

## **1.1 Introducción**

En la actualidad la contaminación del medio ambiente a causa de los desechos plásticos ha ido incrementando a un nivel excesivo, tal que nos vemos con la necesidad de buscar una alternativa útil para su reúso.

Así mismo por otro lado, vemos la gran explotación de agregados para la elaboración de hormigones, el cual conlleva a una escasez de dicho material, útil y primario para la construcción civil.

A excepción de obras especiales, las cuales requieren hormigones de alta resistencia; en su mayoría se trabaja con hormigones convencionales que oscilan resistencias normales estandarizadas. Se elaborará hormigones convencionales con la adición de plásticos reciclados de botellas PET (Tereftalato de polietileno), el cual será con la finalidad de reusar los plásticos, favoreciendo de esta manera a nivel ambiental y también ayudar en cierto porcentaje como agregado dentro de la mezcla.

## **1.2 Antecedentes**

Ésta investigación está basada en anteriores estudios realizadas en otros países, los cuales tenían la misma preocupación con la escasez de agregado y demanda excesiva del plástico.

Para la recolección de información y tratamiento de la misma se consideró una muestra poblacional (probetas).

Para ello se tomó en cuenta varios tipos de mezclas con distintos % de adición de material PET, aparte de la muestra patrón.

## **1.3 El problema**

### **1.3.1 Planteamiento**

En estos últimos años con relación al deterioro e impacto ambiental en Bolivia, producido por los desechos plásticos, el mismo dado por el incremento poblacional y demanda excesiva de su uso; juntamente paralelo a ello la escasez de agregado grueso dentro del área de la construcción; es así que surge la investigación y aplicación sobre la reutilización de material plástico PET para ser trabajado como parte de una mezcla de hormigón convencional, considerando el comportamiento de la mezcla de hormigón con adición de agregado no convencional, con el propósito de darle un uso adecuado al concreto mediante un análisis en laboratorio y así poder disminuir el costo y la densidad del concreto, consigo disminuir también los problemas ambientales.

### **1.3.2 Formulación**

El hormigón al ser un material muy usado, sale la cuestión para su elaboración ¿cuán difícil es conseguir los componentes que lo conforman?, en este caso los agregados tanto grueso como fino. ¿Cómo ayudar a evitar eso?, una de ellas es buscar otros materiales que ayuden a sustituir de alguna manera un % de ese componente. La contaminación cada día crece sobre todo en los residuos plásticos, para ello ¿cómo podríamos reutilizar ese material contaminante?, ¿cuáles serían las alternativas en cuanto al ingreso como componente de hormigón para una construcción civil?

### **1.3.3 Sistematización**

Poniendo en un balance la gran contaminación, y su vez la explotación desmedida del agregado, nos vemos en la obligación de buscar alternativas entre ellas:

Realizar pruebas mediante laboratorio, como ser la elaboración de concretos convencionales con la adición de ciertos (%) porcentajes de material PET de botellas recicladas, de acuerdo a lo que permita la norma. A través de dichos ensayos y de acuerdo a las resistencias dadas dar una finalidad de uso de acuerdo al % empleado.

## **1.4 Objetivos**

### **1.4.1 General**

Analizar la resistencia a compresión del hormigón convencional con adición de material plástico reciclado de botellas PET (Tereftalato de Polietileno) para la implementación y aplicación futura en la obra civil, y sus beneficios ambientales.

### **1.4.2 Específicos**

- Explicar todo el proceso de obtención del material reciclable de las botellas PET, la cual será reutilizada en mezclas convencionales de hormigón.
- Realizar la dosificación de la mezcla patrón y las 2 mezclas de hormigón con distintos porcentajes de material reciclado PET.
- Realizar un análisis cuantitativo para distintas dosificaciones de plástico
- Analizar los cambios en las propiedades mecánicas de la mezcla como: asentamiento, densidad del hormigón y resistencia a compresión del hormigón convencional.
- Hacer un análisis comparativo con otros materiales reciclables en cuanto a resistencia, aplicación, beneficios, impacto ambiental y costo.
- Realizar la aplicabilidad del hormigón de acuerdo a su resistencia.
- Realizar el presupuesto económico del hormigón desarrollado.
- Realizar alternativas de uso con hormigón convencional.

## **1.5 Justificación**

### **1.5.1 Teórica**

A través de esta investigación, se puede dar a conocer otro tipo de uso y forma de reciclaje para ayudar de alguna manera al medio ambiente con la reutilización de los desechos plásticos, con la finalidad de preservar el agregado pétreo no renovable.

## **1.5.2 Metodológica**

El hormigón es un material esencial en cuanto al sector de la construcción, por lo tanto es necesario tener nuevas alternativas, para poder encontrar técnicas y en lo posible la utilización de otros productos no convencionales, en este caso el plástico, y que esto permitan realizar mezclas de concreto adecuados, eficientes, livianos, ecológicos y económicos.

## **1.5.3 Práctica**

Innovación de otra forma de reutilización de plástico reciclado, el cual no solo ayuda a reducir la contaminación, sino también en cuanto a la construcción; la misma utilizada en varias formas.

## **1.6 Formulación de la hipótesis**

### **1.6.1 Hipótesis**

Con la inclusión de material reciclado de botellas PET (plástico) en el hormigón, en donde se disminuye la grava y sustituye con porcentajes de 10% y 15% de PET, dará como resultado una pérdida de peso aproximadamente un 4% y paralelo a ello un incremento de resistencia a compresión hasta un 18%.

### **1.6.2 Identificación de variables**

- Variable independiente: Adición del % de material PET en el hormigón.
- Variable dependiente: Resistencia a compresión respecto al porcentaje de PET.
- Variables intervinientes: Factores que intervienen dentro y fuera de la elaboración del hormigón como ser: temperatura, humedad, mezclado, vibrado, enrasado de probetas, curado, etc.

## **1.7 Alcance del trabajo**

Desarrollar un hormigón convencional utilizando ciertos porcentajes de plástico reciclado de botellas PET, este será usado en forma de materia granular e incluido al

material de agregado como parte del mismo, con ello reducir la cantidad de material pétreo, consigo para obtener resistencias aceptables por norma.

Otras formas del modo de uso del plástico sería en forma de escamas, fibra, y triturado, pero estos tendrían otra finalidad en la aplicación.

En el caso de fibras para la reducción de fisuración en la aplicación de elementos sometido a flexión, en cuanto al triturado podría aplicarse en pavimento rígido.

Se desea obtener un hormigón convencional, el cual pueda cumplir con resistencias estandarizadas, para poder ser aplicada en la obra civil, de esta forma ayudar a la reducción de agregado como también la reutilización de material plástico (PET) y a su vez a disminuir la contaminación ambiental.

## **2.1 Definición del hormigón**

En términos generales, el concreto u hormigón puede definirse como la mezcla de un material aglutinante, un material de relleno (agregados o áridos) grava y arena (piedra triturada, piedra chancada, pedrejón), agua y eventualmente aditivos, que al endurecerse forma un todo compacto (piedra artificial) y después de cierto tiempo es capaz de soportar grandes cargas a compresión. (*Diego Sánchez de Guzmán – Tecnología del concreto y del mortero pág. 19*)

El hormigón debe ser durable, resistente y trabajable, siendo su estado líquido el que permite obtener fácilmente cualquier forma.

El comportamiento mecánico y la durabilidad de este material dependen de aspectos básicos como:

- Las características, composición y propiedades de la pasta.
- La calidad propia de los agregados finos y gruesos.
- La afinidad o unión entre el cementante con los agregados y su capacidad para trabajar en conjunto.
- Relación agua/cemento.

*(Hernández 2011 pg 1)*

### **2.1.1 Tipos de hormigón**

Se distingue dos grupos de hormigones: los ordinarios y los especiales.

- Ordinarios

Según el tipo de esfuerzo que pueden resistir, se tiene:

- En masa, aptos para resistir esfuerzos de compresión (cemento, agregado y agua).
- Armado, hormigón provisto de armaduras de barra de acero, lisas o corrugadas; dimensionadas y colocadas para resistir esfuerzos combinados de compresión y tracción.

- Pretensado, en la cual las armaduras de barras de acero especial, son sometidas a esfuerzos de tracción previamente a su endurecimiento.

Según el cemento que se emplee en su confección puede ser:

- Ordinario, solo lleva una clase de cemento Portland.
- Mixto, contienen como conglomerante una mezcla de cementos.

Según el tipo de áridos están:

- Ciclópeo, contiene en su interior de su masa agregados embebidos de dimensiones superiores a 20 cm.
- Uni modular, tiene árido de un único tamaño.

Según el proceso de consolidación se encuentran:

- Vibrado, se consolida por vibrado para incrementar su compacidad.
- Centrifugado, una vez moldeado, se somete a un proceso de centrifugación por el cual se acelera de eliminación del agua y se produce su compactación.

- Especiales

Según los materiales que intervienen.

- Refractario, tiene la cualidad de ser resistente a las elevadas temperaturas y se conglera con cemento aluminoso en vez de cemento Portland y con agregados especiales.
- De agregados ligeros o livianos, tiene agregados de pequeño peso específico.
- Sin finos, se fabrica con agregados de tamaño superior a 5 cm.

Según la compacidad están:

- Aerocluso, el cual contiene una cantidad de aire dentro de su masa en cantidad no superior al 6% de su volumen.
- Celular, es el que contiene burbujas de gas uniformemente repartidas y en gran cantidad en su masa.

Según la forma de colocación o fabricación se encuentran:

- Inyectado, es el resultado de inyectar un mortero en el interior de un encofrado donde se han colocado los agregados superiores a 2,5 cm.
- Sumergido, es el que se coloca en fresco debajo del agua del mar o de un río.

