)            | 1 1/2"(38) - 3"(76)  | 3"(76) - 6"(152)                     |

Fuente: (Sánchez de Guzmán, 2001, pág. 230)

### 2.8.1.4. Cantidad Aproximada de Aire Esperado en Concreto sin Aire Incluido y Niveles de Aire Incluido para Diferentes Tamaños Máximos de Agregado

**Tabla 11: Cantidad Aproximada de Aire Esperado en Concreto sin Aire Incluido y Niveles de Aire Incluido para Diferentes Tamaños Máximos de Agregado**

| Tamaño máximo nominal del agregado |        | Contenido de aire en porcentaje (por volumen) |                   |                     |                   |
|------------------------------------|--------|---|-------------------|---------------------|-------------------|
|                                    |        | Naturalmente atrapado                         | Exposición ligera | Exposición moderada | Exposición severa |
| mm                                 | plg    |   |                   |                     |                   |
| 9.51                               | 3/8"   | 3   | 4.5               | 6                   | 7.5               |
| 12.7                               | 1/2"   | 2.5   | 4                 | 5.5                 | 7                 |
| 19                                 | 3/4"   | 2   | 3.5               | 5                   | 6                 |
| 24.5                               | 1"     | 1.5   | 3                 | 4.5                 | 6                 |
| 38.1                               | 1 1/2" | 1   | 2.5               | 4.5                 | 5.5               |
| 50.8                               | 2"     | 0.5   | 2                 | 4                   | 5                 |
| 76.1                               | 3"     | 0.3   | 1.5               | 3.5                 | 4.5               |
| 152                                | 6"     | 0.2   | 1                 | 3                   | 4                 |

Fuente: (Sánchez de Guzmán, 2001, pág. 232)

**2.8.1.5. Requerimiento Aproximado de Agua de Mezclado para Diferentes Asentamientos y Tamaños Máximos de Agregado, con Partículas de Forma Redondeada y Textura Lisa, en Hormigón sin Aire Incluido**

**Tabla 12: Requerimiento Aproximado de Agua de Mezclado para Diferentes Asentamientos y Tamaños Máximos de Agregado, con Partículas de Forma Redondeada y Textura Lisa, en Hormigón sin Aire Incluido**

| Asentamiento |       | Tamaño máximo del agregado, en mm (pulg.)          |               |               |             |                 |             |                 |             |
|--------------|-------|--|---------------|---------------|-------------|-----------------|-------------|-----------------|-------------|
|              |       | 9.51<br>3/8"                                       | 12.70<br>1/2" | 19.00<br>3/4" | 25.40<br>1" | 38.10<br>1 1/2" | 50.80<br>2" | 64.00<br>2 1/2" | 76.10<br>3" |
| mm           | pulg. | Agua de mezclado, en Kg/m <sup>3</sup> de hormigón |               |               |             |                 |             |                 |             |
| 0            | 0     | 213  | 185           | 171           | 154         | 144             | 136         | 129             | 123         |
| 25           | 1     | 218  | 192           | 177           | 161         | 150             | 142         | 134             | 128         |
| 50           | 2     | 222  | 197           | 183           | 167         | 155             | 146         | 138             | 132         |
| 75           | 3     | 226  | 202           | 187           | 172         | 160             | 150         | 141             | 136         |
| 100          | 4     | 229  | 205           | 191           | 176         | 164             | 154         | 144             | 139         |
| 125          | 5     | 231  | 208           | 194           | 179         | 168             | 156         | 146             | 141         |
| 150          | 6     | 233  | 212           | 195           | 182         | 172             | 159         | 150             | 146         |
| 175          | 7     | 237  | 216           | 200           | 187         | 176             | 165         | 156             | 148         |
| 200          | 8     | 244  | 222           | 206           | 195         | 182             | 171         | 162             | 154         |

Fuente: (Sánchez de Guzmán, 2001, pág. 233)

**2.8.1.6. Requerimiento Aproximado de Agua de Mezclado para Diferentes Asentamientos y Tamaños Máximos de Agregado, con Partículas de Forma Angular y Textura Rugosa, en Hormigón sin Aire Incluido**

**Tabla 13: Requerimiento Aproximado de Agua de Mezclado para Diferentes Asentamientos y Tamaños Máximos de Agregado, con Partículas de Forma Angular y Textura Rugosa, en Hormigón sin Aire Incluido**

| Asentamiento |       | Tamaño máximo del agregado, en mm (pulg.)          |               |               |             |                 |             |                 |             |
|--------------|-------|--|---------------|---------------|-------------|-----------------|-------------|-----------------|-------------|
|              |       | 9.51<br>3/8"                                       | 12.70<br>1/2" | 19.00<br>3/4" | 25.40<br>1" | 38.10<br>1 1/2" | 50.80<br>2" | 64.00<br>2 1/2" | 76.10<br>3" |
| mm           | pulg. | Agua de mezclado, en Kg/m <sup>3</sup> de hormigón |               |               |             |                 |             |                 |             |
| 0            | 0     | 223  | 201           | 186           | 171         | 158             | 147         | 141             | 132         |
| 25           | 1     | 231  | 208           | 194           | 178         | 164             | 154         | 147             | 138         |
| 50           | 2     | 236  | 214           | 199           | 183         | 170             | 159         | 151             | 144         |
| 75           | 3     | 241  | 218           | 203           | 188         | 175             | 164         | 156             | 148         |
| 100          | 4     | 244  | 221           | 207           | 192         | 179             | 168         | 159             | 151         |
| 125          | 5     | 247  | 225           | 210           | 196         | 183             | 172         | 162             | 153         |
| 150          | 6     | 251  | 230           | 214           | 200         | 187             | 176         | 15              | 157         |
| 175          | 7     | 256  | 235           | 218           | 205         | 192             | 181         | 170             | 163         |
| 200          | 8     | 260  | 240           | 224           | 210         | 197             | 186         | 176             | 168         |

Fuente: (Sánchez de Guzmán, 2001, pág. 234)

**2.8.1.7. Requerimiento Aproximado de Agua de Mezclado para Diferentes Asentamientos y Tamaños Máximos de Agregado, con Partículas de Forma Redondeada y Textura Lisa, en Hormigón con Aire Incluido**

**Tabla 14: Requerimiento Aproximado de Agua de Mezclado para Diferentes Asentamientos y Tamaños Máximos de Agregado, con Partículas de Forma Redondeada y Textura Lisa, en Hormigón con Aire Incluido**

| Asentamiento |       | Tamaño máximo del agregado, en mm (pulg.)          |       |       |       |        |       |        |       |
|--------------|-------|--|-------|-------|-------|--------|-------|--------|-------|
|              |       | 9.51   | 12.70 | 19.00 | 25.40 | 38.10  | 50.80 | 64.00  | 76.10 |
|              |       | 3/8"   | 1/2"  | 3/4"  | 1"    | 1 1/2" | 2"    | 2 1/2" | 3"    |
| mm           | pulg. | Agua de mezclado, en Kg/m <sup>3</sup> de hormigón |       |       |       |        |       |        |       |
| 0            | 0     | 188  | 161   | 151   | 134   | 129    | 121   | 119    | 113   |
| 25           | 1     | 193  | 167   | 157   | 141   | 135    | 127   | 124    | 117   |
| 50           | 2     | 197  | 172   | 163   | 147   | 140    | 131   | 128    | 122   |
| 75           | 3     | 200  | 176   | 167   | 152   | 145    | 135   | 132    | 125   |
| 100          | 4     | 203  | 179   | 169   | 155   | 148    | 137   | 134    | 128   |
| 125          | 5     | 205  | 183   | 172   | 158   | 151    | 140   | 137    | 130   |
| 150          | 6     | 208  | 188   | 176   | 162   | 155    | 144   | 141    | 134   |
| 175          | 7     | 213  | 194   | 181   | 167   | 161    | 150   | 146    | 139   |
| 200          | 8     | 219  | 201   | 196   | 174   | 167    | 156   | 152    | 144   |

Fuente: (Sánchez de Guzmán, 2001, pág. 234)

**2.8.1.8. Requerimiento Aproximado de Agua de Mezclado para Diferentes Asentamientos y Tamaños Máximos de Agregado, con Partículas de Forma Angular y Textura Rugosa, en Hormigón con Aire Incluido**

**Tabla 15: Requerimiento Aproximado de Agua de Mezclado para Diferentes Asentamientos y Tamaños Máximos de Agregado, con Partículas de Forma Angular y Textura Rugosa, en Hormigón con Aire Incluido**

| Asentamiento |       | Tamaño máximo del agregado, en mm (pulg.)          |       |       |       |        |       |        |       |
|--------------|-------|--|-------|-------|-------|--------|-------|--------|-------|
|              |       | 9.51   | 12.70 | 19.00 | 25.40 | 38.10  | 50.80 | 64.00  | 76.10 |
|              |       | 3/8"   | 1/2"  | 3/4"  | 1"    | 1 1/2" | 2"    | 2 1/2" | 3"    |
| mm           | pulg. | Agua de mezclado, en Kg/m <sup>3</sup> de hormigón |       |       |       |        |       |        |       |
| 0            | 0     | 198  | 176   | 166   | 152   | 143    | 132   | 130    | 122   |
| 25           | 1     | 206  | 183   | 174   | 158   | 149    | 138   | 136    | 128   |
| 50           | 2     | 211  | 189   | 179   | 164   | 155    | 144   | 142    | 134   |
| 75           | 3     | 216  | 193   | 183   | 169   | 159    | 149   | 146    | 138   |
| 100          | 4     | 219  | 196   | 186   | 172   | 163    | 152   | 150    | 141   |
| 125          | 5     | 222  | 200   | 190   | 176   | 167    | 156   | 153    | 144   |
| 150          | 6     | 226  | 205   | 194   | 180   | 171    | 161   | 157    | 148   |
| 175          | 7     | 230  | 210   | 199   | 185   | 177    | 166   | 162    | 153   |
| 200          | 8     | 235  | 215   | 204   | 190   | 182    | 177   | 169    | 158   |

Fuente: : (Sánchez de Guzmán, 2001, pág. 235)

**2.8.1.9. Resistencia de Diseño Cuando no hay Datos que Permitan Determinar la Desviación Estándar**

**Tabla 16: Resistencia de Diseño Cuando no hay Datos que Permitan Determinar la Desviación Estándar**

| Resistencia específica $f_{ck}$ en (MPa) | Resistencia de diseño de la mezcla $f_{cm}$ en (MPa) |
|--|--|
| Menos de 21 Mpa                          | $f_{ck} + 7$ Mpa                                     |
| De 21 a 35 Mpa                           | $f_{ck} + 8.5$ Mpa                                   |
| Más de 35 MPa                            | $f_{ck} + 10$ MPa                                    |

**Fuente:** (Sánchez de Guzmán, 2001, pág. 237)

**2.8.1.10. Correspondencia entre la Resistencia a la Compresión a los 28 Días de Edad y la Relación Agua-Cemento, para los Cementos Portland Tipo I, en Hormigones sin Aire Incluido**

**Tabla 17: Correspondencia entre la Resistencia a la Compresión a los 28 Días de Edad y la Relación Agua-Cemento, para los Cementos Portland Tipo I, en Hormigones sin Aire Incluido**

| Resistencia a la compresión (Mpa) | Relación agua-cemento en peso |             |                 |
|-----------------------------------|-------------------------------|-------------|-----------------|
|                                   | Límite superior               | Línea media | Límite inferior |
| 14                                | -                             | 0.72        | 0.65            |
| 17.5                              | -                             | 0.65        | 0.58            |
| 21                                | 0.7                           | 0.58        | 0.53            |
| 24.5                              | 0.64                          | 0.53        | 0.49            |
| 28                                | 0.59                          | 0.48        | 0.45            |
| 31.5                              | 0.54                          | 0.44        | 0.42            |
| 35                                | 0.49                          | 0.40        | 0.38            |

**Fuente:** (Sánchez de Guzmán, 2001, pág. 238)

**2.8.1.11. Correspondencia Entre la Resistencia a la Compresión a los 28 Días de Edad y la Relación Agua-Cemento para los Cementos Pórtland Tipo I, en Hormigones con Aire Incluido**

**Tabla 18: Correspondencia Entre la Resistencia a la Compresión a los 28 Días de Edad y la Relación Agua-Cemento para los Cementos Portland Tipo I, en Hormigones con Aire Incluido**

| Resistencia a la compresión Mpa | Relación agua-cemento en peso |             |                 |
|---------------------------------|-------------------------------|-------------|-----------------|
|                                 | Límite superior               | Línea media | Límite inferior |
| 14                              | -                             | 0.65        | 0.58            |
| 17.5                            | -                             | 0.59        | 0.52            |
| 21                              | 0.65                          | 0.54        | 0.49            |
| 24.5                            | 0.61                          | 0.50        | 0.46            |
| 28                              | 0.55                          | 0.44        | 0.41            |
| 31.5                            | 0.51                          | 0.41        | 0.39            |
| 35                              | 0.46                          | 0.37        | 0.36            |

Fuente: (Sánchez de Guzmán, 2001, pág. 238)

#### 2.8.1.12. Volumen de Agregado Grueso, Seco y Compactado con Varilla, por Volumen de Hormigón para Diferentes Módulos de Finura de la Arena

**Tabla 19: Volumen de Agregado Grueso, Seco y Compactado con Varilla, por Volumen de Hormigón para Diferentes Módulos de Finura de la Arena**

| Tamaño máximo |        | Módulo de finura de la arena |      |      |      |
|---------------|--------|------------------------------|------|------|------|
| mm.           | pulg.  | 2.40                         | 2.60 | 2.80 | 3.00 |
| 9.5           | 3/8"   | 0.50                         | 0.48 | 0.46 | 0.44 |
| 12.7          | 1/2"   | 0.59                         | 0.57 | 0.55 | 0.53 |
| 19.0          | 3/4"   | 0.66                         | 0.64 | 0.62 | 0.60 |
| 25.4          | 1"     | 0.71                         | 0.69 | 0.67 | 0.65 |
| 38.1          | 1 1/2" | 0.75                         | 0.73 | 0.71 | 0.69 |
| 50.8          | 2"     | 0.78                         | 0.76 | 0.74 | 0.72 |
| 76.1          | 3"     | 0.82                         | 0.80 | 0.78 | 0.76 |
| 152.0         | 6"     | 0.87                         | 0.85 | 0.83 | 0.81 |

Fuente: (Sánchez de Guzmán, 2001, pág. 241)

Para la utilización de estas tablas se debe tener como requisitos mínimos ensayos de:

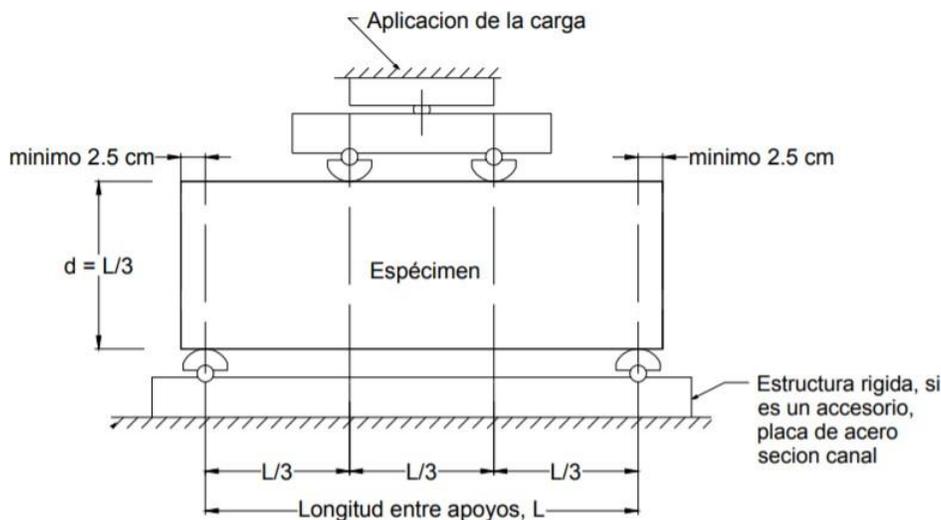
- Peso específico del cemento a emplear, ASTM C-188.
- Granulometría de los agregados, ASTM C-136.
- Pesos específicos y porcentaje de Absorción del agregado grueso, ASTM C-127.
- Pesos específicos y porcentaje de Absorción del agregado fino, ASTM C-128.
- Pesos Unitarios de los agregados, ASTM C-29, ASTM E-30.

### 2.8.2. Determinación de la Resistencia a Flexotracción (NB-640)

Recuperado de (Quiroz Crespo & Salamanca Osuna, 2006). El Ensayo de Flexotracción da como resultado el módulo de rotura, que es el esfuerzo en la fibra más alejada del eje neutro. Debido a que este esfuerzo nominal se calcula bajo la suposición de que el hormigón es un material elástico, y dado que este esfuerzo de flexión está localizado en la superficie exterior, éste tiende a ser mayor que la resistencia del hormigón en tracción axial uniforme. Este esfuerzo es entonces una medida de la resistencia a la tracción axial real pero no es idéntica a ella.

Suelen requerirse pruebas a la flexión en vigas cuando hormigón no reforzado va a quedar sujeto a carga de flexión, como es en el caso de los pavimentos de carreteras.

**Figura 6: Método de Ensayo a Flexotracción**



**Fuente:** (Quiroz Crespo & Salamanca Osuna, 2006)

- El ensayo suele efectuarse sobre probetas prismáticas de sección cuadrada  $a \times a$  y una longitud  $L$  de  $4a$  o  $5a$ , siendo la luz entre apoyos  $L_a = 3a$ .

Las dimensiones a emplear son:

- para árido de 25 mm ..... 100 x 100 x 500 mm
- para árido de 38 mm ..... 150 x 150 x 750 mm
- para árido de 50 mm ..... 200 x 200 x 1000 mm

- Se debe mantener las muestras en agua por 40 horas antes del ensayo.
- Las probetas se rompen a flexión mediante la aplicación de dos cargas iguales y simétricas, colocadas a los tercios de la luz. El mecanismo para la aplicación de la carga se compone de dos rodillos de acero de 20 mm de diámetro, y otros dos para el apoyo de la probeta. Es importante que las probetas se apoyen y reciban la carga sobre las dos caras laterales que estuvieron en contacto con el molde; primero, porque así no es necesario refrentarlas; y segundo, porque se elimina la influencia de la distinta compacidad del hormigón junto al fondo y en la superficie.
- La carga se aplica de forma continua sin choques bruscos. La resistencia a flexotracción se calcula mediante la fórmula clásica:

$$Fct = \frac{P * La}{B * d^2}$$

Donde:

Fct = Resistencia a flexotracción

P= Carga de rotura [N]

b = ancho promedio de la muestra en el lugar de la falla [mm]

d<sup>2</sup> = altura promedio de la muestra en el lugar de la falla [mm]

La = distancia entre apoyos [m] (págs. 202 - 203)

## **CAPÍTULO III**

### **DISEÑO Y DESARROLLO DEL ESTUDIO**

## CAPÍTULO III

### DISEÑO Y DESARROLLO DEL ESTUDIO

#### 3.1. Diseño del Hormigón por el Método A.C.I. 318 – A.C.I. 211

Como ya hemos visto anteriormente los hormigones se obtienen mediante una mezcla de todos los materiales que van a formar parte de él, hasta obtener esa masa homogénea, que es indispensable para conseguir un hormigón de buena calidad.

Extraído de (Antezana García, 2012). Para estos materiales se debe utilizar recipientes adecuados; lo óptimo sería de poca sección y gran altura para no tener demasiado error con las medidas ya calculadas. Se recomienda comprobar el contenido de humedad de los materiales especialmente en la arena para no introducir agua en exceso en la hormigonera.

Para conseguir una buena homogeneidad se recomienda verter los materiales en la hormigonera de la siguiente manera:

- 1° Una parte de la dosis de agua (aproximadamente la mitad)
- 2° El cemento y la arena simultáneamente
- 3° La grava
- 4° El resto del agua del amasado (págs. 75 - 77)

Una vez que la mezcla tenga fluidez añadir la viruta de acero poco a poco y seguir su mezclado para obtener homogeneidad en la pasta y la distribución discontinua de las fibras en todo el volumen de hormigón elaborado.

Para luego verterse en probetas de sección prismática de sección 150 mm x 150 mm x 500 mm de largo; estas dimensiones están definidas para un tamaño de árido de 25 mm. Para la elaboración de este tipo de probetas se utilizó madera dura de 25.4 mm de espesor.

Concluido esto, se procede a esperar que el hormigón pase a estado endurecido (1 día) y luego sumergirlo en agua potable para su respectivo curado durante 28 días, posterior a esto sacar las probetas del agua y realizar el respectivo ensayo a flexotracción del hormigón con adición de viruta de acero.

### 3.1.1. Cemento Utilizado

El cemento utilizado para la mezcla de hormigón es Cemento El Puente “estándar” de tipo IP-30, contiene puzolana y es el más conocido en Tarija.

**Figura 7: Cemento El Puente**



**Fuente:** Elaboración Propia

### 3.1.2. Procedencia del Agregado

Los agregados utilizados (arena y grava) para este estudio de investigación, fueron obtenidos de los acopios de la chancadora de Charajas, municipio de Uriondo, a unos 45 km aproximadamente de la ciudad de Tarija.

**Figura 8: Planta Chancadora de Áridos San José de Charaja**



**Fuente:** Elaboración Propia

### 3.1.3. Granulometría

La granulometría se define como la distribución del tamaño de sus partículas que componen una muestra.

#### 3.1.3.1. Granulometría Agregado Grueso

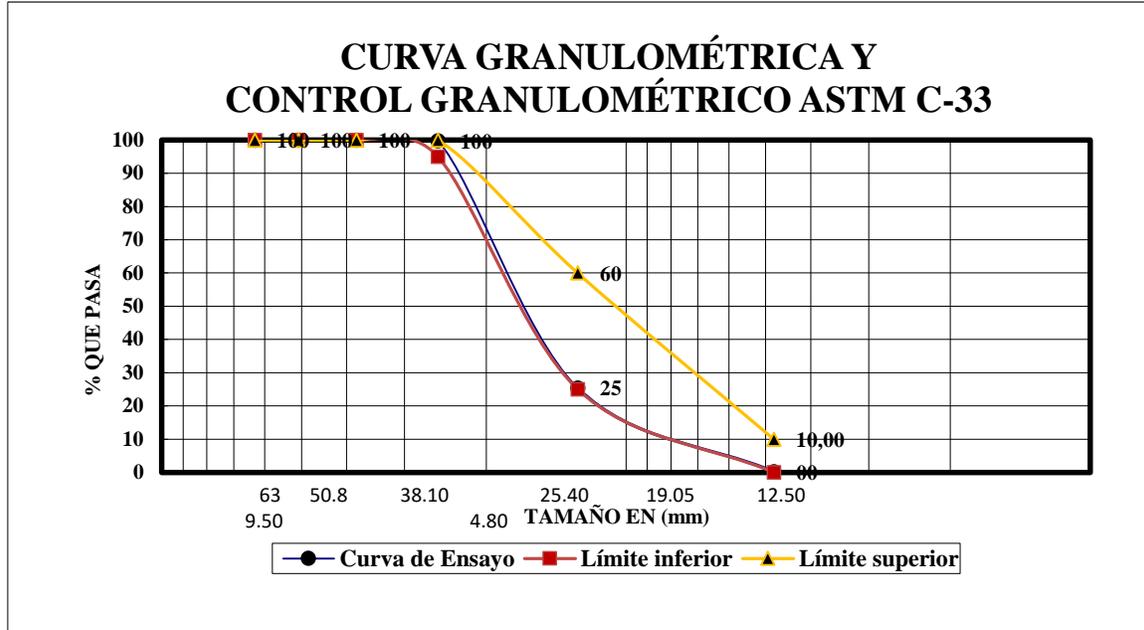
Dicha muestra debe ser representativa y se la obtiene por cuarteo; como el agregado grueso empleado para el estudio tiene un tamaño máximo de  $\frac{3}{4}$  de pulgada el peso de la muestra que se utilizó para el análisis granulométrico es de 5 kg.

**Tabla 20: Granulometría de la Grava**

| Peso Total (kg.) = |             | 5              |                    |       |                      |                                     |     |  |
|--------------------|-------------|----------------|--------------------|-------|----------------------|-------------------------------------|-----|--|
| Tamices            | Tamaño (mm) | Peso Ret. (kg) | Retenido Acumulado |       | % Que pasa del total | % Que pasa s/g Especific. ASTM C-33 |     |  |
|                    |             |                | (kg)               | (%)   |                      |                                     |     |  |
| 2"                 | 50.8        | 0.00           | 0.00               | 0.00  | 100.0                | 100                                 | 100 |  |
| 1 1/2 "            | 38.1        | 0.00           | 0.00               | 0.00  | 100.0                | 100                                 | 100 |  |
| 1"                 | 25.40       | 0.00           | 0.00               | 0.00  | 100.0                | 95                                  | 100 |  |
| 3/4"               | 19.05       | 0.011          | 0.01               | 0.22  | 99.8                 |                                     |     |  |
| 1/2"               | 12.70       | 2.009          | 2.02               | 40.41 | 59.6                 | 25                                  | 60  |  |
| 3/8"               | 9.52        | 1.710          | 3.73               | 74.61 | 25.4                 |                                     |     |  |
| Nº 4               | 4.75        | 1.261          | 4.99               | 99.82 | 0.2                  | 0                                   | 10  |  |
| base               |             | 0.000          | 4.99               | 99.82 | 0.2                  |                                     |     |  |
| SUMA =             |             | 4.99           | TAMAÑO MAX : 3/4"  |       |                      |                                     |     |  |
| PÉRDIDAS =         |             | 0.01           |                    |       |                      |                                     |     |  |
| MF =               |             | 6.75           |                    |       |                      |                                     |     |  |

**Fuente:** Elaboración Propia

Tabla 21: Comportamiento Gráfico Respecto a los Límites



Fuente: Elaboración Propia

En la anterior tabla se detalla los resultados promedio de la granulometría de la grava (Ver Anexo N° 2).

### 3.1.3.2. Granulometría Agregado Fino

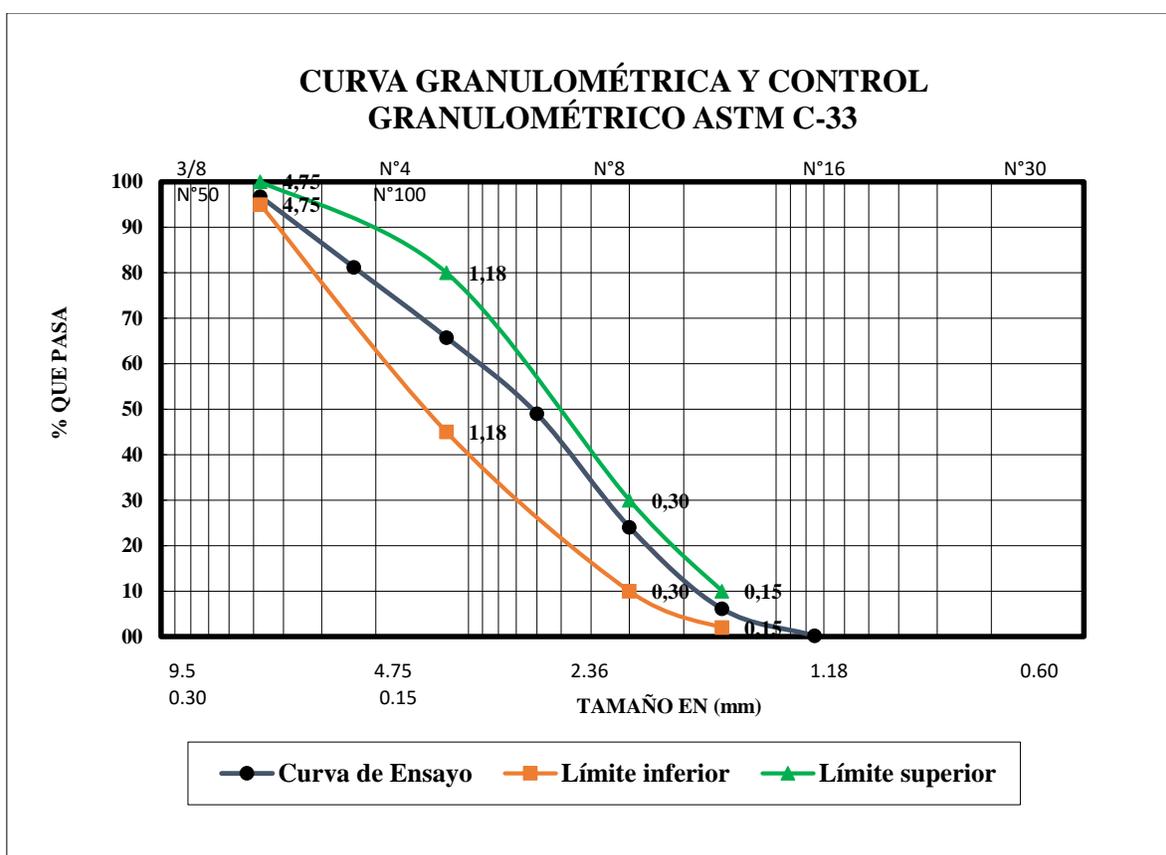
La muestra debe ser representativa y se la obtiene por cuarteo; para el agregado fino será necesario tener una muestra de 0.5 kg.

**Tabla 22: Granulometría de la Arena**

| Peso Total (kg.)= |             | 0.5            |                |       |                      |                          |     |
|-------------------|-------------|----------------|----------------|-------|----------------------|--------------------------|-----|
| Tamices           | tamaño (mm) | Peso Ret. (kg) | Ret. Acum (kg) | % Ret | % que pasa del total | Especificación ASTM C-33 |     |
| N°4               | 4.75        | 0.02           | 0.02           | 3.26  | <b>96.7</b>          | 95                       | 100 |
| N°8               | 2.36        | 0.08           | 0.09           | 18.80 | <b>81.2</b>          |                          |     |
| N°16              | 1.18        | 0.08           | 0.17           | 34.24 | <b>65.8</b>          | 45                       | 80  |
| N°30              | 0.60        | 0.08           | 0.25           | 50.98 | <b>49.0</b>          |                          |     |
| N°50              | 0.30        | 0.12           | 0.38           | 75.92 | <b>24.1</b>          | 10                       | 30  |
| N°100             | 0.15        | 0.09           | 0.47           | 93.86 | <b>6.1</b>           | 2                        | 10  |
| N°200             | 0.08        | 0.03           | 0.50           | 99.80 | <b>0.2</b>           |                          |     |
| Base              |             | 0.00           | 0.50           | 99.80 | <b>0.2</b>           |                          |     |
| SUMA              |             | 0.50           |                |       |                      |                          |     |
| PÉRDIDAS          |             | 0.0            |                |       |                      |                          |     |
| MF =              |             | <b>2.77</b>    |                |       |                      |                          |     |

Fuente: Elaboración Propia

**Tabla 23: Comportamiento Gráfico Respecto a los Límites**



Fuente: Elaboración Propia

En la anterior tabla se detalla los resultados promedios de la granulometría de la arena, (Ver Anexo N° 2).