*(Tecnología del hormigón – Carlos Antezana García pág. 4-5).*

## **2.1.2 Componentes y sus características del hormigón**

Para que un hormigón sea bueno requiere cumplir ciertas características por norma, no solo en global, sino en cada uno de sus componentes.

### **2.1.2.1 Cemento**

El cual tiene propiedades tanto adhesivas como cohesivas, que le dan capacidad de aglutinar los agregados o áridos para conformar el concreto. Sus propiedades dependen de su composición química, el grado de hidratación y la resistencia mecánica que es capaz de desarrollar.

*(Diego Sánchez – Tecnología del hormigón pág 22-23).*

El cemento requiere de ciertas especificaciones que debe cumplir en cuanto a su composición química que posea ver tabla 2.1

Por otro lado cemento debe cumplir en cuanto a una de sus características como lo es en su peso específico  $3,15 \text{ gr/cm}^3$ .



**Tabla 2.1 Requisitos químicos del cemento portland**

Requisitos químicos		Tipo 1	Tipo 1M	Tipo 2	Tipo 3	Tipo 4(a)	Tipo 5(a)
Dióxido de silicio mínimo por ciento	(SiO <sub>2</sub> )	...	...	21,0	...	...	...
Oxido de aluminio máximo por ciento	(Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	...	...	6,0	...	...	...
Oxido férrico máximo por ciento	(Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	...	...	6,0	...	6,5	...
Oxido de magnesio máximo por ciento	(MgO)	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0
Trióxido de azufre máximo por ciento	(SO <sub>3</sub> )	3,5	3,5	...	4,5	...	...
Pérdida al fuego máximo por ciento		...	5,0	4,0	4,0	3,5	4,0
Residuo insoluble máximo por ciento		...	4,0	3,0	3,0	3,0	3,0
Silicato tricálcico máximo por ciento	(3CaO.SiO <sub>2</sub> ) <sup>b</sup>	...	...	...	...	35,0	...
Silicato dicálcico mínimo por ciento	(2CaO.SiO <sub>2</sub> ) <sup>b</sup>	...	...	...	...	40,0	...
Aluminato tricálcico máximo por ciento	(3CaO.Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ) <sup>b</sup>	...	...	8,0	15,0 <sup>c</sup>	7,0	5,0
(3Ca.SiO <sub>2</sub> ) + (3CaO.Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ) máximo por ciento		...	...	58,0 <sup>d</sup>	...	...	...

*Fuente: Tecnología del concreto y mortero – Diego Sánchez*

### 2.1.2.2 Agregados o áridos

Son todos aquellos materiales que, poseyendo una resistencia propia suficiente (resistencia del grano), garantizan una adherencia suficiente con la pasta de cemento endurecida. Estos materiales pueden ser naturales o artificiales, dependiendo de su origen.

*(Diego Sánchez – Tecnología del hormigón pág 22-23).*

Componen la mayor parte de la mezcla, de un 60 % a un 70 % del volumen del concreto. Debido a esto, es vital el tipo, la selección y la calidad de los mismos, ya que estos influyen en las propiedades y características finales de la mezcla.

*Aragón y Solano (2006) pg 17.*

Agregado fino.- Llamado también arena, debe cumplir con los parámetros especificados en varias normas, como las ASTM. Los requisitos describen la composición química, granulométrica, coeficiente de forma y tamaño.

*(Hernández 2011).*

Agregado grueso.- Llamado también grava, su calidad está directamente entrelazada con garantizar un buen desarrollo de la mezcla.

Debe ser fuerte, resistente y limpio sin ningún residuo de polvo; si se hallaran residuos no propios, se debe proseguir a lavarlo para eliminarlos, porque debe estar libre de partículas finas.

*(Hernández, 2011, p. 38).*

#### **a) Granulometría**

Se define como la distribución del tamaño de las partículas de la masa de agregados. La granulometría se determina mediante un análisis granulométrico, el cual consiste en hacer pasar una masa de agregados a través de una serie de tamices (mallas) que tienen aberturas cuadradas, ordenados de mayor a menor, que se encuentran estandarizados.

Es un ensayo para medir el tamaño de un material mediante la utilización de tamices, se debe tener un tamaño de material heterogéneo para evitar la presencia de vacíos en la chorro, con el fin de establecer el tipo de agregado según sus características físicas y mecánicas, ya que esto influye sobre la resistencia y calidad del hormigón.

*(Borachi, 2008, p. 32).*

Agregado grueso

Es el tamaño máximo que puede variar moderadamente dentro de un rango, sin que afecte apreciablemente las demandas de cemento y agua de la mezcla.

*(Kosmatka et al., 2004, p.109).* Ver anexo 3.

**Tabla 2.2 Muestra necesaria para el ensayo de granulometría de agregado grueso**

Tamaño de las partículas en pulgadas	Peso mínimo de la muestra en gramos
3/8	1000
1/2	2500
3/4	5000
1	10000
1 1/2	15000
2	20000
2 1/2	25000
3	30000
3 1/2	35000

*Fuente: Guía de laboratorio de hormigón*

**Tabla 2.3 Requisitos granulométricos para el agregado grueso**

Tamaño nominal	Cantidades mas finas que cada tamiz de laboratorio (aberturas cuadradas), % en peso												
	4" 100 mm	3 1/2" 90 mm	3" 75 mm	2 1/2" 63 mm	2" 50 mm	1 1/2" 37.5 mm	1" 25.0 mm	3/4" 19.0 mm	1/2" 12.5 mm	3/8" 9.5 mm	No. 4 4.75 mm	No. 8 2.36 mm	No. 16 1.18 mm
3 1/2" a 1 1/2"	100	90-100	-	25-60	-	0-15	-	0-5					
2 1/2" a 1 1/2"	-	-	100	90-100	35-70	0-15	-	0-5					
2" a No. 4	-	-	-	100	95-100	-	35-70	-	10-30	-	0-5		
1 1/2" a No. 4	-	-	-	-	100	95-100	-	35-70	-	10-30	0-5		
1" a 3/8"	-	-	-	-	-	100	90-100	40-85	10-40	0-15	0-5		
1" a No. 4	-	-	-	-	-	100	95-100	-	25-60	-	0-10	0-5	
3/4" a No. 4	-	-	-	-	-	-	100	90-100	-	20-55	0-10	0-5	
2" a 1"	-	-	-	100	90-100	35-70	0-15	-	0-5				
1 1/2" a 3/4"	-	-	-	-	100	90-100	20-55	0-15	-	0-5			
1 a 1/2"	-	-	-	-	-	100	90-100	20-55	0-10	0-5			
3/4" a 3/8"	-	-	-	-	-	-	100	90-100	20-55	0-15	0-5		
1 1/2" a No. 4	-	-	-	-	-	-	-	100	90-100	40-70	0-15	0-5	
3/8" a No. 8	-	-	-	-	-	-	-	-	100	85-100	10-30	0-10	0-5

*Fuente: ASTM C33 - Especificaciones para agregados*

### Agregado fino

Para tener una buena trabajabilidad y manejo del concreto, se debe evitar la segregación, por lo cual es importante el buen manejo del porcentaje recomendado que pase por cada tamiz del agregado.

**Tabla 2.4 Bandas granulométricas árido fino**

Tamaño		Muy gruesa	Gruesa	Media o normal	Media gruesa	Fina	Muy fina	Discontinua
Tamices		% Acumulado que pasa						
Mm	ASTM							
10	3/8"	100	100	100	100	100	100	100
5	N°4	60-75	75-90	95-100	70-90	90-100	95-100	30-60
2,5	N°8	35-65	55-80	80-100	40-80	85-100	90-100	30-40
1,25	N°16	27-50	35-60	50-85	40-70	70-80	85-100	30-40
0,630	N°30	15-40	22-40	25-60	40-60	60-80	80-100	17-40
0,315	N°50	8-25	12-25	10-30	25-37	37-60	50-62	9-24
0,180	N°100	3-10	3-10	2-10	6-13	12-20	15-20	4-10
MF máximo		3,45	2,95	2,15	2,50	2,46	1,13	3,85
MF mínimo		4,52	3,98	3,38	3,79	3,60	1,80	4,80

*Fuente: Monografía introducción al hormigón*

**Tabla 2.5 Requisitos granulométricos del agregado fino**

Tamiz	Porcentaje que pasa
3/8"	100
N°4	95-100
N°8	80-100
N°16	50-85
N°30	25-60
N°50	5-30
N°100	0-10

*Fuente: ASTM C33 – Especificaciones para agregados*

**b) Tamaño máximo**

Está definido como la abertura del menor tamiz de la serie que permite el paso del 100% del material.

**c) Tamaño máximo nominal**

Está definido como la abertura del tamiz inmediatamente superior a aquel cuyo porcentaje retenido acumulado sea del 15% o más.

**d) Módulo de finura**

Está definido como la suma de los porcentajes retenidos acumulados en los tamices de la serie “estándar” que cumplen la relación de diámetros 1:2, desde el tamiz 149 μm (N°.100) en adelante, hasta el máximo tamaño que se encuentre, dividido por 100. Es un factor empírico que permite estimar que tan fino o grueso es un material. Indica de manera práctica el predominio de partículas finas o gruesas dentro de la distribución granulométrica.

Agregado fino

$$MF = \frac{(\sum \% \text{ retenido en las mallas } 3", 1\frac{1}{2}", \frac{3}{4}", \frac{1}{2}", \frac{3}{8}", N^{\circ}4) + 500}{100}$$

Agregado grueso

$$MF = \frac{(\sum \% \text{ retenido en las mallas } 4, 8, 16, 30, 50, 100)}{100}$$

**e) Peso específico aparente, absoluto, seco y absorción**

P.E.Aparente, Si se considera que el volumen del sólido debe incluir los poros impermeables, la palabra aparente califica el peso específico resultante; entonces este resulta: Peso seco / volumen partículas sólidas (incluyendo los poros impermeables).