### 3.1.4. Determinación de los Materiales para 1m<sup>3</sup> de Hormigón

Para la presente dosificación se tomó en cuenta los siguientes datos obtenidos de los diferentes ensayos de laboratorio:

**Tabla 24: Datos Recopilados de los Ensayos de Laboratorio Realizados**

| ENSAYO   | Unidad            | Valor |
|--|-------------------|-------|
| 1.- Módulo de finura de la arena (MF)            | s/u               | 2.77  |
| 2.- Peso unitario Compactado de la grava ( PUC ) | kN/m <sup>3</sup> | 15.46 |
| 3.- Peso específico de la arena ( $\gamma_f$ )   | kN/m <sup>3</sup> | 23.60 |
| 4.- Peso específico de la grava ( $\gamma_g$ )   | kN/m <sup>3</sup> | 26.90 |
| 5.- Absorción de la arena ( Aar )                | %                 | 1.59  |
| 6.- Absorción de la Grava ( Agr )                | %                 | 1.21  |
| 7.- Humedad de la Arena ( Har )                  | %                 | 1.03  |
| 8.- Humedad de la Grava ( Hgr )                  | %                 | 0.50  |
| 9.- Tamaño máximo Nominal ( TMN )                | pulg              | 3/4"  |
| 10.- Tamaño Máximo ( TM )                        | pulg              | 3/4"  |
| 11.- Peso específico del cemento                 | kN/m <sup>3</sup> | 31.4  |

**Fuente:** Elaboración Propia

#### 3.1.4.1. Determinación de la Resistencia Media (Fcm)

Para el presente proyecto se consideró una resistencia característica de  $F_{ck} = 21$  MPa en el S.I., que es un valor estándar para uso en proyectos de esta envergadura.

Se obtiene de la “Resistencia media  $F_{cm}$ , cuando no hay datos disponibles para establecer la desviación estándar.” (Tabla 16.)

Se adicionará: 8.5 MPa; realizando ecuaciones tenemos:

$$F_{cm} = 21 \text{ kg/m}^3 + 8.5 \text{ kg/m}^3 = 29.5 \text{ MPa}$$

#### 3.1.4.2. Determinación de la Relación Agua/Cemento (A/C)

Para determinar este valor y teniendo como dato  $F_{cm} = 29.5$  MPa, y analizando tanto los límites superior e inferior además de la línea media de la Tabla 17, tenemos:

- Para una resistencia a la compresión de 28 MPa una relación a/c según la línea media de 0.48.
- Para una resistencia a la compresión de 31.5 MPa una relación a/c según la línea media de 0.44.

Ahora procedemos a la siguiente interpolación:

$$\begin{bmatrix} 28 \\ 29.5 \\ 31.5 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.48 \\ A/C \\ 0.44 \end{bmatrix}$$

Tomando en cuenta que no se requiere incluir aire, el valor que nos da como resultado es el siguiente:

$$R a/c = 0.46$$

### 3.1.4.3. Determinación de la Cantidad de Agua

Para poder obtener la cantidad de agua primero se seleccionó un Asentamiento “S” de 3” para una consistencia plástica, este criterio se realizó por el hecho de mejorar la distribución de las virutas de acero por la masa del hormigón.

Además de necesita el asentamiento, también se requiere el tamaño máximo del agregado que es de 3/4”.

Con todos esto valores se obtiene la cantidad de agua y el % de contenido de aire:

$$Agua = 203 \text{ l/m}^3$$

$$\text{Aire Atrapado} = 2\%$$

### 3.1.4.4. Cálculo de la Cantidad de Cemento (Cc).

Cantidad de cemento calculado:

$$Cc = \frac{203 \text{ kg/m}^3}{0.46} = 441.30 \text{ kg/m}^3$$

### 3.1.4.5. Cálculo del Peso Agregado Grueso (Gr)

De la Tabla 19. se obtiene el Vol. Agr. Grueso / Vol. unitario concreto ( $Vr/v$ ); para calcular este valor se necesita el Módulo de Finura de la arena (M.F.) y el Tamaño Máximo nominal de la grava (T.M.A):

$$\begin{bmatrix} 2.60 \\ 2.77 \\ 2.80 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.64 \\ Vr/v \\ 0.62 \end{bmatrix}$$

Realizando la interpolación nos da:

$$Vr/v = 0.623$$

Determinamos la cantidad de grava, multiplicando  $V_{r/v}$  y P.U.C. de la grava.

$$Gr = 0.623 * 1546 = 963.16 \text{ kg/m}^3$$

### 3.1.4.6. Determinación de la Cantidad de Arena (Ar) por el Método de los Volúmenes Absolutos

Determinadas las cantidades de cemento, agua, grava y aire atrapado para un metro cúbico de hormigón en peso, procedemos a calcular las cantidades convirtiéndolas en volumen al metro cúbico de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$Ar = \left( 1\text{m}^3 - \left( \left( \frac{C}{Pe(C)} \right) + \left( \frac{Gr}{Pe(Gr)} \right) + \left( \frac{Ag}{Pe(Ag)} \right) + \left( \frac{\%Aire}{100} \right) \right) \right) * Pe(Ar)$$

Donde:

*Ar.:* Arena (Kg/m<sup>3</sup>).

*C.:* Masa del cemento (Kg).

*Pe(C).:* Peso específico del Cemento (Kg/m<sup>3</sup>).

*Gr.:* Masa de la grava (Kg).

*Pe(Gr).:* Peso específico de la grava (Kg/m<sup>3</sup>).

*Ag.:* Masa del agua (Kg). *Pe(Ag).:*

Peso específico del agua (asumimos 1000 Kg/m<sup>3</sup>).

*%Aire:* aire atrapado (%).

*Pe(Ar).:* Peso específico de la arena (Kg/m<sup>3</sup>).

Reemplazando los datos de las cantidades obtenidas y de los ensayos preliminares en la ecuación anterior, tenemos:

$$Ar = \left( 1\text{m}^3 - \left( \left( \frac{441.30 \text{ kg/m}^3}{3140 \text{ kg/m}^3} \right) + \left( \frac{963.16 \text{ kg/m}^3}{2690 \text{ kg/m}^3} \right) + \left( \frac{203 \text{ kg/m}^3}{1000 \text{ kg/m}^3} \right) + \left( \frac{2}{100} \right) \right) \right) * 2360 \text{ kg/m}^3$$

$$Ar = 657.04 \text{ kg/m}^3$$

**Tabla 25: Cantidades Corregidas para 1 m<sup>3</sup> de Hormigón Patrón, para el Diseño de Mezclas**

| <b>Ingrediente</b> | <b>Peso Seco<br/>kg/m<sup>3</sup></b> | <b>Volumen Absoluto<br/>kg/m<sup>3</sup></b> |
|--------------------|---------------------------------------|--|
| <i>Cemento</i>     | 441.30                                | 0.14   |
| <i>Agua</i>        | 203                                   | 203  |
| <i>Grava</i>       | 963.16                                | 0.36   |
| <i>Arena</i>       | 657.04                                | 0.28   |
| <b>TOTAL</b>       | <b>2264.50</b>                        | <b>203.78</b>                                |

**Fuente:** Elaboración Propia

**Tabla 26: Proporciones de la Mezcla**

**PROPORCIONES DE MEZCLA SECA**

| <i>Cemento</i> | <i>Arena</i> | <i>Grava</i> |
|----------------|--------------|--------------|
| <b>1.0</b>     | <b>1.49</b>  | <b>2.18</b>  |

**PROPORCIONES DE MEZCLA HÚMEDA**

| <i>Cemento</i> | <i>Arena</i> | <i>Grava</i> |
|----------------|--------------|--------------|
| <b>1.0</b>     | <b>1.50</b>  | <b>2.19</b>  |

**Fuente:** Elaboración Propia

### 3.1.5. Selección de las Virutas de Acero

Este material de refuerzo que utilizaremos para evidenciar o no, que mejora la resistencia a flexotracción del hormigón, se obtuvo como desecho del torno. Se procedió a cortar la viruta de acero en longitudes de 4 cm, 5 cm, y 6 cm para su posterior inclusión en la masa del hormigón considerándola como un aditivo. Son fibras planas y largas como se observa en las siguientes figuras:

**Figura 9: Virutas de Acero**



**Fuente:** Elaboración Propia

Como se observa en la anterior figura se procedió a cortar con un alicate toda la viruta de acero a las longitudes necesarias para el estudio.

**Figura 10: Tamaño de la Viruta de Acero**



**Fuente:** Elaboración Propia

### **3.2. Vaciado y Moldeo de Probetas de Hormigón**

El vaciado y moldeo de las probetas de hormigón, se basó de acuerdo a la norma ASTM C-192, en el Laboratorio de Resistencia de los Materiales de la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho.

- Para el Hormigón Patrón, se vaciaron: 15 probetas cilíndricas para comprobar que la dosificación era la indicada y llegaba a la resistencia prevista de 21MPa, de las cuales 3 se ensayaron a los 7 días y las demás a los 28 días. Además de 15 probetas prismáticas, las cuales en su totalidad se ensayaron a 28 días de edad.

- Para el Hormigón Normal combinado con las virutas de acero se vaciaron: 135 Vigas que corresponden a 45 de ellas porcentajes de viruta de 1% (15 vigas), 2% (15 vigas) y 3% (15 vigas) para una longitud de la viruta de 4cm. Las siguientes 45 vigas fueron para los porcentajes de viruta de 1% (15 vigas), 2% (15 vigas) y 3% (15 vigas) para una longitud de la viruta de 5cm. Por ultimo las siguientes 45 vigas para porcentajes de 1% (15 vigas), 2% (15 vigas) y 3% (15 vigas) para una longitud de la viruta de 6cm. Todos los porcentajes en función al peso del cemento considerándolos como aditivo y no como adición.
- Además de esto se realizaron 24 vigas adicionales, solo con el objetivo de evidenciar cómo se comportan las vigas de hormigón a cantidades excesivas de viruta de acero. 6 de ellas con un porcentaje de 5% (longitudes de viruta de 4 cm, 5 cm y 6 cm respectivamente), las siguientes 6 vigas para un porcentaje de 9%, otras 6 vigas para un porcentaje de 12% y finalmente 6 vigas para un porcentaje de 16%. Todas ensayadas a los 28 días.

**Figura 11: Elaboración del Hormigón**



**Fuente:** Elaboración Propia

**Figura 12: Llenado de las Probetas con Hormigón Fresco**



**Fuente:** Elaboración Propia

### **3.2.1. Moldeo de Vigas con la Incorporación de Virutas de Acero, ASTM C-192**

Se utilizaron probetas prismáticas con las siguientes dimensiones:

- Ancho = 150 mm
- Altura = 150 mm
- Largo = 500 mm

**Figura 13: Incorporación de la Viruta de Acero a la Mezcla de Hormigón**



**Fuente:** Elaboración Propia

**Figura 14: Llenado y Varillado de la Capa Final Antes del Enrasado**



**Fuente:** Elaboración Propia

### **3.3. Curado de las Muestras, ASTM C-192**

El curado de las muestras se realizó en el interior del Laboratorio de Resistencia de Materiales de la U.A.J.M.S. a temperatura de  $23 \pm 2^\circ\text{C}$  y humedad superior a 50%, desde el momento del moldeo hasta el momento del endurecimiento.

Los especímenes deben desencofrarse  $24 \pm 8$  horas después de moldeados; en el caso de concretos con tiempo de fragua lentos, los moldes no deben retirarse hasta  $20 \pm 4$  horas después de que ocurra la fragua final (determinense los tiempos de fragua siguiendo ASTM C-403) de las muestras y ser sumergidas en su totalidad en la piscina de hormigón y en turriles, como se puede apreciar en la siguiente figura:

Una vez endurecido, se procedió al desmolde de las muestras y sumergir en agua, desde ese instante hasta el momento de su ensayo de rotura.

**Figura 15: Muestras Elaboradas, Previo Desencofrado de las Mismas para luego ser Sumergidas en Agua**



**Fuente:** Elaboración Propia

**Figura 16: Curado de las Probetas Cilíndricas y Prismáticas Previo Ensayo de Rotura**



**Fuente:** Elaboración Propia

### **3.4. Control del Hormigón Endurecido**

#### **3.4.1. Peso Unitario del Hormigón Endurecido**

El peso unitario del hormigón endurecido se determina de la siguiente manera:

- Obteniendo la masa de la probeta.
- Determinando el volumen de la probeta.

El volumen se determina igual a la altura multiplicado por el área, esta última relacionada por el promedio del diámetro o perímetro de mínimo tres mediciones. Con estos datos dividimos la masa sobre el volumen para obtener el peso unitario de la probeta.

### **3.4.2. Compresión de Probetas Cilíndricas**

Se detalla el esquema de un cilindro ensayado a compresión.

**Figura 17: Cilindro ya Ensayado a Compresión**



**Fuente:** Elaboración Propia

### **3.4.3. Flexotracción en Probetas Prismáticas**

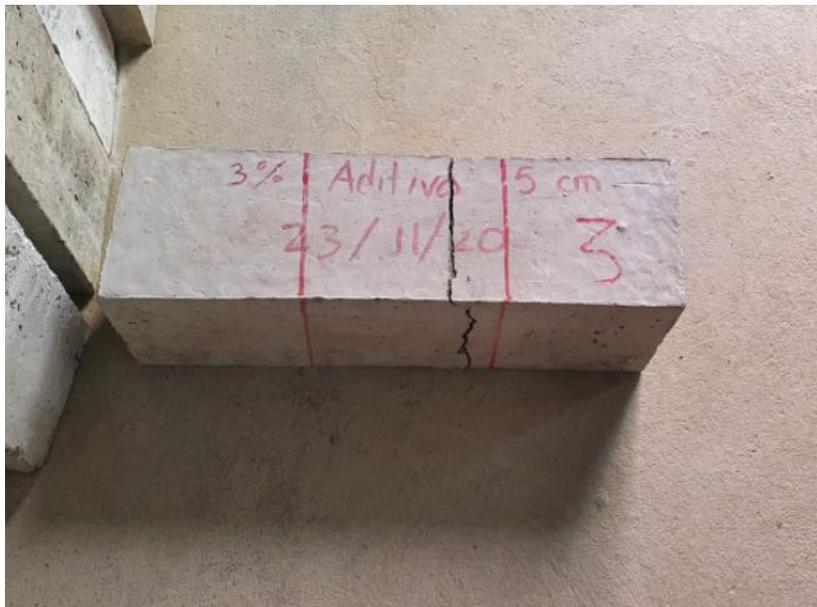
Se detalla un esquema de una viga ensayada a flexotracción.