P.E.Absoluto, se refiere al volumen del material sólido que excluye todos los poros, es la relación de la masa del sólido respecto de la masa de un volumen igual de agua destilada libre de gases, tomadas ambas a una misma temperatura.

P.E.Seco, se refiere al peso de una muestra seca dividida entre el volumen de la misma contemplando sus poros (permeables e impermeables).

Absorción, es la capacidad de absorción de agua u otro líquido dentro de los agregados según el tamaño de los poros, su continuidad (permeabilidad) y su volumen total, es muy importante porque una partícula porosa es mucho menos dura que una partícula compacta o maciza, lo cual afecta no sólo las propiedades mecánicas como la adherencia y la resistencia a compresión y flexión sino

también propiedades de durabilidad como la resistencia al congelamiento y deshielo, estabilidad química y resistencia a la abrasión.

Agregado grueso

$$\text{Peso específico a granel} = \frac{A}{B - C}$$

$$\text{Peso específico saturado y superficie seca} = \frac{B}{B - C}$$

$$\text{Peso específico aparente} = \frac{A}{A - C}$$

$$\% \text{ de absorción} = \frac{B - A}{A} * 100$$

Donde:

A= Peso de la muestra secada en horno, en gr.

B= Peso de la muestra saturada pero con superficie seca, en gr.

C= Peso de la muestra saturada dentro del agua, en gr.

Agregado fino

$$\text{Peso específico a granel} = \frac{A}{V - W}$$

$$\text{Peso específico saturado y superficie seca} = \frac{500}{V - W}$$

$$\text{Peso específico aparente} = \frac{A}{(V - W) - (500 - A)}$$

$$\% \text{ de absorción} = \frac{500 - A}{A} * 100$$

Donde:

A= Peso en el aire de la muestra secada al horno, en gr.

V= Volumen del frasco, en ml.

W= Peso en gramos o volumen en ml del agua agregado al frasco.

**f) Peso unitario**

Es la relación existente entre el peso de un agregado, compuesto de varias partículas, y el volumen ocupado por el mismo, expresado en Kg/m<sup>3</sup>. Dependiendo del sistema que se emplee para acomodar el material, el peso unitario podrá ser: Peso Unitario Suelto (P.U.S.) y Peso Unitario Compactado (P.U.C.).

Peso Unitario Suelto (PUS): Se denomina PUS cuando para determinarla se coloca el material seco suavemente en el recipiente hasta el punto de derrame y a continuación se nivela a ras una carilla. El concepto PUS es importante cuando se trata de manejo, transporte y almacenamiento de los agregados debido a que estos se hacen en estado suelto

El P.U.S., se lo utiliza para la conversión de peso a volumen, es decir, para conocer el consumo de áridos por metro cúbico de hormigón.

Peso Unitario Compactado (PUC): Se denomina PUC cuando los granos han sido sometidos a compactación incrementando así el grado de acomodamiento de las partículas de agregado y por lo tanto el valor de la masa unitaria. El PUC es importante desde el punto de vista diseño de mezclas ya que con él se determina el volumen absoluto de los agregados por cuanto estos van a estar sometidos a una compactación durante el proceso de colocación de agregado.

El peso unitario oscila desde 1100 kg/m<sup>3</sup> a 1700 kg/m<sup>3</sup> para agregados naturales, según su grado de compactación.

PESO DEL AGREGADO (PA):

$$PA = PT - PM$$

PESO UNITARIO DEL AGREGADO (PU):

$$PU = PA / VM$$

Dónde:

PM = Peso de molde

VM = Volumen de molde

PT = Peso de (molde + agregado)

Nota. Para obtener mejores resultados se recomienda multiplicar por un factor de corrección de acuerdo a la temperatura del agua cuando se realiza la calibración del molde.

### **2.1.2.3 Agua**

Ayuda a que el cemento fragüe y endurezca de acuerdo a la reacción química que tenga; este elemento que hidrata las partículas del cemento y hace que estas desarrollen sus propiedades aglutinantes.

*(Diego Sánchez – Tecnología del hormigón pág 22-23).*

El agua es un elemento fundamental en la utilización del concreto en las construcciones. Tiene dos diferentes aplicaciones: como ingrediente en la mezcla con una proporción de 14 % a 21 % y también como medio de curado.

### **2.1.2.4 Aire**

Durante el proceso de mezclado, es normal que quede aire incluido dentro de la masa (aire atrapado), el cual es liberado por procesos de compactación a que es sometido el concreto una vez colocado.

*(Diego Sánchez – Tecnología del hormigón pág 22-23).*

### **2.1.2.5 Aditivos**

Son materiales distintos del agua, los agregados y el cemento, que se utilizan como ingredientes en mezclas de concretos y morteros; estos deben añadirse antes o después de su mezclado. Estos puede tener muchas funciones según las propiedades que contenga puede ayudar en cuanto al costo, velocidad de fraguado, resistencia, durabilidad, impermeabilidad, peso unitario, estabilidad de volumen, etc.

*(Diego Sánchez – Tecnología del hormigón pág 23-24).*

### **2.1.2.6 Resistencia a compresión**

Estas características determinan el uso que se le puede dar al concreto, la resistencia se ve directamente afectada por la relación de agua/cemento y el tiempo de fraguado es la máxima resistencia a la carga axial. Se expresa en kg/cm<sup>2</sup>.



El concreto de uso general tiene una resistencia a la compresión entre 210 y 350 kg/cm<sup>2</sup>. El concreto de alta resistencia tiene una resistencia a la compresión de por lo menos 420 kg/cm<sup>2</sup>. Resistencias de 1,400 kg/cm<sup>2</sup> se han llegado a utilizar en aplicaciones de construcciones especiales y se simboliza con f'c.

**Tabla 2.6 Procedimiento de la prueba de resistencia del concreto**

Elemento	Resistencia mínima
Sello (para cimientos)	105 kg/cm <sup>2</sup>
Rellenos de bloques	175 kg/cm <sup>2</sup>
Vigas, columnas, contrapiso	210 kg/cm <sup>2</sup>
Pisos, contrapisos armados	280 kg/cm <sup>2</sup>
Autopistas o losas de muelles	315 kg/cm <sup>2</sup>
Viguetas, postes	350 kg/cm <sup>2</sup>

*Fuente: ASTM C31 y C39*

### 2.1.3 Métodos de dosificación

- Métodos de dosificación basados en el contenido de cemento
- Füller: Su uso es para diseños de hormigones en los cuales el tamaño máximo del árido se encuentra comprendido entre 50 +/- 20 mm, los áridos son rodados, no existen secciones fuertemente armaduras y la cantidad de cemento por metro cúbico es superior a los 300 kg/m<sup>3</sup>.
- Bolomey: Puede ser considerado este método para perfeccionar el método de Füller. En cuanto a la determinación del agregado máximo del árido se sigue el mismo criterio del anterior método utilizando las tablas de pesos y asentamiento, según la consistencia.
- Faury: Este método se aplica a hormigones en masa o armados, siendo especialmente útil cuando se requiere dosificar mezclas en la construcción de piezas prefabricadas de hormigón.

El tamaño máximo del árido se determina mediante la fórmula de:

$$D = d_1 + (d_1 + d_2) * \frac{x}{y}$$

Donde:

$d_1$ = Mayor de los tamices en donde queda retenido algo de árido más grueso.

$d_2$ :=Tamiz inmediatamente inferior,  $d_2=d_1/2$ .

$x$ = Proporción de los granos superiores a  $d_1$ .

$y$ = Proporción de los granos comprendidos entre  $d_1$ .

Para este método se debe tomar en cuenta el radio medio, el cual sale de la relación del volumen y la superficie del molde.

- Métodos de dosificación basados en la resistencia a compresión
  - A.C.I para hormigón convencional: Se basa básicamente en la resistencia que se busca para el hormigón que se diseña. Se fija este método en la relación de agua y cemento, tal que garantice la durabilidad y la resistencia del hormigón.

**Tabla 2.7 Relaciones A/C de acuerdo con el tipo de ambiente, por razones de durabilidad**

Tipo de estructura	Estructura continuamente húmeda o frecuentemente expuesta a congelamiento y deshielo.	Estructura expuesta a agua de mar o sulfatos.
Secciones delgadas (Bardas, bordillos, cornizas y trabajos ornamentales) y secciones con menos de 5 cm de recubrimiento sobre el refuerzo.	0.45	0.40
Todas las estructuras.	0.50	0.45

*Fuente: Hormigón Armado – Jiménez Montoya*

Si se emplea un hormigón resistente a los sulfatos (TIPO II y TIPO IV ASTM), la relación de agua puede incrementarse en 0,05.

**Tabla 2.8 Correspondencia entre la relación A/C y la resistencia a la compresión del concreto**

Resistencia a la compresión a los 28 días en Kg/cm <sup>2</sup>	Relación A/C por peso.	
	Concreto sin aire incluido	Concreto con aire incluido
420	0.41	-
350	0.48	0.40
280	0.57	0.48
210	0.68	0.59
140	0.82	0.74

*Fuente: Hormigón Armado – Jiménez Montoya*

También dependerá de la consistencia medida en el Cono de Abrams.

**Tabla 2.9 Revenimientos recomendados para diversos tipos de construcción**

Tipos de construcción	Revenimiento [cm]	
	Máximo*	Mínimo
Muros de cimentación y zapatas. (Reforzados)	7.5	2.5
Zapatas, cajones de cimentación y muros de sub-estructura sencillos.	7.5	2.5
Vigas y muros reforzados.	10	2.5
Columnas para edificios.	10	2.5
Pavimentos y losas.	7.5	2.5
Concreto masivo.	7.5	2.5

\* Se puede incrementar cuando se emplean aditivos químicos. Se puede incrementar 2.5 cm cuando los métodos de compactación no sean mediante vibrado.

*Fuente: Hormigón Armado – Jiménez Montoya*

La cantidad de agua que se destine, será en relación a la consistencia que tenga el hormigón, del tamaño máximo y granulometría del agregado, y del aire incorporado independientemente del cemento que se empleará.

El tamaño del árido no debe ser mayor a 1/5 de la pieza a hormigonar, ni el 1/3 del espesor del elemento en el caso de la losa.

**Tabla 2.10 Requerimientos de agua de mezclado y contenido de aire para diferentes revenimientos y tamaños máximos nominales del agregado**

Revenimiento [cm]	Agua en Kg/m <sup>3</sup> para el concreto con agregado de TMN [mm]							
	9.5	12.5	19	25	38	50	75	150
<b>Concreto sin aire incluido</b>								
2.5 a 5	207	199	190	179	166	154	130	113
7.5 a 10	228	216	205	193	181	169	145	124
15 a 17.5	243	228	216	202	190	178	160	-
Cantidad aproximada de aire en concreto sin aire incluido [%]	3	2.5	2	1.5	1	0.5	0.3	0.2
<b>Concreto con aire incluido</b>								
2.5 a 5	181	175	168	160	150	142	122	107
7.5 a 10	202	193	184	175	165	157	133	119
15 a 17.5	216	205	197	184	174	166	154	-
Promedio recomendado de contenido de aire total, según el nivel de exposición. [%]								
Exposición ligera.	4.5	4	3.5	3	2.5	2	1.5	1
Exposición moderada.	6	5.5	5	4.5	4.5	4	3.5	3
Exposición severa.	7.5	7	6	6	5.5	5	4.5	4

*Fuente: Hormigón Armado – Jiménez Montoya*

En el caso de agregado fino su valor se determina con la diferencia del hormigón fresco a la suma de los pesos de los otros componentes, caso contrario si no se tiene el dato se usará la tabla que esta acentuación, los cuales son cálculos a base de una dosificación de cemento de 330 kg/m<sup>3</sup>, tomando en cuenta la densidad relativa de los áridos de 2,7 y el agua determinada para la consistencia de hormigón de 8 a 10 cm, medida en el cono de Abrams.

**Tabla 2.11 Volumen de agregado grueso por volumen unitario de concreto**

Tamaño máximo nominal del agregado [mm]	Volumen de agregado grueso varillado en seco, por volumen unitario de concreto para distintos módulos de finura de la arena.			
	2.40	2.60	2.80	3.00
9.5	0.50	0.48	0.46	0.44
12.5	0.59	0.57	0.55	0.53
19	0.66	0.64	0.62	0.60
25	0.71	0.69	0.67	0.65
37.5	0.75	0.73	0.71	0.69
50	0.78	0.76	0.74	0.72
75	0.82	0.80	0.78	0.76
150	0.87	0.85	0.83	0.81

*Fuente: Hormigón Armado – Jiménez Montoya*

- A.C.I para hormigones secos: En este método se puede dosificar hormigones con consistencia muy bajas (asentamiento en el Cono de Abrams menor a 25mm), especialmente útil en el diseño de estructuras prefabricadas y/o pretensadas.
- La Peña: este método está basado a la resistencia media a compresión de los hormigones estructurales, el cual está basado en tipos de condiciones de ejecución y coeficientes de vibrado.

*Informe de la Universidad de Loja – Jacsson Emanuel Medina Toledo Tecnología del Acero y Concreto (pág. 1-24).*

#### **2.1.4 Dosificación**

Para seleccionar la proporcionabilidad del concreto, se tuvo que ver las especificaciones según recomienda la norma.

ACI 211.1 P.E. peso normal, pesado.

ACI 211.2 P.E. estructural de peso ligero

ACI 211.3 G. sin revenimientos (asentamientos)

ACI 211.4 G. de alta resistencia

Por ello al tratarse un hormigón convencional, se emplea el primero.

Es necesario conocer algunos datos, los cuales son resultados de ensayos previos a la dosificación como ser:

- Gravedad específica del cemento (C188)
- Granulometría de agregados (C136)
- Gravedad específica y absorción del los agregados (C 127-128)
- Peso volumétrico de agregados (C 29)
- Contenido de humedad agregados (C 566)

Es necesario tener en cuenta tres aspectos básicos para elaborar concreto (ACI 318)

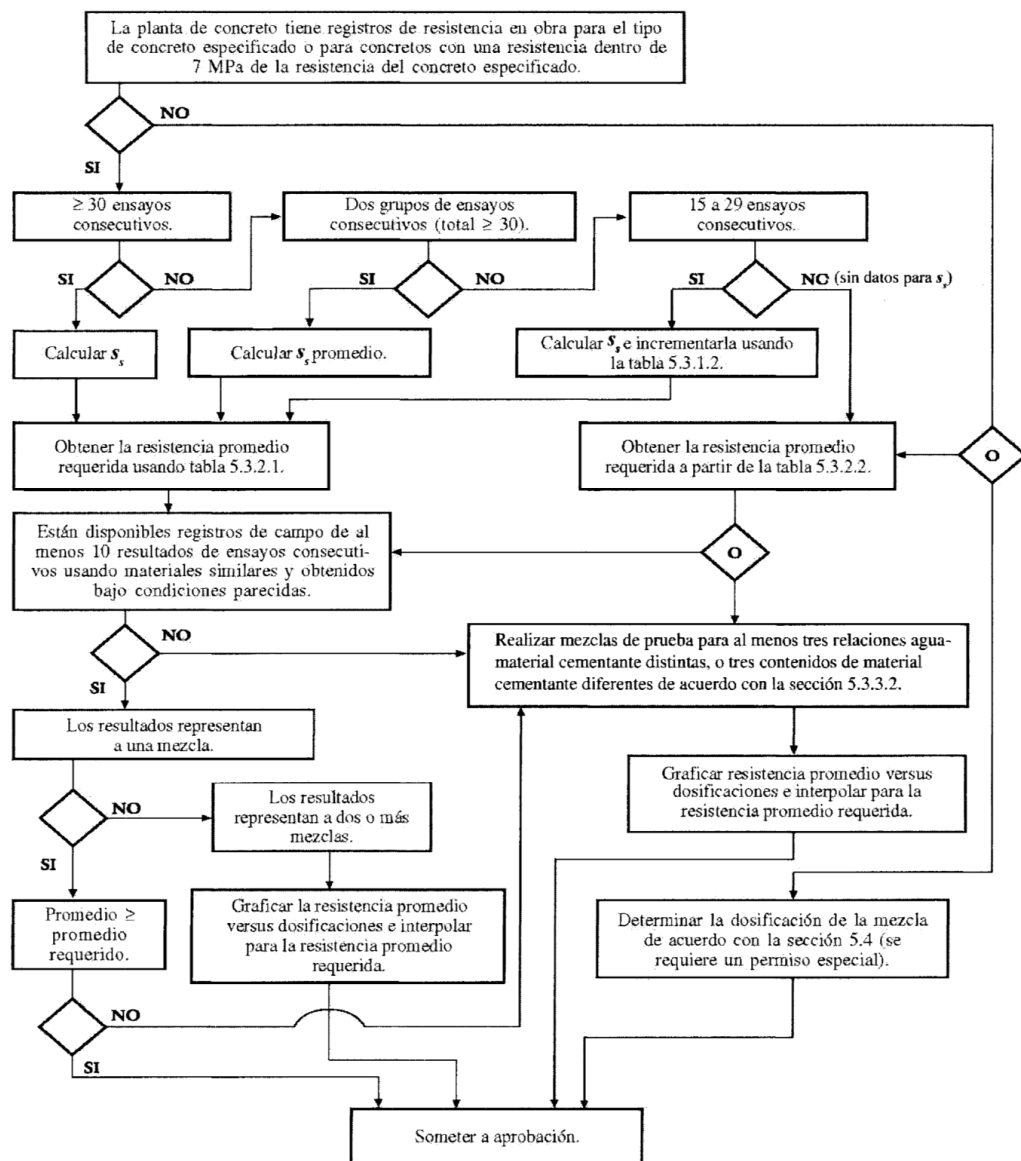
1. Debe dosificarse de manera que el concreto alcance una resistencia promedio a la compresión mayor a  $f'_c$ .

2. Debe minimizarse la frecuencia de resistencias inferiores a  $f'c$ .
3.  $f'c$ , no debe ser menor que 2500 psi (17,2 MPa) (175 kg/cm<sup>3</sup>).

Sin dejar a un lado la cantidad de ensayos requeridos a realizar según la norma, que sea estandarizado para poder tener mejores resultados.

Deberá tomarse algunos parámetros estadísticos lo cual se muestra en la figura siguiente, el cual ayuda en la selección y documentación de la dosificación del hormigón.

**Figura 2.1 Diagrama de flujo para la selección y documentación de la dosificación del concreto**



Fuente: ACI 318 capítulo 5

Se necesita realizar previamente algunos pasos de selección para mezcla como ser:

- Determinar la desviación estándar de la muestra S.
- Determinar la  $f'_{cr}$ .

$$f'_{cr} = f'_{cr} + t \cdot S$$

- Seleccionar las proporciones de cada componente que produzca la  $f'_{cr}$ .

La desviación estándar

- Si en el registro  $n \geq 30$ .

$$S = [\sum (x_i - X)^2 / (n-1)]^{1/2}$$

- Si usan dos registros para obtener  $n \geq$ :

$$S = [(n_1-1)(S_1)^2 + (n_2-1)(S_2)^2 / (n_1+n_2-2)]^{1/2}$$

Cuando las instalaciones de producción de concreto no llevan un registro basado en 15 a 29 pruebas consecutivas.

Se establecerá una desviación estándar afectado por un factor de modificación.