**Figura 18: Viga Colocada en el Dispositivo de Rotura Previo Ensayo a Flexotracción**



**Fuente:** Elaboración Propia

**Figura 19: Viga Ensayada a Flexotracción**



**Fuente:** Elaboración Propia

## **CAPITULO IV**

# **ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS**

## CAPÍTULO IV

### ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

#### 4.1. Análisis de las Probetas Hormigonadas

Una vez realizado el vaciado, desmolde y curado según el tiempo requerido para los especímenes de hormigón, se procedió a realizar las roturas a compresión de cilindros y flexotracción de vigas, como se detalla a continuación:

**Tabla 27: Detalle de Ensayo de Rotura a Compresión, Hormigón Patrón**

| ROTURA: HORMIGÓN PATRÓN        |        |         |
|--------------------------------|--------|---------|
| EDAD DE ENSAYO                 | 7 días | 28 días |
| NÚMERO DE PROBETAS CILÍNDRICAS | 3      | 12      |

**Fuente:** Elaboración Propia

**Tabla 28: Detalle de Ensayo de Rotura a Flexotracción**

| Rotura                              | Hormigón Patrón | Hormigón Patrón con Incorporación del 1 % de Viruta de Acero |    |    | Hormigón Patrón con Incorporación del 2 % de Viruta de Acero |    |    | Hormigón Patrón con Incorporación del 3 % de Viruta de Acero |    |    |
|-------------------------------------|-----------------|--|----|----|--|----|----|--|----|----|
|                                     |                 |  |    |    |  |    |    |  |    |    |
| Longitud de la Viruta de Acero (cm) | -               | 4  | 5  | 6  | 4  | 5  | 6  | 4  | 5  | 6  |
| Edad de Ensayo                      | 28              | 28   | 28 | 28 | 28   | 28 | 28 | 28   | 28 | 28 |
| Número de Probetas Prismáticas      | 15              | 15   | 15 | 15 | 15   | 15 | 15 | 15   | 15 | 15 |

**Fuente:** Elaboración Propia

**Tabla 29: Detalle de Ensayo de Rotura a Flexotracción, Vigas Adicionales**

| Rotura                              | Hormigón Patrón con Incorporación del 5 % de Viruta de Acero |    |    | Hormigón Patrón con Incorporación del 9 % de Viruta de Acero |    |    | Hormigón Patrón con Incorporación del 12 % de Viruta de Acero |    |    | Hormigón Patrón con Incorporación del 16 % de Viruta de Acero |    |    |
|-------------------------------------|--|----|----|--|----|----|---|----|----|---|----|----|
|                                     |  |    |    |  |    |    |   |    |    |   |    |    |
| Longitud de la Viruta de Acero (cm) | 4  | 5  | 6  | 4  | 5  | 6  | 4   | 5  | 6  | 4   | 5  | 6  |
| Edad de Ensayo                      | 28   | 28 | 28 | 28   | 28 | 28 | 28  | 28 | 28 | 28  | 28 | 28 |
| Número de Probetas Prismáticas      | 2  | 2  | 2  | 2  | 2  | 2  | 2   | 2  | 2  | 2   | 2  | 2  |

**Fuente:** Elaboración Propia

#### 4.2. Análisis de las Probetas Cilíndricas Ensayadas a Compresión con una Mezcla Patrón

La siguiente tabla detalla: la probeta, la edad de rotura, el peso específico y la resistencia a compresión individual de cada muestra, además de una resistencia promedio de todas las muestras.

**Tabla 30: Detalle de Rotura de las Probetas Cilíndricas a Compresión**

| <b>Rotura de probetas Cilíndricas Patrón</b> |              |             |        |                                    |
|--|--------------|-------------|--------|------------------------------------|
| N°   | Edad en Días | Resistencia |        | Peso unitario (kN/m <sup>3</sup> ) |
|  |              | MPa         | KN     |                                    |
| 1  | 28           | 22.05       | 403.5  | 11.74                              |
| 2  | 28           | 21.89       | 393.9  | 11.80                              |
| 3  | 28           | 23.63       | 428.8  | 11.77                              |
| 4  | 28           | 21.14       | 383.6  | 11.69                              |
| 5  | 28           | 21.40       | 388.3  | 11.68                              |
| 6  | 28           | 21.15       | 383.8  | 11.69                              |
| 7  | 28           | 21.56       | 390.6  | 11.66                              |
| 8  | 28           | 22.03       | 402.7  | 11.70                              |
| 9  | 28           | 21.60       | 390.8  | 11.68                              |
| 10   | 28           | 22.64       | 415.6  | 11.72                              |
| 11   | 28           | 21.32       | 385.4  | 11.69                              |
| 12   | 28           | 23.26       | 420.5  | 11.72                              |
| Prom.  |              | 21.97       | 398.96 | 11.71                              |
| <b>Mezcla de prueba</b>                      |              |             |        |                                    |
| 1  | 7            | 17.83       | 324.1  | 11.70                              |
| 2  | 7            | 17.57       | 319.0  | 11.73                              |
| 3  | 7            | 17.46       | 316.7  | 11.67                              |
| Prom.  |              | 17.62       | 319.92 | 11.70                              |

**Fuente:** Elaboración Propia

El comportamiento del hormigón patrón sin la incorporación de virutas, muestran resultados por encima del Fck de 21 MPa.

La resistencia probable viene de la normativa CBH-87, que indica en la tabla 3.4.b, para hormigones de endurecimiento normal respecto al Fck de diseño:

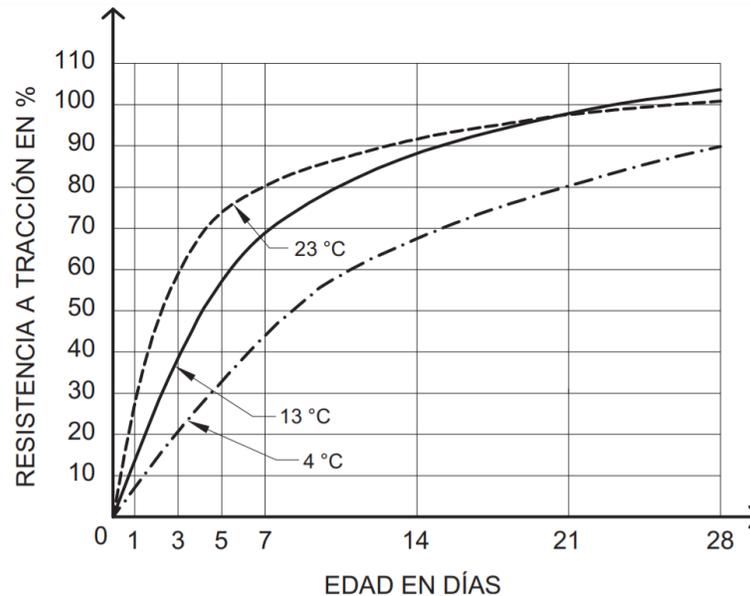
**Tabla 31: Coeficiente de Conversión de la Resistencia a Compresión Respecto a Probetas del Mismo tipo a Diferentes Edades**

| Clase de hormigón                   | Edad, en días |      |      |      |      |
|-------------------------------------|---------------|------|------|------|------|
|                                     | 3             | 7    | 28   | 90   | 360  |
| Hormigones de endurecimiento normal | 0.40          | 0.65 | 1.00 | 1.20 | 1.35 |
| Hormigones de endurecimiento rápido | 0.55          | 0.75 | 1.00 | 1.15 | 1.20 |

**Fuente:** CBH-87

A continuación, se muestra la variación en el tiempo de la resistencia a tracción del hormigón, que muestra una evolución más rápida que la resistencia a compresión:

**Figura 20: Evolución de la Resistencia a Tracción del Hormigón**



**Fuente:** (García Meseguer, Morán Cabré, & Arroyo Portero, 2010, pág. 64)

Esta tabla solo tiene carácter comparativo, no influye en nada en los resultados obtenidos en el presente Proyecto de Ing. Civil.

#### 4.3. Análisis de las Probetas Prismáticas Ensayadas a Flexotracción

Las siguientes tablas detallan: la cantidad de probetas, las resistencias adquiridas a los 28 días de rotura, el peso unitario de cada una y finalmente el promedio de todos los ensayos realizados.

**Tabla 32: Detalle de la Rotura de las Probetas Prismáticas Patrón a Flexotracción**

| Rotura de probetas Prismaticas Patrón |              |             |       |                                    |                        |
|---------------------------------------|--------------|-------------|-------|------------------------------------|------------------------|
| N°                                    | Edad en Días | Resistencia |       | Peso unitario (kN/m <sup>3</sup> ) | Peso de las vigas (kg) |
|                                       |              | MPa         | KN    |                                    |                        |
| 1                                     | 28           | 3.48        | 26.1  | 24.21                              | 27.240                 |
| 2                                     | 28           | 3.64        | 27.3  | 24.99                              | 28.115                 |
| 3                                     | 28           | 3.28        | 24.6  | 24.52                              | 27.590                 |
| 4                                     | 28           | 3.46        | 26.0  | 24.52                              | 27.590                 |
| 5                                     | 28           | 3.50        | 26.3  | 24.58                              | 27.650                 |
| 6                                     | 28           | 3.46        | 26.0  | 25.10                              | 28.240                 |
| 7                                     | 28           | 3.55        | 26.7  | 24.62                              | 27.700                 |
| 8                                     | 28           | 3.44        | 25.8  | 24.27                              | 27.305                 |
| 9                                     | 28           | 3.61        | 27.1  | 24.32                              | 27.365                 |
| 10                                    | 28           | 3.68        | 27.6  | 25.39                              | 28.560                 |
| 11                                    | 28           | 3.36        | 25.2  | 24.58                              | 27.655                 |
| 12                                    | 28           | 3.60        | 27.0  | 24.41                              | 27.460                 |
| 13                                    | 28           | 3.71        | 27.9  | 24.25                              | 27.280                 |
| 14                                    | 28           | 3.58        | 26.9  | 24.33                              | 27.370                 |
| 15                                    | 28           | 3.52        | 26.4  | 24.44                              | 27.500                 |
| Prom.                                 |              | 3.52        | 26.46 | 24.57                              | 27.64                  |

Fuente: Elaboración Propia

**Tabla 33: Detalle de la Rotura de Probetas Prismáticas (1% de Incorporación de Viruta, 4cm de Longitud)**

| Rotura de probetas prismáticas (1% de Incorporación de viruta, 4cm de longitud) |              |             |       |                                    |
|---|--------------|-------------|-------|------------------------------------|
| N°  | Edad en Días | Resistencia |       | Peso unitario (kN/m <sup>3</sup> ) |
|   |              | MPa         | KN    |                                    |
| 1   | 28           | 3.54        | 25.5  | 24.13                              |
| 2   | 28           | 3.60        | 26.4  | 24.36                              |
| 3   | 28           | 3.58        | 26.0  | 24.36                              |
| 4   | 28           | 3.63        | 26.6  | 24.52                              |
| 5   | 28           | 3.60        | 26.5  | 24.39                              |
| 6   | 28           | 3.86        | 30.1  | 24.90                              |
| 7   | 28           | 3.71        | 27.9  | 24.84                              |
| 8   | 28           | 3.65        | 27.1  | 24.60                              |
| 9   | 28           | 3.69        | 27.5  | 24.74                              |
| 10  | 28           | 3.55        | 25.5  | 24.15                              |
| 11  | 28           | 3.50        | 24.9  | 24.00                              |
| 12  | 28           | 3.62        | 26.6  | 24.44                              |
| 13  | 28           | 3.35        | 22.8  | 24.10                              |
| 14  | 28           | 3.42        | 23.8  | 24.28                              |
| 15  | 28           | 3.45        | 24.2  | 24.32                              |
| Prom.   |              | 3.58        | 26.09 | 24.41                              |

Fuente: Elaboración Propia

**Tabla 34: Detalle de la Rotura de Probetas Prismáticas (1% de Incorporación de Viruta, 5cm de Longitud)**

| Rotura de probetas prismáticas (1% de Incorporación de viruta, 5cm de longitud) |              |             |       |                                    |
|---|--------------|-------------|-------|------------------------------------|
| N°  | Edad en Días | Resistencia |       | Peso unitario (kN/m <sup>3</sup> ) |
|   |              | MPa         | KN    |                                    |
| 1   | 28           | 3.90        | 29.5  | 24.62                              |
| 2   | 28           | 3.96        | 29.7  | 24.66                              |
| 3   | 28           | 3.82        | 28.8  | 24.65                              |
| 4   | 28           | 3.69        | 27.7  | 23.56                              |
| 5   | 28           | 3.79        | 28.4  | 24.07                              |
| 6   | 28           | 3.52        | 26.5  | 24.25                              |
| 7   | 28           | 3.83        | 28.8  | 24.68                              |
| 8   | 28           | 3.65        | 27.4  | 23.55                              |
| 9   | 28           | 3.90        | 29.2  | 24.64                              |
| 10  | 28           | 3.68        | 27.6  | 23.57                              |
| 11  | 28           | 3.67        | 27.6  | 23.56                              |
| 12  | 28           | 3.73        | 27.9  | 24.00                              |
| 13  | 28           | 3.72        | 27.9  | 24.09                              |
| 14  | 28           | 3.76        | 28.3  | 24.44                              |
| 15  | 28           | 3.45        | 26.0  | 24.66                              |
| Prom.   |              | 3.74        | 28.09 | 24.20                              |

**Fuente:** Elaboración Propia

**Tabla 35: Detalle de la Rotura de Probetas Prismáticas (1% de Incorporación de Viruta, 6cm de Longitud)**

| Rotura de probetas prismáticas (1% de Incorporación de viruta, 6cm de longitud) |              |             |       |                                    |
|---|--------------|-------------|-------|------------------------------------|
| N°  | Edad en Días | Resistencia |       | Peso unitario (kN/m <sup>3</sup> ) |
|   |              | MPa         | KN    |                                    |
| 1   | 28           | 3.69        | 27.7  | 24.71                              |
| 2   | 28           | 4.07        | 30.6  | 24.94                              |
| 3   | 28           | 3.96        | 29.8  | 24.81                              |
| 4   | 28           | 3.96        | 29.8  | 24.40                              |
| 5   | 28           | 3.86        | 29.0  | 25.08                              |
| 6   | 28           | 3.58        | 26.9  | 24.73                              |
| 7   | 28           | 3.55        | 26.6  | 24.74                              |
| 8   | 28           | 3.75        | 28.1  | 24.55                              |
| 9   | 28           | 3.90        | 29.3  | 24.66                              |
| 10  | 28           | 3.59        | 26.9  | 24.56                              |
| 11  | 28           | 3.64        | 27.3  | 24.76                              |
| 12  | 28           | 3.38        | 25.3  | 24.21                              |
| 13  | 28           | 3.57        | 26.8  | 24.43                              |
| 14  | 28           | 3.59        | 26.8  | 24.44                              |
| 15  | 28           | 4.00        | 30.1  | 24.80                              |
| Prom.   |              | 3.74        | 28.07 | 24.66                              |

**Fuente:** Elaboración Propia

**Tabla 36: Detalle de la Rotura de Probetas Prismáticas (2% de Incorporación de Viruta, 4cm de Longitud)**

| Rotura de probetas prismáticas (2% de Incorporación de viruta, 4cm de longitud) |              |             |       |                                    |
|---|--------------|-------------|-------|------------------------------------|
| N°  | Edad en Días | Resistencia |       | Peso unitario (kN/m <sup>3</sup> ) |
|   |              | MPa         | KN    |                                    |
| 1   | 28           | 3.70        | 27.8  | 24.25                              |
| 2   | 28           | 3.91        | 29.3  | 24.09                              |
| 3   | 28           | 3.50        | 26.6  | 24.43                              |
| 4   | 28           | 3.70        | 28.1  | 24.25                              |
| 5   | 28           | 4.04        | 30.3  | 24.40                              |
| 6   | 28           | 3.94        | 29.7  | 24.60                              |
| 7   | 28           | 4.14        | 31.1  | 24.30                              |
| 8   | 28           | 4.15        | 31.2  | 24.78                              |
| 9   | 28           | 4.23        | 31.8  | 24.69                              |
| 10  | 28           | 4.33        | 33.2  | 24.76                              |
| 11  | 28           | 3.99        | 32.9  | 24.76                              |
| 12  | 28           | 3.81        | 30.3  | 24.49                              |
| 13  | 28           | 4.08        | 30.7  | 23.99                              |
| 14  | 28           | 3.90        | 29.3  | 24.55                              |
| 15  | 28           | 4.20        | 31.5  | 24.76                              |
| Prom.   |              | 3.97        | 30.25 | 24.47                              |