**Tabla 2.12 Factor de modificación para desviación estándar**

Número de pruebas	Factor de modificación
< 15	Usar tabla 5.3.2.2 ACI 318
15	1,16
20	1,08
25	1,03
> 30	1,00

*Fuente: ACI 318 tabla 5.3.1.2*

**Tabla 2.13 Resistencia promedio requerida, cuando existe información para establecer “S”**

Resistencia especificada a la compresión, $f'c$	Resistencia promedio requerida, $f'cr$ .
$f'c \leq 350 \text{ kg/cm}^2$	$f'cr = f'c + 1,34 \times S$ (5.1) $f'cr = f'c + 2,33 \times S - 35$ (5.2)
$f'c > 350 \text{ kg/cm}^2$	$f'cr = f'c + 1,34 \times S$ (5.1) $f'cr = 0,9 f'c + 2,33 \times S$ (5.3)

*Fuente: ACI 318 tabla 5.3.2.1*

Para la resistencia promedio requerida ( $f'cr$ ), en caso que la producción del concreto no lleven registros de prueba de resistencia en el campo, para el cálculo de la desviación estándar. La resistencia promedio requerida debe determinarse según la tabla.

**Tabla 2.14  $f'cr$  requerida cuando no hay datos disponibles de S**

Resistencia a compresión especificada $f'c$	Resistencia Promedio requerida $f'cr$
$< 210 \text{ kg/cm}^2$	$f'c + 70$
210 a 350	$f'c + 85$
$> 350$	$1,10 f'c + 50$

*Fuente: ACI 318 tabla 5.3.2.2*

#### **2.1.4.1 Procedimiento de diseño**

Para su diseño de cálculo debe seguirse los siguientes pasos:

1. Elección de revenimiento

Cuando no se especifica, se procede a la elección del revenimiento ver Tabla 2.8.

2. Tamaño máximo del agregado

Está basado en el Reglamento de Construcción ACI 318 donde según especificaciones el tamaño máximo del agregado no debe exceder:

- 1/5 del espacio más angosto entre las formas laterales.
- 1/3 del espesor de losas.



- $\frac{3}{4}$  del espacio libre entre las varillas o alambres individuales de refuerzo, paquetes y fustos de presfuerzo.

3. Cantidad de agua y contenido de aire

Para el cálculo del agua este debe ir ligado con el contenido de aire, para ello este dependerá del Tamaño Máximo de agregado, de la forma de la partícula (ya sea canto rodado o chancado), granulometría así como del empleo de aditivos. Ver tabla 2.9.

4. Relación A/C

Se determina no sólo por los requisitos de resistencia sino también por otros como durabilidad. Ver Tabla 2.6 y Tabla 2.7.

5. Cantidad de cemento

La cantidad será despejando de la fórmula  $A/C = x$  (valor obtenido de la tabla);

$$C = A/x, \text{ en kg/m}^3$$

6. Contenido de grava

Este dependerá del tipo de granulometría, su módulo de finura (MF) y su tamaño nominal de la grava. Ver Tabla 2.10.

7. Contenido de arena

Sólo es la diferencia de volúmenes absolutos.

8. Ajustes por humedad

Esto se realiza cuando la muestra no se encuentra seca, es decir tanto la grava así como la arena presentan humedad; para ello se realiza algunos artificios de corrección.

9. Ajuste a la mezcla de prueba

Según la ASTM C 138, la variación se produce por el cambio de densidad de los materiales, fallas del equipo de pesaje, por falta de corrección de humedad en los agregados, etc.

Es necesario aplicar un ajuste de rendimiento de una manera simple; que los ingredientes sumen  $1 \text{ m}^3$  de concreto correspondiente a 100 litros, es decir que no existan ni faltantes ni sobrantes.

## 2.2 Hormigón convencional

Según la ACI 211 hormigón cuya resistencia oscila entre H12.5 a H25.

### **2.2.1 Hormigón de agregados livianos**

Son parte de los hormigones livianos, su principal característica es la reducción de su peso, peso específico y resistencia, el cual dependerá de la proporción de sus agregados, la adición, cemento, compactación, cantidad de agua e inclusión de aire.

Por otro lado están los que tienden a perder su peso, por la adición del “x” material a incluir, haciendo de lado los agregados que cumplen especificaciones para confección de hormigón normal.

### **2.3 PET (Tereftalato de Polietileno)**

El polietileno tereftalato (PET) es un material sintético perteneciente al grupo de poliésteres cuya materia prima es el petróleo.

Originalmente fue desarrollado en formas de fibras sintéticas en 1941 por la British Calico Printers, ya que iban en búsqueda de cómo sustituir el algodón; pero sus características como baja densidad, transparencia, durabilidad o barrera al CO<sub>2</sub> entre otras, pasó a utilizarse como envase en la década de los 70. De allí el consumo fue incrementando hasta convertirse en algo importante en nuestras vidas.

En la actualidad los envases PET se encuentran principalmente en forma de botellas de agua y refresco. La demanda mundial de botellas es ascendente, del orden de 20000 cada segundo.

El plástico es un material compuesto por resinas, proteínas y otras sustancias, las cuales son fáciles de moldear, modificar su forma y color de manera permanente o temporal, esto con un bajo costo de fabricación, que lo convierte en uno de los materiales más utilizados y populares en los últimos tiempos.

#### **2.3.1 Propiedades y características del PET**

Los plásticos son originados por un proceso conocido como “polimerización, por medio de adición, condensación, o por etapas, es decir, creando grandes estructuras moleculares a partir de moléculas orgánicas. Las enormes moléculas de las que están compuestos pueden ser lineales, ramificadas o entrecruzadas, dependiendo del tipo de plástico.

**Figura 2.2 Símbolo del polímero PET**



*Fuente: Wikipedia*

Características de los plásticos:

- Fáciles de trabajar y moldear.
- Poseen baja densidad.
- Suelen ser impermeables.
- Buenos aislantes eléctricos.
- Aceptables aislantes acústicos.
- Excelentes aislantes térmicos, aunque la mayoría no resisten temperaturas muy elevadas.
- Resistentes a la corrosión y a muchos factores químicos.

Algunos no son degradables ni fáciles de reciclar, y si se queman, son muy contaminantes.

Otras características

- Biorientación: Permite lograr propiedades mecánicas y de barrera optimizando espesores.
- Cristalización: Permite lograr resistencia térmica para utilizar bandejas termoformadas en hornos a elevadas temperatura de cocción.
- Esterilización: El PET resiste esterilización química con oxido de estileno y radiación gamma.

- Buena resistencia a: Grasas y aceites presentes en alimentos, soluciones diluidas de ácidos minerales, álcalis, sales, jabones, hidrocarburos asfálticos y alcoholes.
- Punto de fusión: 252 – 250 °C.
- Poca resistencia a: Solventes, halogenados, cetonas de bajo peso molecular y bases.

Dentro de sus propiedades están:

- Cristalinidad y transparencia, aunque admite cargas de colorantes.
- Buen comportamiento frente a esfuerzos permanentes.
- Alta resistencia al desgaste
- Muy buen coeficiente de deslizamiento.
- Buena resistencia química.
- Buenas propiedades térmicas.
- Muy buena barrera de CO<sub>2</sub>, aceptable barrera de O<sub>2</sub> y humedad.
- Compatible con otros materiales barrera que mejoran en su conjunto la calidad de los envases y por lo tanto permiten su uso en mercados específicos.
- Totalmente reciclable.
- Aprobado para su uso en productos que deban estar en contacto con productos alimentarios.
- Alta rigidez y dureza.
- Altísima resistencia a los esfuerzos permanentes.
- Superficie barnizable.
- Gran indeformabilidad al calor.
- Muy buenas características eléctricas y dieléctricas.
- Alta resistencia a los agentes químicos y estabilidad a la intemperie.
- Propiedades ignífugas en los tipos aditivados.
- Alta resistencia al plegado y baja absorción de humedad que lo hacen muy adecuado para la fabricación de fibras. Ver Anexo I.

### 2.3.2 Clasificación

Los plásticos pueden clasificarse de la siguiente manera:

- Según el monómero base
  - Naturales: Son los polímeros cuyos monómeros son derivados de productos de origen natural con ciertas características como la celulosa la caseína y el caucho.

Los derivados de la celulosa son: el celuloide, el celofán y el cellón. Los derivados del caucho son: la goma y la ebonita.

- Sintéticos: Son aquellos que tienen origen en productos elaborados por el hombre principalmente derivados de petróleo como lo son las bolsas de polietileno.

- Según su estructura y comportamiento al calor

Se pueden clasificar según su arreglo molecular, lo cual se ve altamente afectado por el proceso de fusión y solidificación, que determinan sus propiedades físicas y mecánicas, las cuales se muestran.

**Figura 2.3 Propiedades de los plásticos**



Fuente: Méndez, 2012

**Tabla 2.15 Otros tipos de plástico**

Estructura	Formación	Características	Ejemplo
Amorfa	Las moléculas no presentan ningún tipo de orden: están dispuestas aleatoriamente.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Son normalmente transparentes.</li> <li>• La fusión se realiza en un intervalo de temperatura, no existe un punto de fusión preciso.</li> <li>• A medida que la temperatura aumenta, el material pasa de un estado sólido a uno pastoso, hasta convertirse finalmente en un fluido muy viscoso.</li> <li>• En el intervalo de fusión pueden ser manufacturados por inyección, extrusión, soplado, etc.</li> <li>• Sin carga tienen una contracción en el moldeo de 0.3 % a 0.9%, con carga este valor es menor.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• PVC</li> <li>• PS</li> <li>• SAN</li> <li>• ABS</li> <li>• PMMA</li> <li>• PC</li> </ul>
Cristalina	Al enfriarse, sus cadenas tienden a enlazarse muy ordenadamente por lo que se produce un empaquetamiento muy ordenado, que se denomina cristalización.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Son opacos.</li> <li>• Poseen un punto característico de fusión.</li> <li>• El intervalo útil de transformación está limitado a pocos grados centígrados: un poco abajo del punto de fusión, está todavía sólido y no se puede moldear; y no es prudente superar mucho la temperatura de fusión porque puede intervenir el fenómeno de degradación térmica.</li> <li>• Tienen contracción elevada en el moldeo. La contracción para un polímero no reforzado varía de 1 al 5%.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• PE</li> <li>• PP</li> <li>• POM</li> <li>• PA</li> <li>• PET</li> </ul>

*Fuente: Garavito 2007*

### 2.3.3 Desventajas y ventajas del PET

#### 2.3.3.1 Desventajas

- Secado: Todo poliéster tiene que ser secado a fin de evitar pérdida de propiedades. La humedad del polímero al ingresar al proceso debe ser de máximo 0,005%.
- Costo de equipamiento: Los equipos de inyección soplado con biorientación suponen una buena amortización en función de gran producción. En extrusión soplado se puede utilizar equipos convencionales de PVC, teniendo más versatilidad en la producción de diferentes tamaños y formas.

- Temperatura: Los poliésteres no mantiene buenas propiedades cuando de les somete a temperaturas exteriores a 70 grados. Se han logrado mejoras modificando los equipos para permitir llenado en caliente. Excepción: el PET cristalizado (opaco) tiene buena resistencia a temperaturas hasta 230 °C.
- Intemperie: No se aconseja el uso permanente en intemperie por lo contaminante.

### 2.3.3.2 Ventajas

- Propiedades únicas: Claridad, brillo, transparencia, barrera a gases u aromas, impacto, termoformabilidad, fácil de imprimir con tintas, permite cocción en microondas.
- Costo/Performance: El precio ha sufrido menos fluctuaciones que el de otros polímeros como PVC, PP-LDPE-GPPS en los últimos 5 años.
- Disponibilidad: Hoy se produce PET en Sur y Norteamérica, Europa, Asia y Sudáfrica.
- Reciclado: El PET puede ser reciclado dando lugar al material conocido como RPET, lamentablemente el RPET no puede emplearse para producir envases para la industria alimenticia, debido a que las temperaturas implicadas en el proceso no son lo suficientemente altas como para asegurar la esterilización del producto.

## 2.4 Propiedades físicas y químicas del Tereftalato de Polietileno (PET)

### 2.4.1 Propiedades físicas y químicas

Entre las propiedades principales del PET son las físicas, químicas, térmicas, necesarias para conocer en la elaboración de mezclas.

**Tabla 2.16 Propiedades del PET**

PROPIEDADES	Métodos de ensayo ISO/(IEC)	Unidades	Valores
Color		Natural	BL/Ne
Densidad	1183	g/cm <sup>3</sup>	1, 39
Absorción de agua:			
después de estar 24/96 h sumergido en agua a 23°C	62	mg	6-13
	62	%	0,07/0, 16
hasta la saturación en aire a 23°C / 50% HR		%	0, 25
hasta la saturación en aire a 23°C		%	0, 5

PROPIEDADES TERMICAS			
Temperatura de Fusión		°C	255
Conductividad termica a 23°C		W/(K-m)	0, 29
Coeficiente de dilatacion termica lineal:			
-por metodo A: 1,8MPa	75	°C	75
Temperatura maxima de servicio en aire:			
-en periodos cortos		°C	160
-en continuo: durante 5.000/20.000 h		°C	115/100
Temperatura minima de servicio			-20
Inflamabilidad			
PROPIEDADES MECANICAS A 23°C			
Ensayo de tracción			
-esfuerzo de tension para fluencia	527	MPa	90
-elongacion a la rotura			15
-modulo de elasticidad			3.700
Ensayo de compresión			
-esfuerzo al 1/2/5% de deformación	604	MPa	26 / 51/103
Ensayo de fluencia a tracción			
-esfuerzo necesario para producir un 1% de defo rmación las 1.000h	899	Mpa	26

*Fuente:ELAPAS*

#### 2.4.2 Usos más frecuentes

Según el grado de plástico PET que contiene, se puede distinguir su uso en lo siguiente:

- Textil: Comenzó para reemplazar las fibras naturales, como el algodón o el lino, siendo el primer uso en el mundo industrial.
- Botella: Principalmente envases, al tratarse de un material que puede estar en contacto con bebidas y alimentos, y que ayuda a conservar el aroma y sabor de los mismos.
- Film: Son las películas fotográficas, audio y rayos x.

Gracias al avance tecnológico el PET ha logrado incrementar su uso.



**Tabla 2.17 Identificación de envases PET**

Tipo de termoplástico	Clave	Tipo de uso
Tereftalato de polietileno (PET o PETE)	1	Se utiliza para botellas de refresco carbonatado y para recipientes de comida.
Polietileno de alta densidad (HDPE O PEAD)	2	Empleado en las botellas de leche, detergente, bolsas, entre otros.
Policloruro de vinilo (PVC)	3	Frecuente en los envases de película fina y envolturas.
Polietileno de baja densidad (LDPE)	4	Este plástico fuerte, flexible y transparente se puede encontrar en algunas botellas y bolsas muy diversas (de la compra o para comida congelada, pan, etc.)
Polipropileno (PP)	5	Usado para las cajas de botellas, maletas, tapas y etiquetas.
Poliestireno (PS)	6	Empleado en la producción de vasos y platos de estereofón y artículos moldeados por inyección.
Otros	7	Todas las demás resinas y materiales multilaminados. Son utilizados en productos que no tienen grandes especificaciones (defensas de autos, postes, etc.)

*Fuente: Méndez 2012*

### **2.4.3 El PET en la construcción**

A lo largo del tiempo el incremento de este material fue en ascenso. En cuanto a la construcción este polímero empezó a utilizarse en lo sgte:

- Para la construcción de maquinarias.
- Elaboración de ladrillos prefabricados.
- Como muros (botellas rellenas de arena).
- Como hormigón ciclópeo para cimientos y sobre cimientos.
- Como fibras en elementos estructurales sometidos a flexión

### **2.4.4 Reciclado de botellas PET**

La contaminación del medio ambiente es un hecho que nos consta a todos, más aun que la gran parte es provocada por plásticos, que aunque los mismos se han vuelto de uso indispensables en los últimos años, el consumismo de eso material es a nivel mundial.

Sabiendo que los plásticos tienen una biodegradación muy lenta de 100 años a más.

Es de allí que parte la idea de reciclar, dándole el mismo u otro uso.

Existen materiales como botellas, bolsas, tubos, envases, etc; estos pueden llegar a ser reutilizados a través de un proceso de reciclado.

En este caso el enfoque es únicamente al reciclaje de botellas PET.

La industria del reciclaje es de las alternativas para tratamiento de la basura capaz de ganancias “limpias”. Una de las empresas que se dedica a eso es EMPACAR, es una de las empresas más conocidas en Bolivia a nivel de industria, certificado por Coca Cola Compay a nivel internacional.

EMPACAR reúne alrededor de 800 toneladas al mes de botellas PET, de las cuales entre 300 y 350 provienen de los residuos sólidos de La Paz. Las 500 toneladas restantes son recogidas en el resto del país, siendo los mayores proveedores La Paz, Santa Cruz y Cochabamba. Y no acaba allí esto no solo favorece al medio ambiente, sino también que brinda trabajo a muchas familias se dedican a ese rubro las cuales recolectan las botellas y venderlas a los distintos acopios los cuales lo revenden a la empresa EMPACAR.

Se sabe que el incremento de recolección siempre se da en la temporada de calor o fiestas en el país.

Ya recibida la materia prima, se selecciona las botellas de acuerdo a su color para que el proceso sea más rápido. Una vez que es separada en azul, verde y cristal, arman paquetes que se comprimen para ser enviadas a Santa Cruz donde tendrá que pasar por un proceso de separación de basura, lavado a frio y caliente, desinsectación, triturado, molienda y finalmente se realizan las pre-formas en el caso que se desee volver a fabricar botellas debe mezclarse esa materia reciclada con materia prima (30% reciclado y 70% prima), caso contrario se forman resinas, flake cristal (hojuelas de PET) para su venta, los cuales son destinados para otros usos.

**Figura 2.4 Contaminación de plásticos**



*Fuente: Residuos plásticos (PUCP)*

**Figura 2.5 Material PET reciclado**



*Fuente: Programa Tapita para los niños con cáncer EMPACAR*

#### **2.4.5 Hormigón convencional con adición de material PET**

La creación de este tipo de hormigón el cual incluirá material plástico, ha surgido ante la problemática de la excesividad contaminación ocasionada por las botellas plásticas.

Ante esto se realizó investigaciones de cómo implementar este material en la construcción civil.

Es así que en algunos países lanzaron esta nueva alternativa, la cual consiste en sustituir en cierto % el cemento y los agregados por PET ya que este material tiene propiedades buenas a comparación de otros tipos de plásticos al igual que el PVC.

Según artículos e investigaciones esto se implementó en países como:

- España: Se empleó como agregado en el hormigón, donde resulto contraproducente, ya que el incremento que dieron fue a un 50% sustituyendo el agregado grueso, donde se llegó resistencias menores a los  $180 \text{ kg/m}^3$ .
- Otros países entre ellos Australia, usaron como fibra el PET el cual en pequeños porcentajes ayudaba en su resistencia a flexo-tracción de los elementos.
- Costa Rica: Se empleó este material en sustitución en mayor % del agregado grueso y del cemento, también dando otras alternativas en mezclar con EPS (poliestireno expandido) comúnmente conocido como Plastoformo, allí se demostró que para resistencias altas como  $400 \text{ kg/m}^3$  no cumplen y dan como solución usar plastificantes.
- En Bolivia también se implementó una alternativa para hormigón ciclópeo, usar en la elaboración de ladrillos y como material molido en pavimentos.