**Fuente:** Elaboración Propia

**Tabla 37: Detalle de la Rotura de Probetas Prismáticas (2% de Incorporación de Viruta, 5cm de Longitud)**

| Rotura de probetas prismáticas (2% de Incorporación de viruta, 5cm de longitud) |              |             |       |                                    |
|---|--------------|-------------|-------|------------------------------------|
| N°  | Edad en Días | Resistencia |       | Peso unitario (kN/m <sup>3</sup> ) |
|   |              | MPa         | KN    |                                    |
| 1   | 28           | 4.12        | 30.8  | 24.84                              |
| 2   | 28           | 4.04        | 30.2  | 24.78                              |
| 3   | 28           | 4.27        | 31.8  | 24.80                              |
| 4   | 28           | 4.45        | 33.4  | 25.09                              |
| 5   | 28           | 4.20        | 31.4  | 24.99                              |
| 6   | 28           | 4.32        | 32.4  | 24.97                              |
| 7   | 28           | 4.38        | 32.9  | 25.02                              |
| 8   | 28           | 3.96        | 29.5  | 24.76                              |
| 9   | 28           | 4.41        | 33.1  | 25.04                              |
| 10  | 28           | 4.34        | 32.5  | 24.99                              |
| 11  | 28           | 3.99        | 29.8  | 24.76                              |
| 12  | 28           | 4.36        | 32.7  | 24.99                              |
| 13  | 28           | 3.95        | 29.4  | 24.71                              |
| 14  | 28           | 4.49        | 33.7  | 25.02                              |
| 15  | 28           | 4.01        | 30.0  | 24.80                              |
| Prom.   |              | 4.22        | 31.56 | 24.90                              |

**Fuente:** Elaboración Propia

**Tabla 38: Detalle de la Rotura de Probetas Prismáticas (2% de Incorporación de Viruta, 6cm de Longitud)**

| Rotura de probetas prismáticas (2% de Incorporación de viruta, 6cm de longitud) |              |             |       |                       |
|---|--------------|-------------|-------|-----------------------|
| N°  | Edad en Días | Resistencia |       | Peso unitario (kN/m3) |
|   |              | MPa         | KN    |                       |
| 1   | 28           | 3.95        | 29.6  | 24.60                 |
| 2   | 28           | 3.53        | 26.6  | 24.13                 |
| 3   | 28           | 3.58        | 26.9  | 24.15                 |
| 4   | 28           | 3.86        | 29.1  | 24.88                 |
| 5   | 28           | 4.09        | 30.8  | 24.87                 |
| 6   | 28           | 3.55        | 26.7  | 24.30                 |
| 7   | 28           | 3.90        | 29.3  | 24.75                 |
| 8   | 28           | 3.80        | 28.5  | 24.81                 |
| 9   | 28           | 3.83        | 28.8  | 24.78                 |
| 10  | 28           | 3.47        | 26.1  | 24.65                 |
| 11  | 28           | 3.73        | 28.0  | 24.34                 |
| 12  | 28           | 3.85        | 28.9  | 24.36                 |
| 13  | 28           | 3.93        | 29.6  | 24.36                 |
| 14  | 28           | 3.45        | 26.0  | 24.46                 |
| 15  | 28           | 3.91        | 29.4  | 24.83                 |
| Prom.   |              | 3.76        | 28.28 | 24.55                 |

**Fuente:** Elaboración Propia

**Tabla 39: Detalle de la Rotura de Probetas Prismáticas (3% de Incorporación de Viruta, 4cm de Longitud)**

| Rotura de probetas prismáticas (3% de Incorporación de viruta, 4cm de longitud) |              |             |       |                       |
|---|--------------|-------------|-------|-----------------------|
| N°  | Edad en Días | Resistencia |       | Peso unitario (kN/m3) |
|   |              | MPa         | KN    |                       |
| 1   | 28           | 4.36        | 32.6  | 24.21                 |
| 2   | 28           | 4.17        | 31.3  | 24.51                 |
| 3   | 28           | 4.30        | 31.9  | 24.09                 |
| 4   | 28           | 4.39        | 32.9  | 24.58                 |
| 5   | 28           | 4.50        | 36.1  | 24.44                 |
| 6   | 28           | 4.20        | 31.6  | 24.53                 |
| 7   | 28           | 4.46        | 33.9  | 24.32                 |
| 8   | 28           | 4.02        | 31.9  | 24.58                 |
| 9   | 28           | 4.40        | 32.8  | 24.16                 |
| 10  | 28           | 4.48        | 33.9  | 24.36                 |
| 11  | 28           | 4.51        | 34.2  | 24.49                 |
| 12  | 28           | 4.34        | 32.3  | 24.32                 |
| 13  | 28           | 4.53        | 34.3  | 24.49                 |
| 14  | 28           | 4.42        | 33.0  | 24.25                 |
| 15  | 28           | 4.48        | 34.0  | 24.35                 |
| Prom.   |              | 4.37        | 33.11 | 24.38                 |

**Fuente:** Elaboración Propia

**Tabla 40: Detalle de la Rotura de Probetas Prismáticas (3% de Incorporación de Viruta, 5cm de Longitud)**

| Rotura de probetas prismáticas (3% de Incorporación de viruta, 5cm de longitud) |              |             |       |                                    |
|---|--------------|-------------|-------|------------------------------------|
| N°  | Edad en Días | Resistencia |       | Peso unitario (kN/m <sup>3</sup> ) |
|   |              | MPa         | KN    |                                    |
| 1   | 28           | 4.92        | 38.4  | 24.99                              |
| 2   | 28           | 4.87        | 36.5  | 25.21                              |
| 3   | 28           | 4.02        | 30.2  | 24.89                              |
| 4   | 28           | 4.15        | 31.1  | 24.89                              |
| 5   | 28           | 4.02        | 30.4  | 24.69                              |
| 6   | 28           | 4.56        | 34.5  | 24.40                              |
| 7   | 28           | 4.42        | 33.4  | 24.82                              |
| 8   | 28           | 4.69        | 35.6  | 24.70                              |
| 9   | 28           | 4.52        | 34.3  | 24.35                              |
| 10  | 28           | 4.35        | 32.8  | 24.78                              |
| 11  | 28           | 4.15        | 31.2  | 24.88                              |
| 12  | 28           | 4.48        | 34.0  | 24.36                              |
| 13  | 28           | 4.23        | 31.8  | 24.90                              |
| 14  | 28           | 4.39        | 33.2  | 24.54                              |
| 15  | 28           | 4.53        | 34.4  | 24.82                              |
| Prom.   |              | 4.42        | 33.45 | 24.75                              |

**Fuente:** Elaboración Propia

**Tabla 41: Detalle de la Rotura de Probetas Prismáticas (3% de Incorporación de Viruta, 6cm de Longitud)**

| Rotura de probetas prismáticas (3% de Incorporación de viruta, 6cm de longitud) |              |             |       |                                    |
|---|--------------|-------------|-------|------------------------------------|
| N°  | Edad en Días | Resistencia |       | Peso unitario (kN/m <sup>3</sup> ) |
|   |              | MPa         | KN    |                                    |
| 1   | 28           | 4.57        | 34.6  | 24.84                              |
| 2   | 28           | 3.22        | 24.2  | 23.89                              |
| 3   | 28           | 3.81        | 28.6  | 23.17                              |
| 4   | 28           | 3.76        | 28.4  | 24.26                              |
| 5   | 28           | 3.55        | 26.7  | 22.84                              |
| 6   | 28           | 3.53        | 26.5  | 24.15                              |
| 7   | 28           | 3.65        | 27.5  | 24.20                              |
| 8   | 28           | 3.35        | 25.1  | 24.15                              |
| 9   | 28           | 3.20        | 24.0  | 24.20                              |
| 10  | 28           | 3.69        | 27.7  | 24.50                              |
| 11  | 28           | 3.55        | 26.6  | 24.55                              |
| 12  | 28           | 3.81        | 28.7  | 24.44                              |
| 13  | 28           | 4.13        | 31.2  | 24.91                              |
| 14  | 28           | 4.02        | 30.3  | 24.74                              |
| 15  | 28           | 3.49        | 26.2  | 24.52                              |
| Prom.   |              | 3.69        | 27.76 | 24.22                              |

**Fuente:** Elaboración Propia

Además de estos resultados, como se mencionó en 3.2. se realizaron 24 vigas adicionales, solo con el objetivo de evidenciar cómo las cantidades excesivas de la viruta de acero en el hormigón forman en la probeta erizos (bolas de viruta), 6 de ellas con un porcentaje de 5% (longitudes de viruta de 4 cm, 5 cm y 6 cm respectivamente), las siguientes 6 vigas para un porcentaje de 9%, otras 6 vigas para un porcentaje de 12% y finalmente 6 vigas para un porcentaje de 16%. Todas ensayadas a los 28 días.

A continuación, se presenta el detalle de la rotura

**Tabla 42: Detalle de la Rotura de Probetas Prismáticas (5% de Incorporación de Viruta)**

| <b>Rotura de probetas prismáticas (5% de Incorporación de viruta, 4cm de longitud)</b> |              |             |       |                                    |
|--|--------------|-------------|-------|------------------------------------|
| N°   | Edad en Días | Resistencia |       | Peso unitario (kN/m <sup>3</sup> ) |
|  |              | MPa         | KN    |                                    |
| 1  | 28           | 4.14        | 31.1  | 24.33                              |
| 2  | 28           | 3.94        | 29.7  | 24.60                              |
| Prom.  |              | 4.04        | 30.40 | 24.47                              |
| <b>Rotura de probetas prismáticas (5% de Incorporación de viruta, 5cm de longitud)</b> |              |             |       |                                    |
| N°   | Edad en Días | Resistencia |       | Peso unitario (kN/m <sup>3</sup> ) |
|  |              | MPa         | KN    |                                    |
| 1  | 28           | 4.02        | 30.2  | 24.39                              |
| 2  | 28           | 4.23        | 31.8  | 24.60                              |
| Prom.  |              | 4.13        | 31.00 | 24.50                              |
| <b>Rotura de probetas prismáticas (5% de Incorporación de viruta, 6cm de longitud)</b> |              |             |       |                                    |
| N°   | Edad en Días | Resistencia |       | Peso unitario (kN/m <sup>3</sup> ) |
|  |              | MPa         | KN    |                                    |
| 1  | 28           | 3.81        | 30.3  | 25.17                              |
| 2  | 28           | 3.46        | 26.0  | 23.29                              |
| Prom.  |              | 3.64        | 28.15 | 24.23                              |

**Fuente:** Elaboración Propia

**Tabla 43: Detalle de la Rotura de Probetas Prismáticas (9% de Incorporación de Viruta)**

| Rotura de probetas prismáticas (9% de Incorporación de viruta, 4cm de longitud) |              |             |       |                       |
|---|--------------|-------------|-------|-----------------------|
| N°  | Edad en Días | Resistencia |       | Peso unitario (kN/m3) |
|   |              | MPa         | KN    |                       |
| 1   | 28           | 3.70        | 27.8  | 24.33                 |
| 2   | 28           | 3.25        | 24.5  | 23.34                 |
| Prom.   |              | 3.48        | 26.15 | 23.84                 |
| Rotura de probetas prismáticas (9% de Incorporación de viruta, 5cm de longitud) |              |             |       |                       |
| N°  | Edad en Días | Resistencia |       | Peso unitario (kN/m3) |
|   |              | MPa         | KN    |                       |
| 1   | 28           | 3.33        | 24.8  | 23.86                 |
| 2   | 28           | 3.64        | 27.3  | 24.38                 |
| Prom.   |              | 3.49        | 26.05 | 24.12                 |
| Rotura de probetas prismáticas (9% de Incorporación de viruta, 6cm de longitud) |              |             |       |                       |
| N°  | Edad en Días | Resistencia |       | Peso unitario (kN/m3) |
|   |              | MPa         | KN    |                       |
| 1   | 28           | 3.21        | 24.0  | 23.73                 |
| 2   | 28           | 3.46        | 26.0  | 23.29                 |
| Prom.   |              | 3.34        | 25.00 | 23.51                 |

**Fuente:** Elaboración Propia

**Tabla 44: Detalle de la Rotura de Probetas Prismáticas (12% de Incorporación de Viruta)**

| Rotura de probetas prismáticas (12% de Incorporación de viruta, 4cm de longitud) |              |             |       |                       |
|--|--------------|-------------|-------|-----------------------|
| N°   | Edad en Días | Resistencia |       | Peso unitario (kN/m3) |
|  |              | MPa         | KN    |                       |
| 1  | 28           | 3.32        | 24.8  | 23.88                 |
| 2  | 28           | 3.25        | 24.5  | 23.34                 |
| Prom.  |              | 3.29        | 24.65 | 23.61                 |
| Rotura de probetas prismáticas (12% de Incorporación de viruta, 5cm de longitud) |              |             |       |                       |
| N°   | Edad en Días | Resistencia |       | Peso unitario (kN/m3) |
|  |              | MPa         | KN    |                       |
| 1  | 28           | 3.33        | 24.8  | 23.86                 |
| 2  | 28           | 3.38        | 25.1  | 23.82                 |
| Prom.  |              | 3.36        | 24.95 | 23.84                 |
| Rotura de probetas prismáticas (12% de Incorporación de viruta, 6cm de longitud) |              |             |       |                       |
| N°   | Edad en Días | Resistencia |       | Peso unitario (kN/m3) |
|  |              | MPa         | KN    |                       |
| 1  | 28           | 3.21        | 24.0  | 23.73                 |
| 2  | 28           | 3.05        | 22.8  | 23.85                 |
| Prom.  |              | 3.13        | 23.40 | 23.79                 |

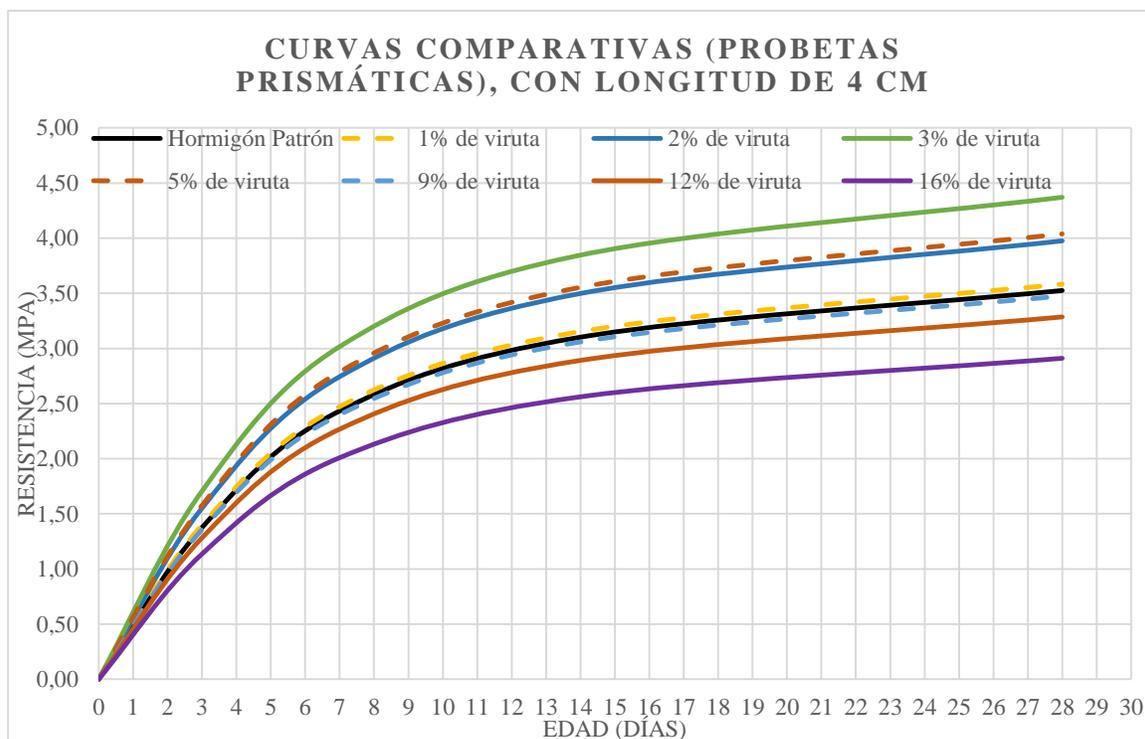
**Fuente:** Elaboración Propia

**Tabla 45: Detalle de la rotura de Probetas Prismáticas (16% de Incorporación de Viruta)**

| Rotura de probetas prismáticas (16% de Incorporación de viruta, 4cm de longitud) |              |             |       |                       |
|--|--------------|-------------|-------|-----------------------|
| N°   | Edad en Días | Resistencia |       | Peso unitario (kN/m3) |
|  |              | MPa         | KN    |                       |
| 1  | 28           | 2.90        | 21.9  | 24.32                 |
| 2  | 28           | 2.92        | 22.0  | 24.44                 |
| Prom.  |              | 2.91        | 21.95 | 24.38                 |
| Rotura de probetas prismáticas (16% de Incorporación de viruta, 5cm de longitud) |              |             |       |                       |
| N°   | Edad en Días | Resistencia |       | Peso unitario (kN/m3) |
|  |              | MPa         | KN    |                       |
| 1  | 28           | 2.85        | 21.5  | 23.96                 |
| 2  | 28           | 2.89        | 21.7  | 23.86                 |
| Prom.  |              | 2.87        | 21.60 | 23.91                 |
| Rotura de probetas prismáticas (16% de Incorporación de viruta, 6cm de longitud) |              |             |       |                       |
| N°   | Edad en Días | Resistencia |       | Peso unitario (kN/m3) |
|  |              | MPa         | KN    |                       |
| 1  | 28           | 2.88        | 21.7  | 24.27                 |
| 2  | 28           | 2.80        | 21.1  | 23.50                 |
| Prom.  |              | 2.84        | 21.40 | 23.89                 |