## 2.5 Recolección de los materiales

### 2.5.1 Extracción de los áridos grueso y fino

Los áridos se obtuvieron de la chancadora Garzón de la comunidad de San Mateo a afueras de la Ciudad de Tarija, tanto la grava como la arena.

**Figura 2.6 Seleccionadora San Mateo**



*Fuente: Elaboración propia*

### 2.5.2 Recolección del material PET

El agregado PET (para evitar el tiempo de reciclar) se compró el material ya reciclado de la Empresa EMPECAR (recicladora de botellas de plástico Pet).

**Figura 2.7 Material PET**



*Fuente: Elaboración propia*

### 2.5.3 Cemento

El cemento que se utilizó fue el FANCESA ya que según sus características cumple con las especificaciones técnicas que establece la Norma Boliviana NB 011, en el cual lo clasifica como cemento portland con puzolana de tipo IP30, con categoría resistente mínima de 30 MPa a 28 días en mortero normalizado. La norma americana ASTM C595 lo clasifica como Type IP- Portland-Pozzolana Cement.

**Figura 2.8 Material PET reciclado**



*Fuente: Elaboración propia*

Entre sus características están:

- Elevadas resistencias mecánicas
- Bajo calor de hidratación.
- Alta impermeabilidad en hormigones y morteros.
- Alta resistencia a ataques químicos y sulfatos.
- Mínima figuración y retracción térmica.
- Excelente trabajabilidad y acabado de obra.
- Mayor durabilidad.
- Mínima reacción expansiva álcali/agregado
- Ecológico para el medio ambiente.

## **2.6 Ensayos de los a materiales para el hormigón**

Caracterización de los agregados.- Los agregados deben cumplir ciertas especificaciones para ver su calidad como material en la mezcla. Para ello requiere realizar ciertos ensayos los cuales son:

### **2.6.1 Granulometría y Módulo de Finura del agregado grueso**

En cuanto a la graduación de la grava se realiza el análisis granulométrico basándose en lo que indica la norma ACI con respecto al material necesario para la elaboración de elementos sometido a compresión como ser las columnas.

Para ello lo que se hizo fue utilizar una balanza, juegos de tamices ( $1\frac{1}{2}$ ,  $\frac{3}{4}$ ,  $\frac{1}{2}$ ,  $\frac{3}{8}$ , N° 4 y base) y vibrador mecánico; se procede a realizar el ensayo.

Conociendo que el tamaño máximo del material es  $\frac{3}{4}$ , por lo cual requiere de una muestra de 5000 gr. Para ello se realiza el cuarteo del material y se lo pesa en la balanza, al igual que cada tamiz vacío.

**Figura 2.9 Cuarteo de la grava seleccionada**



*Fuente: Elaboración propia*

Ya pesado se procede a llevar el juego de tamices ordenados (según el tamaño de la malla cuadrículada) al vibrador mecánico por 10 min aproximadamente.

**Figura 2.10 Juegos de tamice y tamizado en el vibrador mecánico**



*Fuente: Elaboración propia*

Ya concluido el tiempo se desmonta cada tamiz y se lo lleva a pesar el material retenido en cada tamiz al igual que la base y de acuerdo a esos datos se realiza su curva granulométrica si es apta para dicha investigación.

**Figura 2.11 Pesada de material retenido en los tamices**



*Fuente: Elaboración propia*

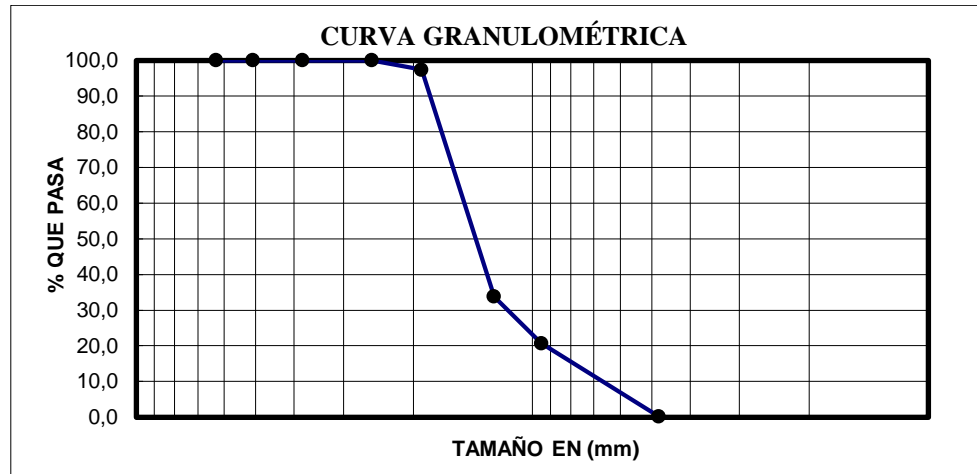
**Tabla 2.18 Cálculo granulométrico de la grava a utilizar de la Chancadora de San Mateo**

Peso Total		(gr.) =		5000,2			
Tamices	Tamaño (mm)	Peso Ret.	Retenido Acumulado		% Que pasa del total	% Que pasa s/g Especific. ASTM	
			(gr)	(%)			
2 1/2"	63	0,00	0,00	0,00	<b>100,0</b>	100	100
2	50,8	0,00	0,00	0,00	<b>100,0</b>	100	100
1 1/2"	38,10	0,00	0,00	0,00	<b>100,0</b>	100	100
1	25,40	0,00	0,00	0,00	<b>100,0</b>	100	100
¾	19,05	129,43	129,43	2,59	<b>97,4</b>	90	100
½	12,50	3181,98	3311,41	66,23	<b>33,8</b>	-	-
3/8	9,50	654,50	3965,91	79,32	<b>20,7</b>	20	55
N°4	4,80	1023,10	4989,01	99,78	<b>0,2</b>	0	10
BASE	0	9,28	4998,29	99,96	<b>0,0</b>		
SUMA =		4998,29					
PÉRDIDAS =		1,91	TAMAÑO MÁX =		3/4 "		
MF =		<b>6,82</b>					

*Fuente: Elaboración propia*



**Gráfico 2.1 Curva granulométrica del agregado grueso (grava)**



*Fuente: Elaboración propia*

### 2.6.2 Granulometría y Módulo de Finura del agregado fino

Al igual que el agregado grueso, requiere de ciertas especificaciones para que cumplan según la norma. Para ello se tomó como muestra 500 gr de arena.

**Figura 2.12 Muestra a tamizar de arena**



*Fuente: Elaboración propia*

Posteriormente se pesan los tamices y lleva al vibrador mecánico por 10 min.

**Figura 2.13 Tamizado de la arena en el vibrador mecánico**



*Fuente: Elaboración propia*

Finalmente se pesa el material retenido de cada tamiz y de la base.

**Figura 2.14 Pesada de arena retenida en cada uno de los tamices material**



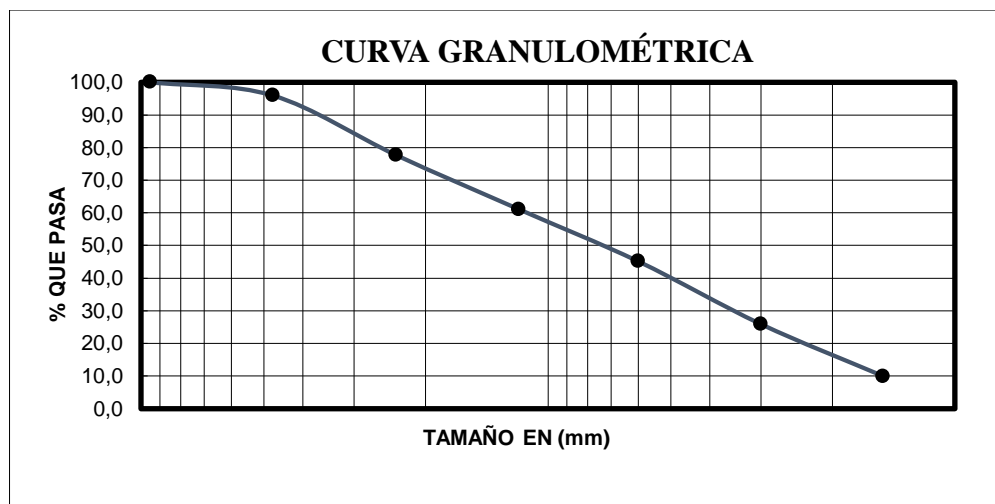
*Fuente: Elaboración propia*

**Tabla 2.19 Cálculo granulométrico de la arena a utilizar de la Chancadora de San Mateo**

Peso Total (gr.)			500				
Tamices	tamaño (mm)	Peso Ret.	Ret. Acum	% Ret	% que pasa del total	Especificacion ASTM C-33/03	
3/8	9,50	0,00	0,00	0,00	<b>100,0</b>	100	100
N°4	4,75	20,30	20,30	4,06	<b>95,9</b>	95	100
N°8	2,36	91,50	111,80	22,36	<b>77,6</b>	75	95
N°16	1,18	82,80	194,60	38,92	<b>61,1</b>	45	80
N°30	0,60	79,90	274,50	54,90	<b>45,1</b>	25	55
N°50	0,30	96,00	370,50	74,10	<b>25,9</b>	10	30
N°100	0,15	79,80	450,30	90,06	<b>9,9</b>	2	10
BASE		48,40	498,70	99,74	<b>0,3</b>		
SUMA		498,7					
PÉRDIDAS		1,3					
MF =		<b>2,84</b>					

*Fuente: Elaboración propia*

**Gráfico 2.2 Curva granulométrica del agregado fino (arena)**



*Fuente: Elaboración propia*

### 2.6.3 Granulometría y Módulo de Finura del agregado PET

Se toma una muestra de agregado de 250 gr, se ordenó los tamices ( $\frac{3}{4}$ ,  $\frac{3}{8}$ , N°4 y base).