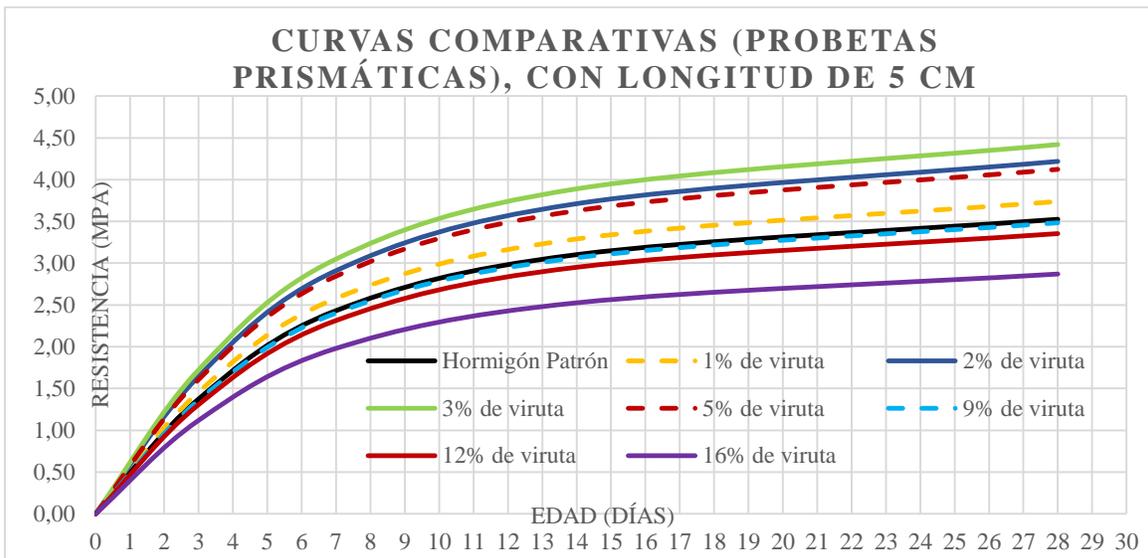
Fuente: Elaboración Propia

**Gráfica 1: Comparación de la Resistencia Alcanzada del Hormigón Patrón con la del Hormigón Incorporado de Viruta de acero (4cm)**



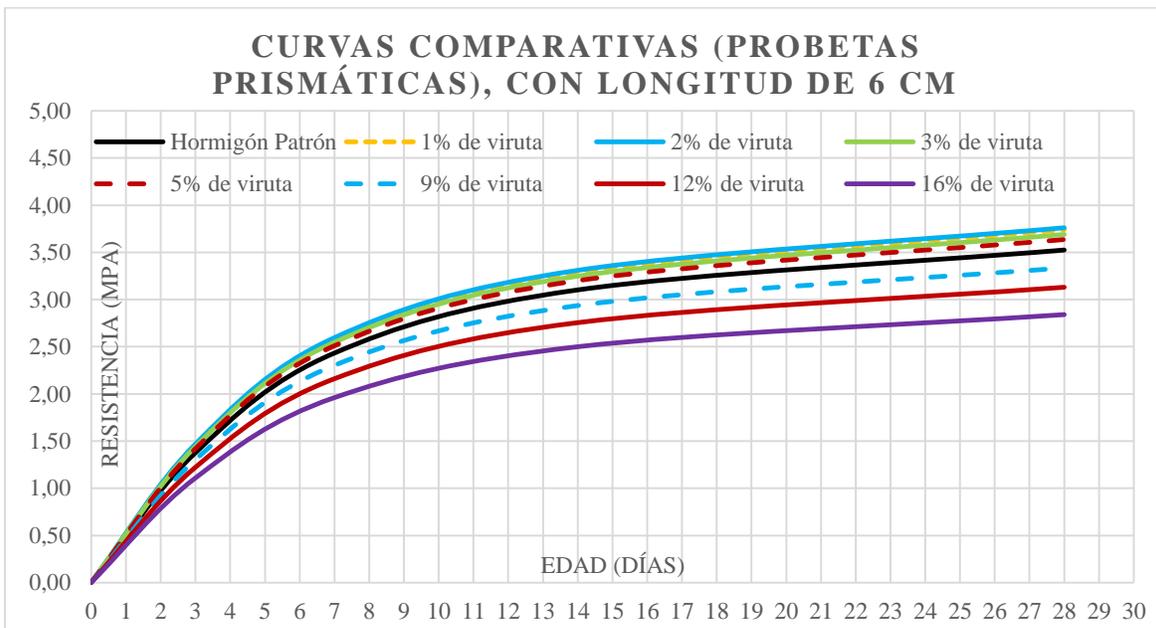
Fuente: Elaboración propia

**Gráfica 2: Comparación de la Resistencia Alcanzada del Hormigón Patrón con la del Hormigón Incorporado de Viruta de Acero (5cm)**



**Fuente:** Elaboración propia

**Gráfica 3: Comparación de la Resistencia Alcanzada del Hormigón Patrón con la del Hormigón Incorporado de Viruta de Acero (6cm)**



**Fuente:** Elaboración propia

Se observa que el hormigón con la incorporación de virutas de acero, incrementa su resistencia a flexotracción:

**Figura 21: Ensayo a Flexotracción de Vigas al 3% de Virutas de Acero**



**Fuente:** Elaboración Propia

El incremento de porcentaje de incorporación de viruta de acero al 1%, 2% y 3 %, variando las longitudes de las mismas (4cm, 5cm y 6cm) aumenta paulatinamente la resistencia a flexotracción del hormigón.

Pero al incorporar viruta de acero de 6 cm, la resistencia de las probetas prismáticas bajó en comparación a las vigas de longitudes de viruta de 4cm y 5cm.

Al analizar el incremento de la resistencia a flexotracción, según la cantidad de viruta de acero incorporada, se considera lo siguiente:

- Con un 1% de viruta de acero en el hormigón, se obtiene las siguientes resistencias a los 28 días con respecto al hormigón patrón:
  - Incremento (4 cm de longitud de viruta): 1.7%
  - Incremento (5 cm de longitud de viruta): 6.25%
  - Incremento (6 cm de longitud de viruta): 6.25%
- Con un 2% de viruta de acero en el hormigón, se obtiene las siguientes resistencias a los 28 días con respecto al hormigón patrón:
  - Incremento (4 cm de longitud de viruta): 12.78%

- Incremento (5 cm de longitud de viruta): 19.89%
- Incremento (6 cm de longitud de viruta): 6.81%
- Con un 3% de viruta de acero en el hormigón, se obtiene las siguientes resistencias a los 28 días con respecto al hormigón patrón:
  - Incremento (4 cm de longitud de viruta): 24.15%
  - Incremento (5 cm de longitud de viruta): 25.57%
  - Incremento (6 cm de longitud de viruta): 4.83%

Se puede apreciar que la resistencia más alta, es con la viruta de acero cuya longitud es de 5 cm al 3%. Como este estudio se realizó con la condición de tratar a este material como aditivo, con el propósito si evidentemente mejoraba la resistencia a flexotracción del hormigón o no.

En los anteriores gráficos, se muestra de una mejor manera cómo la resistencia de las vigas decae con la adición de hasta un 16 % de viruta de acero en la mezcla.

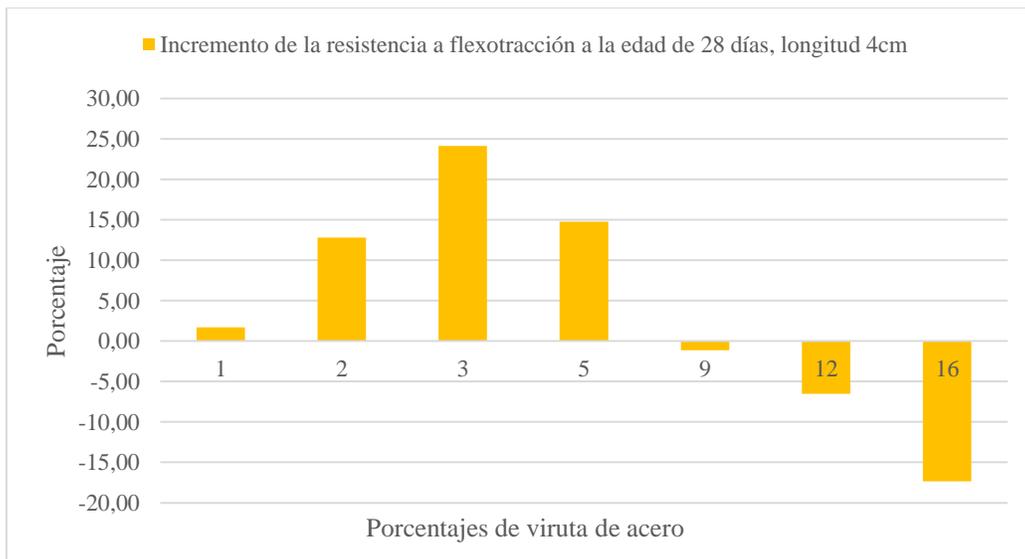
Al analizar el descenso de la resistencia a flexotracción, según la cantidad de viruta de acero adicionada, se considera lo siguiente:

- Con un 5% de viruta de acero en el hormigón, se obtiene las siguientes resistencias a los 28 días con respecto al hormigón patrón:
  - Incremento (4 cm de longitud de viruta): 14.77%
  - Incremento (5 cm de longitud de viruta): 17.33%
  - Incremento (6 cm de longitud de viruta): 3.41%
- Con un 9% de viruta de acero en el hormigón, se obtiene las siguientes resistencias a los 28 días con respecto al hormigón patrón:
  - Descenso (4 cm de longitud de viruta): 1.14%
  - Descenso (5 cm de longitud de viruta): 0.85%
  - Descenso (6 cm de longitud de viruta): 5.11%

- Con un 12% de viruta de acero en el hormigón, se obtiene las siguientes resistencias a los 28 días con respecto al hormigón patrón:
  - Descenso (4 cm de longitud de viruta): 6.53%
  - Descenso (5 cm de longitud de viruta): 4.55%
  - Descenso (6 cm de longitud de viruta): 11.08%
- Con un 16% de viruta de acero en el hormigón, se obtiene las siguientes resistencias a los 28 días con respecto al hormigón patrón:
  - Descenso (4 cm de longitud de viruta): 17.33%
  - Descenso (5 cm de longitud de viruta): 18.47%
  - Descenso (6 cm de longitud de viruta): 19.32%

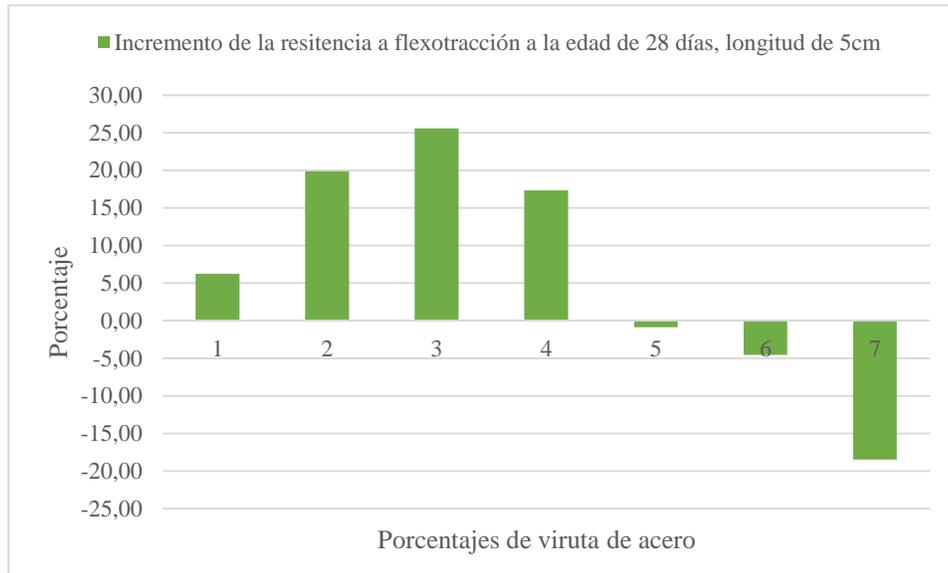
Con estos resultados se elabora las siguientes gráficas donde se observa de mejor manera el incremento o descenso de las resistencias de las vigas respecto al hormigón normal:

**Gráfica 4: Incremento de Resistencia a Flexotracción Respecto al Hormigón Patrón sin Viruta de Acero, para una Longitud de la Misma de 4cm, ensayado a 28 días**



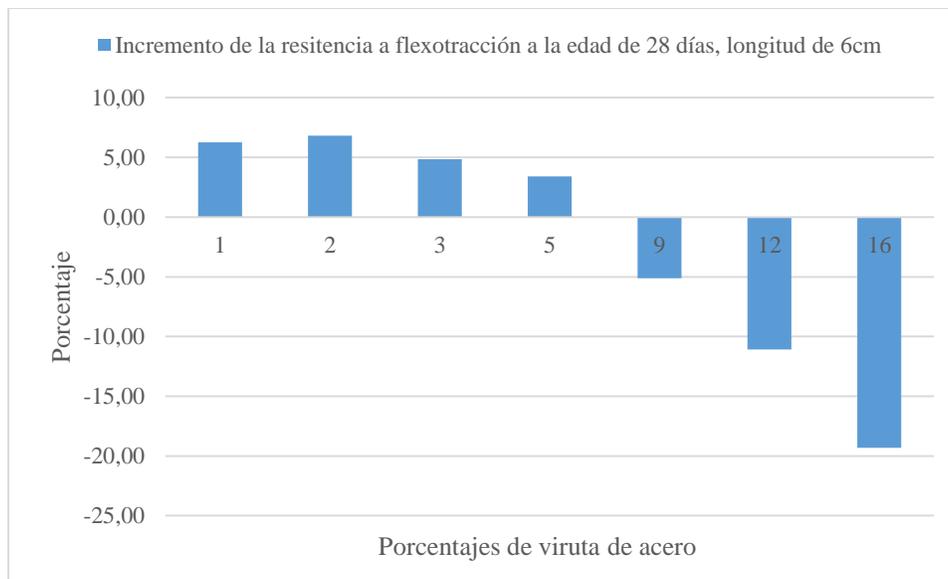
**Fuente:** Elaboración Propia

**Gráfica 5: Incremento de Resistencia a Flexotracción Respecto al Hormigón Patrón sin Viruta de Acero, para una Longitud de la Misma de 5cm, ensayado a 28 días**



**Fuente:** Elaboración Propia

**Gráfica 6: Incremento de Resistencia a Flexotracción Respecto al Hormigón Patrón sin Viruta de Acero, para una Longitud de la Misma de 6cm, ensayado a 28 días**

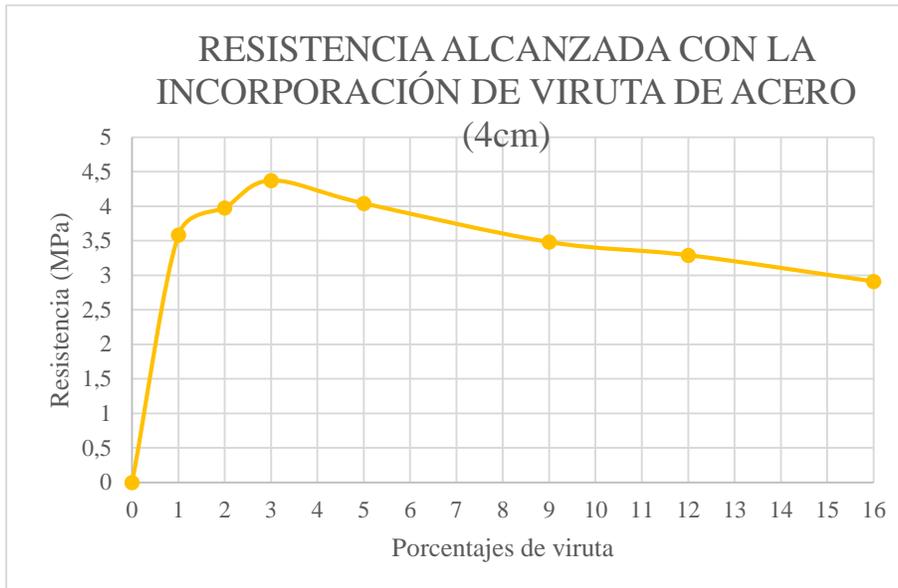


**Fuente:** Elaboración Propia

#### 4.4. Resistencias Alcanzadas con las Virutas de Acero en el Hormigón

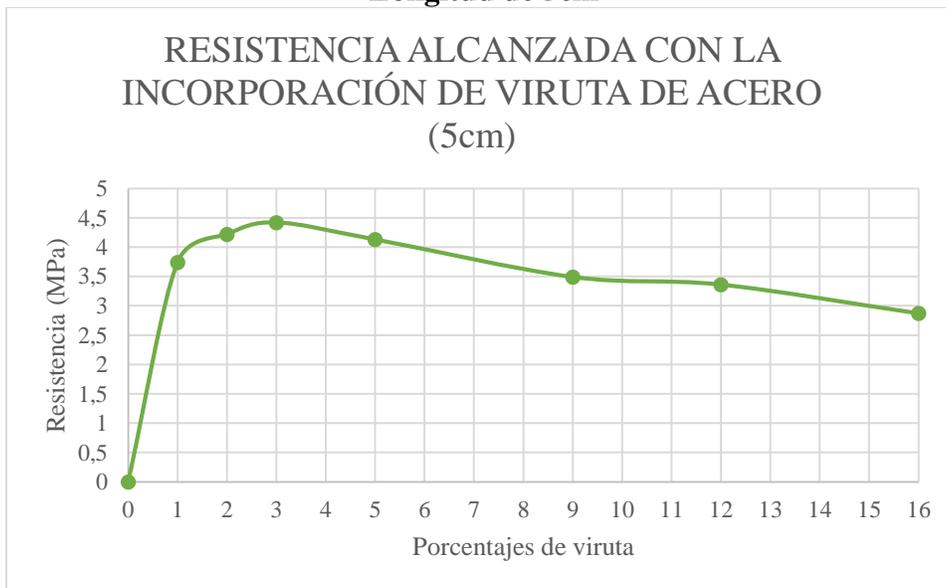
Con todos los resultados obtenidos, podemos establecer una gráfica que nos muestre las resistencias alcanzadas en el hormigón con la incorporación de viruta de acero:

**Gráfica 7: Resistencia Alcanzada con la Incorporación de Viruta de Acero a una Longitud de 4cm**



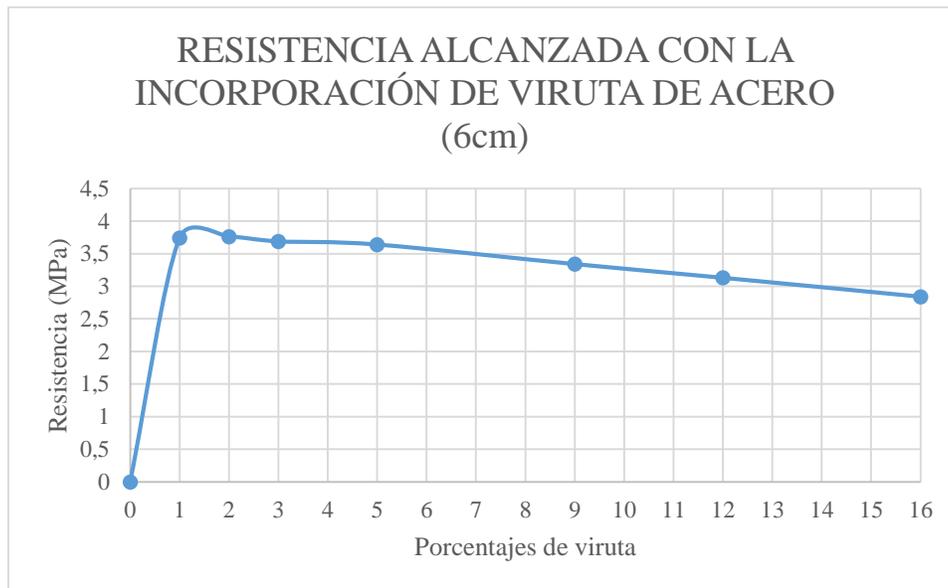
**Fuente:** Elaboración Propia

**Gráfica 8: Resistencia Alcanzada con la Incorporación de Viruta de Acero a una Longitud de 5cm**



**Fuente:** Elaboración Propia

**Gráfica 9: Resistencia Alcanzada con la Incorporación de Viruta de Acero a una Longitud de 6cm**



**Fuente:** Elaboración Propia

#### **4.5. Contratación de la Hipótesis**

Como se planteó en la hipótesis (1.5.) los resultados pueden demostrar:

H 1, (hipótesis de investigación) ***“Con la incorporación de viruta de acero a la mezcla de hormigón, se logrará mejorar la resistencia a flexión del mismo.”***

H 0, (hipótesis nula), ***“Con la incorporación de viruta de acero a la mezcla de hormigón, no se mejora la resistencia a flexión del mismo.”***

De los resultados obtenidos de todas las probetas prismáticas tanto la muestra patrón como las vigas que contienen virutas de acero a distintos porcentajes y longitudes, se contrasta lo siguiente:

Se acepta la hipótesis de investigación (H 1), habiendo verificado que con porcentajes de 1%, 2%, 3% y 5% a longitudes de 4 cm, 5 cm y 6 cm la resistencia del hormigón a flexotracción aumenta en una curva ascendente, los incrementos máximos son para las virutas de 5 cm y varían según la cantidad añadida: para 1% se incrementa la resistencia a flexión en un 6.25%; para un 2% en un 19.89%; para un 3% es de un 25,57% y finalmente para un 5% como máximo de incremento de un 17.33% con una longitud de 5 cm con referencia al hormigón

patrón, obteniendo suficientes evidencias para rechazar la hipótesis nula con porcentajes hasta el 5%.

Adicionalmente se corroboró el comportamiento de las vigas a porcentajes de 9%, 12% y 16% de viruta de acero con longitudes de 4 cm. 5 cm y 6 cm. Para estos porcentajes no se logra cumplir con la hipótesis de investigación, ya que la resistencia del hormigón disminuye, considerando que los resultados máximos para las virutas de 6 cm son los siguientes: para un 9% desciende un 5.11%; para el 12% de viruta reduce la resistencia en un 11.08%; por último, en un 16% de viruta desciende la resistencia en un 19.32%.

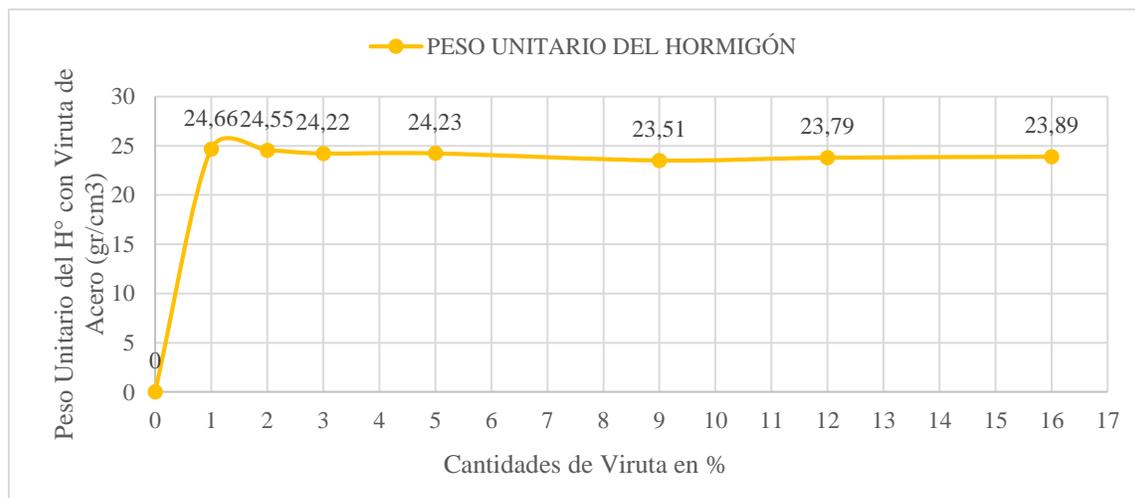
En consecuencia, se puede concluir que el tamaño de viruta óptimo de este trabajo de investigación es de 5 cm y el porcentaje óptimo es el de 3% en relación del peso de cemento.

#### 4.6. Peso Unitario del Hormigón con Virutas de Acero

Al incorporar cantidades grandes de viruta de acero en el hormigón, se crean vacíos en el mismo además de dificultar el compactado de la mezcla, además de dificultar la trabajabilidad del mismo con cantidades grandes.

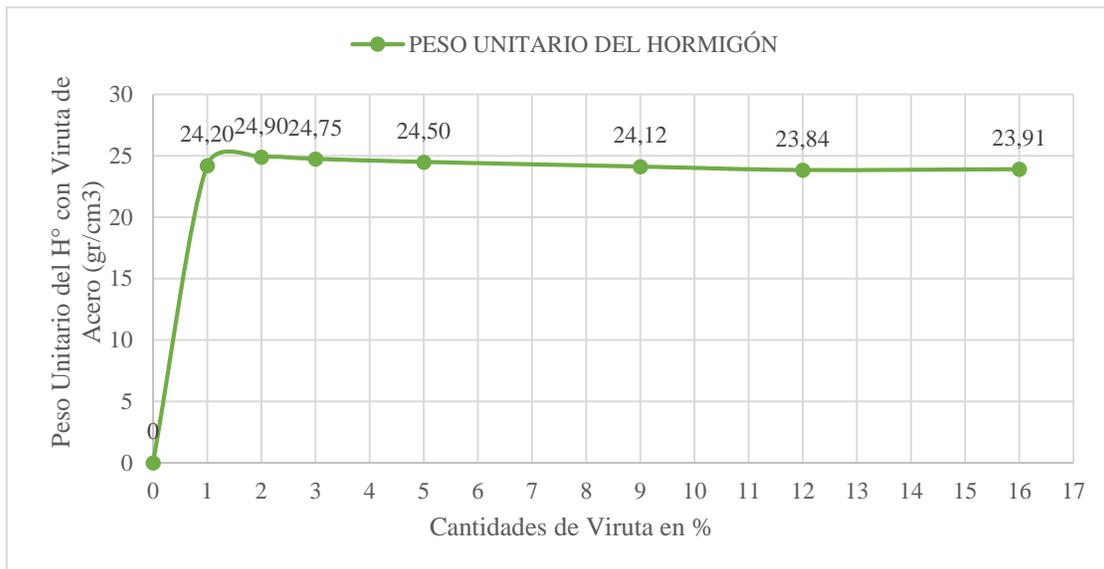
Pero como esta investigación se basó en cantidades pequeñas, considerándolas como un aditivo y una dosificación plástica para este material las variaciones del peso unitario no son significativas, como se presenta en los siguientes gráficos:

**Gráfica 10: Peso Unitario del Hormigón Respecto al Incremento de Virutas de Acero con una Longitud de 4cm**



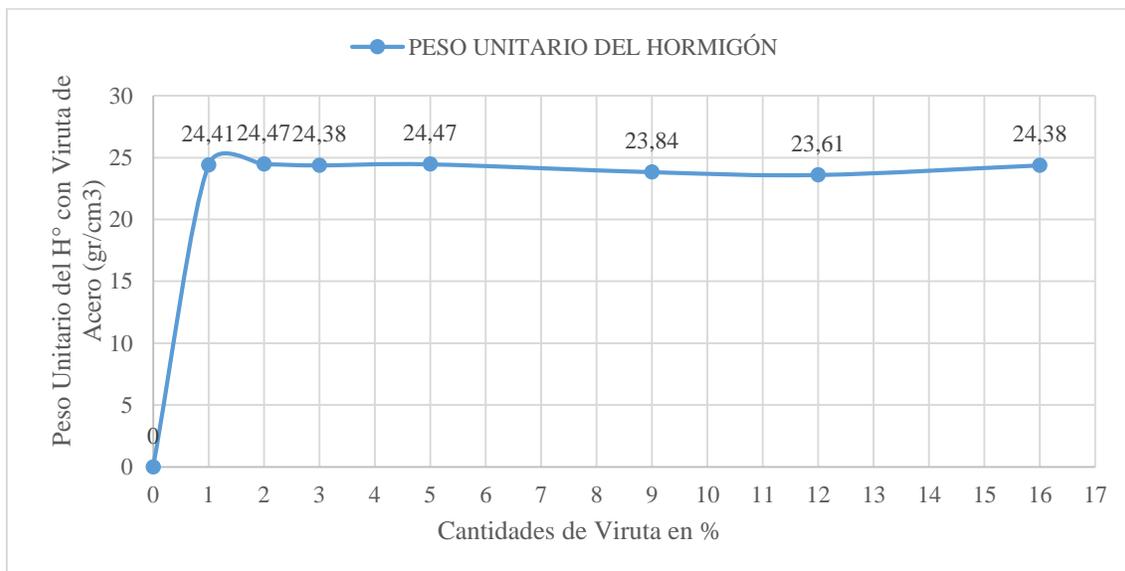
**Fuente:** Elaboración Propia

**Gráfica 11: Peso Unitario del Hormigón Respecto al Incremento de Virutas de Acero con una Longitud de 5cm**



**Fuente:** Elaboración Propia

**Gráfica 12: Peso Unitario del Hormigón Respecto al Incremento de Virutas de Acero con una Longitud de 6 cm**

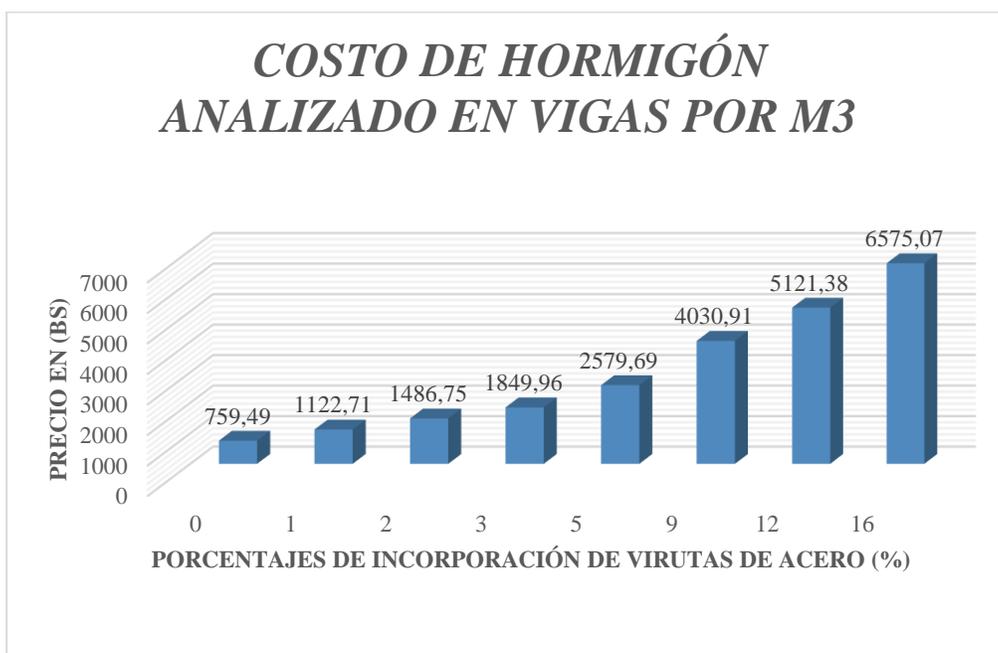


**Fuente:** Elaboración Propia

#### 4.7. Análisis de Precios Unitarios

A continuación, se presenta una gráfica con los costos que tiene el hormigón patrón y el hormigón con adición de viruta de acero:

**Gráfica 13: Costo del Hormigón con Adición de Viruta de Acero**



**Fuente:** Elaboración Propia

En la gráfica, se muestra cómo el hormigón patrón tiene el menor costo y a medida que se le añade viruta de acero en el hormigón, este tiene un costo más elevado. Para más detalle Ver Anexo (N° 9).

Ya que no se cuenta con alguna información previa del costo de la viruta de acero para poder analizar en precios unitarios, se tomó como referencia la experiencia propia en el presente proyecto de investigación para analizar los rendimientos:

Para realizar medio kilogramo de viruta de acero, se demoró dos horas y media; como una jornada laboral consta de ocho horas.

$$\frac{1}{2} \text{ kg de viruta de acero} \rightarrow 2.5 \text{ hr.}$$

Entonces:

$$1 \text{ kg de viruta de acero} \rightarrow 5 \text{ hr}$$

Una persona más experimentada en este tipo de trabajo puede acortar el tiempo para poder formar un kilogramo de viruta y poder realizarlo en tres horas y media o quizás cuatro,

*1kg de viruta de acero → 4 hr*

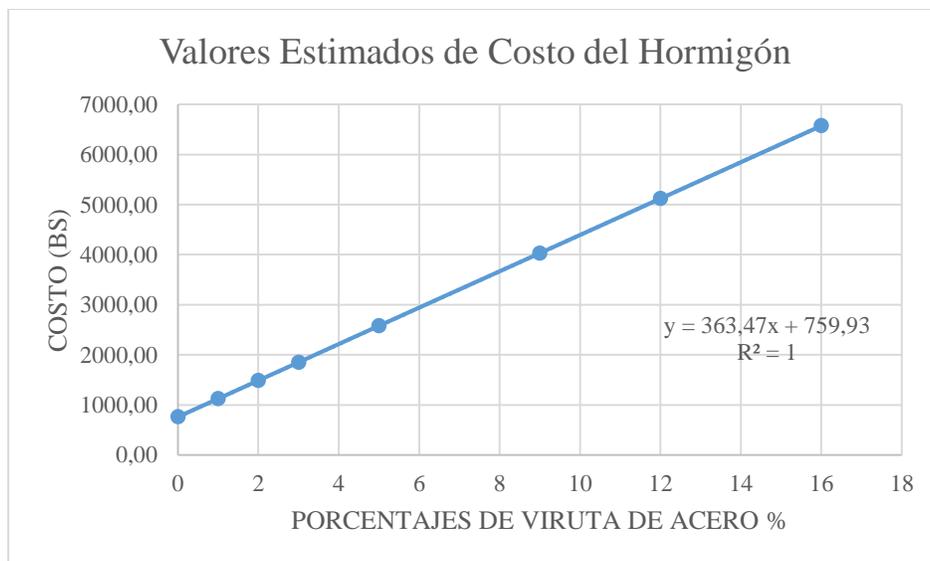
Como una jornada laboral generalmente se cobra aproximadamente entre 120 bs a 160 bs, tomando como referencia una media entre ambos precios tenemos:

*1kg de viruta de acero → 4 hr → 70 bs*

El costo de realizar este tipo de hormigón reforzado con virutas de acero es proporcional con la cantidad añadida de este material a la mezcla. No presenta ninguna dificultad añadirla en obra, su obtención es gratuita, es un material que se puede reutilizar (considerado un desecho de las tornerías). Lo que presenta un costo es el corte del material a la longitud deseada, ya que no se cuenta con una maquina tal para poder realizarla (o trabajar con fibras de acero que se obtienen con un tamaño y longitud específica), esto necesariamente se tiene que hacer de manera manual.

A continuación, se presenta una gráfica de proyección de costo de este hormigón con la cantidad de viruta de acero incorporada:

**Gráfica 14: Valores Estimados de Costo del Hormigón en Vigas con Virutas de Acero**



**Fuente:** Elaboración Propia

Se puede apreciar en la gráfica anterior que tiene una tendencia lineal el costo del hormigón con adición de viruta de acero.

#### 4.7.1. Comparación de Costo del Hormigón con Viruta de Acero y Fibras de Acero

A continuación, se muestra una tabla con los costos de hormigón (analizado para vigas) con adición de viruta de acero y fibra de acero. Para más detalle Ver Anexo (N° 9).

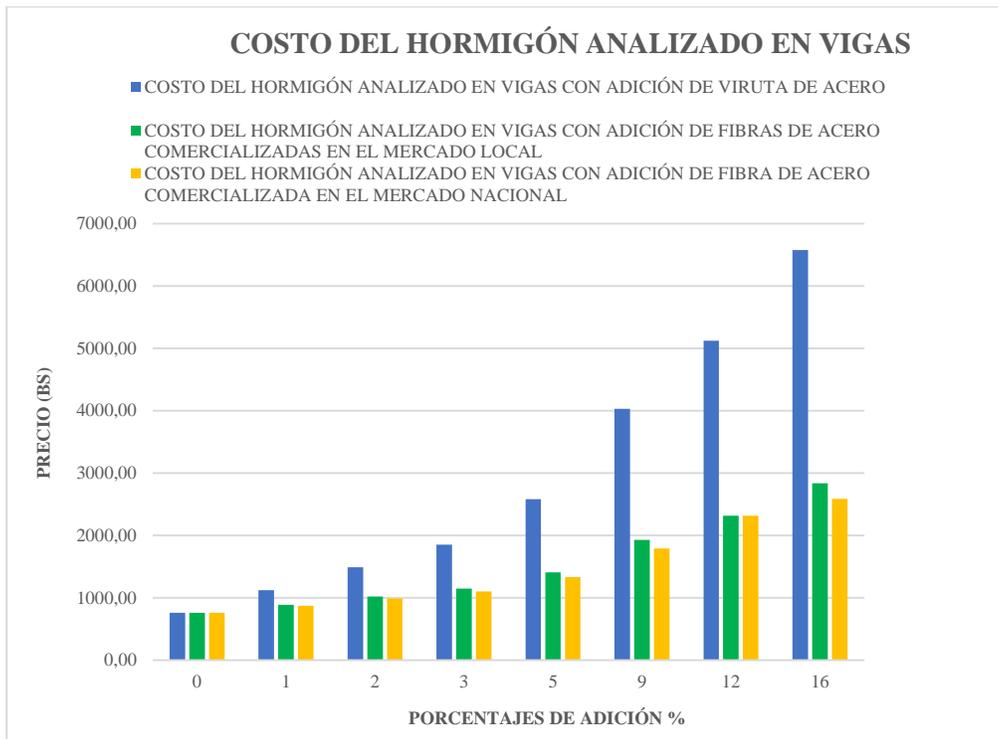
**Tabla 46: Costo del Hormigón (Analizado para Vigas) con Adición de Viruta de Acero y Fibra de Acero**

|                               | PORCENTAJE<br>% | COSTO DE<br>ITEM CON<br>VIRUTA DE<br>ACERO (BS) | COSTO ITEM<br>CON FIBRA<br>DE ACERO<br>LOCAL (BS) | COSTO ITEM<br>CON FIBRA DE<br>ACERO<br>NACIONAL<br>(BS) |
|-------------------------------|-----------------|---|---|---|
| HORMIGÓN PATRÓN               | 0               | 759.49  | 759.49  | 759.49  |
| HORMIGÓN CON ADICIÓN DE ACERO | 1               | 1122.71   | 889.21  | 873.64  |
| HORMIGÓN CON ADICIÓN DE ACERO | 2               | 1486.75   | 1019.22   | 988.06  |
| HORMIGÓN CON ADICIÓN DE ACERO | 3               | 1849.96   | 1148.95   | 1102.21   |
| HORMIGÓN CON ADICIÓN DE ACERO | 5               | 2579.69   | 1409.56   | 1331.55   |
| HORMIGÓN CON ADICIÓN DE ACERO | 9               | 4030.91   | 1927.85   | 1787.65   |
| HORMIGÓN CON ADICIÓN DE ACERO | 12              | 5121.38   | 2317.31   | 2317.31   |
| HORMIGÓN CON ADICIÓN DE ACERO | 16              | 6575.07   | 2836.48   | 2587.24   |

**Fuente:** Elaboración Propia

Como se puede observar en la Tabla 46. Los costos del hormigón con fibras de acero en vigas disminuyen bastante en comparación con los incorporados con viruta de acero, se presenta una gráfica para mayor detalle:

**Gráfica 15: Costo del Hormigón Analizado en Vigas con Adición de Viruta y Fibra de Acero**



**Fuente:** Elaboración Propia

El costo del hormigón con la incorporación de viruta de acero en relación con el costo de las fibras de acero que se comercializan a nivel local y nacional tienen una diferenciación a considerar:

- Si bien las virutas de acero son consideradas un desecho, se puede obtenerlas de manera gratuita en tornerías, el elevado costo que estas tienen es por la cantidad de tiempo que se tarda en poder darle forma de fibra con una longitud definida. Como se pudo mostrar en (4.7.).
- El precio por kilogramo de las fibras de acero que se comercializan en las importadoras de Tarija, tiene un valor promedio de 25 bs, dependiendo las características de la fibra de acero: forma, tamaño, etc. Mientras que a nivel nacional se estima un precio de 20 bs – 22 bs el kilogramo.

**CAPÍTULO V**  
**CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

## CAPÍTULO V

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Antes de proceder con las conclusiones, valga aclarar las siguientes observaciones:

- Los resultados de todos los ensayos analizados son el promedio de varias pruebas analizadas en laboratorio.
- Se verificó la calibración de la prensa utilizada en este trabajo de investigación (Ver Anexo N° 6)

#### 5.1. Conclusiones

- Se realizaron las pruebas de resistencia a flexión de las vigas a los 28 días del hormigonado tomando en cuenta que en este lapso de tiempo estas adquieren su mayor resistencia.
- De las pruebas realizadas para porcentajes de 1%, 2%, 3% y 5% de viruta de acero y longitudes del material de 4 cm, 5 cm y 6 cm, se evidencia el aumento máximo de la resistencia a flexión en un 6.25% para un porcentaje de 1% y una longitud de 5 cm, un 19.89% para un porcentaje de 2% y una longitud de 5 cm, un 25.57% para un porcentaje de 3% y una longitud de 5 cm y finalmente un 17.33% para un porcentaje de 5% y una longitud de 5 cm.
- Para los porcentajes de 9%, 12% y 16% de viruta de acero y longitudes del material de 4 cm, 5 cm y 6 cm, la resistencia disminuye respecto al hormigón patrón en un 5.11% para un porcentaje de 9% y una longitud de 6 cm, en un 11.08% para un porcentaje de 12% y una longitud de 6 cm y finalmente en un 19.32% para un porcentaje de 16% y una longitud de 6 cm.
- La resistencia a flexotracción más alta, se dio en las virutas de 5 cm de longitud y un porcentaje de 3%. Pero al incorporar esta misma cantidad de viruta, con una longitud de 6 cm, se reduce la resistencia obtenida en comparación de las longitudes previas.
- La trabajabilidad y el peso unitario del hormigón no se vio afectada por la incorporación de este material, debido a las cantidades pequeñas que se utilizó durante la elaboración del hormigón (hasta el 5%). Pero a partir del 9% de

incorporación de viruta de acero la trabajabilidad del hormigón se vio afectada por la cantidad del material añadido.

- Se evidenció que al añadir porcentajes altos de viruta de acero a partir del 9%, parte del árido grueso (grava), se desperdiciaba en la hormigonera. Además, que se aglomeraban, evitando distribución homogénea de los componentes del hormigón.
- El costo que llega a tener este tipo de hormigón reforzado con viruta de acero depende de la cantidad incorporada a la mezcla del mismo. Esto está relacionado no con la obtención de la viruta de acero (es considerado un material sin uso por las tornerías) sino con cortar el material a las longitudes deseadas.
- Existen fibras de acero comercializadas por importadoras tanto locales como a nivel nacional que tienen un precio bajo en comparación con el de las virutas de acero siendo que las primeras tienen un valor aproximado de 25 bs el kilogramo. Mientras que la segunda tiene un valor de 70 bs el kilogramo (originado por la mano de obra). Si bien el precio de las fibras de acero es menor, está limitado a su empleo con las características que provee la importadora (longitud, forma), en caso de requerir un ajuste en cualquiera de sus características se necesita un pedido especial que puede acrecentar los costos del hormigón.
- Realizando un contraste social, económico y ambiental se concluye que el uso de las virutas de acero reduce la contaminación ambiental y fomenta la reutilización de este material de desecho, sin embargo, se observa que el costo para emplear la viruta como refuerzo en un elemento estructural se incrementa.
- En base a los resultados obtenidos en el presente trabajo se concluye que la aplicabilidad de las virutas de acero será viable en elementos estructurales que se encuentran sometidos a esfuerzos de tracción como en los revestimientos de túneles, cascaras de pared delgada como una cúpula, tubos prefabricados e incluso en pavimentos. Los cuales que por su geometría no abarque la armadura calculada para poder soportarlos o en elementos que carecen de ella.

## 5.2. Recomendaciones

Se recomienda lo siguiente:

- Continuar realizando pruebas de incorporación de viruta de diferentes materiales y otras características a las analizadas en esta investigación (planas y rectas), de tal manera que se tengan otros resultados.
- Profundizar los ensayos de resistencia del hormigón a flexión y la determinación del valor óptimo de incorporación usando este material, en comparación con las fibras de acero propiamente comercializadas a diferentes porcentajes.
- Se debe tomar en cuenta que implementando virutas de acero por encima del 5% se debe realizar una dosificación considerando a este material como un componente más del hormigón.
- Analizar el comportamiento de las virutas de acero en el hormigón sin tomar en cuenta las recomendaciones para la elaboración del mismo, es decir tomar otro tamaño máximo de agregado grueso, tamaño de fibras más pequeñas, una relación agua cemento más alta que la usada en este proyecto.
- Buscar una alternativa más rápida para el proceso de corte de las virutas de acero, ya sea en las mismas tornerías o algún tipo de convenio con empresas que se encargan de fabricar fibras de acero, para reducir costos y aumentar la viabilidad del uso de este material.
- Durante las pruebas se observó que la incorporación de virutas de acero a partir del 3% provocó una falla más dúctil y no generó una rotura de manera abrupta, situación que deja abierta la invitación a investigar los efectos sobre otras propiedades del hormigón empleando este material.