Posteriormente se pesó el PET retenido en cada uno de los tamices.

**Figura 2.15 Pesada de material PET**



*Fuente: Elaboración propia*

**Figura 2.16 Tamizado de material PET**



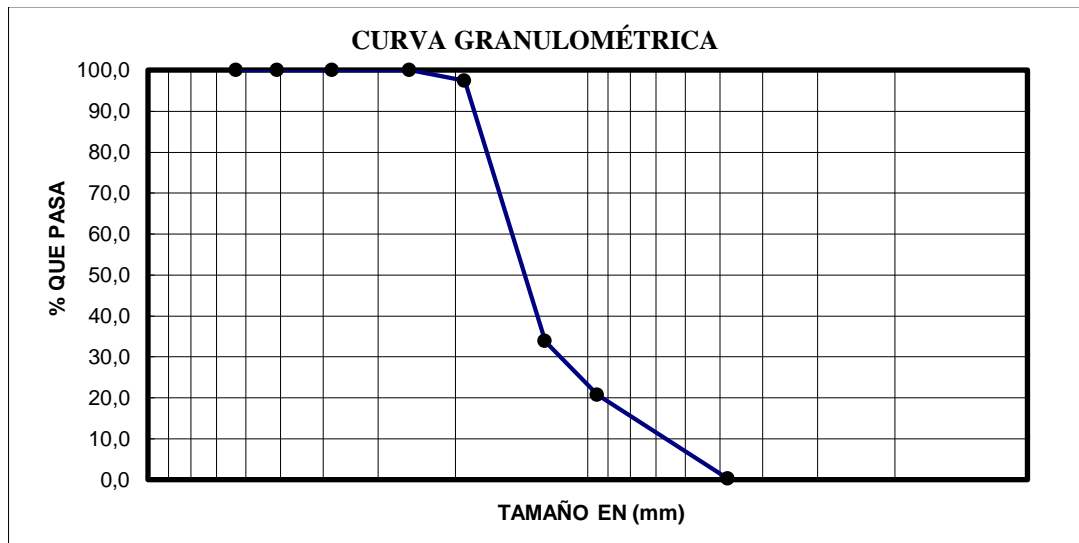
*Fuente: Elaboración propia*

**Tabla 2.20 Cálculo granulométrico de agregado PET de la Empresa EMPACAR**

Peso Total		(gr.) =		250			
Tamices	Tamaño (mm)	Peso Ret.	Retenido Acumulado		% Que pasa del total	% Que pasa s/g Especific. ASTM	
			(gr)	(%)			
2 1/2"	63	0,00	0,00	0,00	<b>100,0</b>	100	100
2	50,8	0,00	0,00	0,00	<b>100,0</b>	100	100
1 1/2"	38,10	0,00	0,00	0,00	<b>100,0</b>	100	100
1	25,40	0,00	0,00	0,00	<b>100,0</b>	100	100
¾	19,05	0,20	0,20	0,08	<b>99,9</b>	100	100
½	12,50	0,50	0,70	0,28	<b>99,7</b>	90	100
3/8	9,50	126,00	126,70	50,68	<b>49,3</b>	40	70
Nº4	4,80	122,00	248,70	99,48	<b>0,5</b>	0	15
BASE	0	1,20	249,90	99,96	<b>0,0</b>		
SUMA =		249,90			TAMAÑO MAX = 3/4 "		
PÉRDIDAS =		0,10					
MF =		6,50					

*Fuente: Elaboración propia*

**Gráfico 2.3 Curva granulométrica del agregado grueso (PET)**



*Fuente: Elaboración propia*

#### **2.6.4 Peso específico y absorción del agregado grueso**

Se pesa 5 kilos de grava en una bandeja, luego se agrega agua de tal manera que cubra toda la muestra y deja por 24 hrs.

**Figura 2.17 Grava saturada con agua por 24 hrs**



*Fuente: Elaboración propia*

Ya transcurrido las 24 hrs se procede a secar superficialmente y se lleva a pesar 5kg de grava saturada.

**Figura 2.18 Secado superficial de la grava**



*Fuente: Elaboración propia*

Se toma la muestra y se lo vacía en el cesto cilíndrico de tela metálica (con malla de N° 4), para sumergirlo en el agua nuevamente y ser pesado por la balanza.

**Figura 2.19 Pesada en el aparato de grava sumergida en agua**



*Fuente: Elaboración propia*

**Tabla 2.21 Peso específico de la grava**

MUESTRA N°	PESO MUESTRA SECADA "A" (gr)	PESO MUESTRA SATURADA CON SUP. SECA "B" (gr)	PESO MUESTRA SAT. DENTRO DEL AGUA "C" (gr)	PESO ESPECÍFICO A GRANEL (gr/cm <sup>3</sup> )	PESO ESPECÍFICO S.S.S. (gr/cm <sup>3</sup> )	PESO ESPECÍFICO APARENTE (gr/cm <sup>3</sup> )	% DE ABS.
1	4916,00	5000,00	3097,00	2,58	2,63	2,70	1,71
2	4915,50	5000,00	3095,00	2,58	2,62	2,70	1,72
3	4914,70	5000,00	3084,00	2,57	2,61	2,68	1,74
<b>PROMEDIO</b>				<b>2,58</b>	<b>2,63</b>	<b>2,70</b>	<b>1,71</b>

*Fuente: Elaboración propia*

**Tabla 2.22 Contenido de humedad o absorción (%) de la grava**

<b>HUMEDAD</b>	
<b>DATO</b>	<b>Gr</b>
Peso Muestra Húmeda	5000,00
Peso Muestra seca	4916,00
Peso Agua	84,00
% de Humedad	<b>1,71</b>

*Fuente: Elaboración propia*

### **2.6.5 Peso específico y absorción del agregado fino**

Primero se pesa en balanza 1500 gr de arena, luego se agregaba agua de tal forma que cubra toda su superficie. El agua que se agregue no necesita ser pesado, ya que la única finalidad de ello es saturar lo máximo posible el agregado.

Se deja reposar por 24 hrs.

**Figura 2.20 Pesada de arena a saturar por 24 hrs**



*Fuente: Elaboración propia*

Se seca la muestra del recipiente de forma uniforme la arena, hasta que este superficialmente seca.



**Figura 2.21 Secado superficial de la arena**



*Fuente: Elaboración propia*

Luego se coloca en el cono al  $\frac{1}{3}$  de la altura, lo cual da como tres capas y en cada una de ellas se apisona 25 veces.

Después se retira el cono tal que la muestra compactada se desmorone al menos el 40 % lo cual indica que esta seca superficialmente.

En caso de que no cumpla se debe rocia con agua nuevamente y volver a secar superficialmente.

**Figura 2.22 Prueba de cono para verificar si esta correctamente secado**



*Fuente: Elaboración propia*

Luego se pesa 500 gr de muestra más el matraz. Ya pesado se añade agua hasta los 500 ml que se marca en el matraz y nuevamente se lleva a pesar la arena saturada.

Al agregar el agua al matraz es necesario evitar las burbujas de aire ya que afectaría en el cálculo.

Finalmente se vacía en un plato y se lleva al horno por 24 hrs para ser secado.

**Figura 2.23 Pesada de la arena más matraz saturada de agua**



*Fuente: Elaboración propia*

**Tabla 2.23 Peso específico de la arena**

MUESTRA N°	PESO MUESTRA (gr)	PESO MATRÁZ (gr)	MUESTRA + MATRÁZ + AGUA (gr)	PESO AGUA AGREGADO AL MATRÁZ "W" (ml) ó (gr)	PESO MUESTRA SECADA "A" (gr)	VOL. DEL MATRÁZ "V" (ml)	P. E. GRANEL (gr/cm <sup>3</sup> )	P. E. S.S.S. (gr/cm <sup>3</sup> )	P. E. APARENTE (gr/cm <sup>3</sup> )	% DE ABS
1	500	221	1015,3	294,30	490,0	500,00	2,38	2,43	2,50	2,00
2	500	221	1015,5	294,50	490,2	500,00	2,39	2,43	2,50	1,96
3	500	221	1014,7	293,70	489,2	500,00	2,37	2,42	2,50	2,16
<b>PROMEDIO</b>							<b>2,38</b>	<b>2,43</b>	<b>2,50</b>	<b>2,04</b>

*Fuente: Elaboración propia*

**Tabla 2.24 Contenido de humedad o absorción de la arena**

<b>HUMEDAD</b>	
<b>DATO</b>	<b>gr</b>
Peso Muestra Húmeda	500,00
Peso Muestra seca	490,00
Peso Agua	10,00
% de Humedad	<b>2,04</b>

*Fuente: Elaboración propia*

Con relación a la grava la arena presenta mayor absorción de agua. Lo cual indica que tiene presencia de finos

### **2.6.6 Peso unitario de agregado grueso**

Se mide las dimensiones del molde.

Debe llenarse de agua para calibrar el molde y se mide la temperatura del agua, este último con la finalidad de realizar correcciones que son necesarias por el ambiente que se encuentra.

**Figura 2.24 Medición y calibración del molde de agregado grueso**



*Fuente: Elaboración propia*

Para obtener el peso unitario suelto, se vierte la grava en el molde hasta que rebalse, se enrasa y finalmente se pesa más molde.

**Figura 2.25 Vertido y enrasado de la grava en el molde**



*Fuente: Elaboración propia*

**Tabla 2.25 Peso unitario suelto de la grava**

MUESTRA N°	PESO RECIPIENTE (gr)	VOLUMEN RECIPIENTE (cm <sup>3</sup> )	PESO RECIP. + MUESTRA SUELTA (gr)	PESO MUESTRA SUELTA (gr)	PESO UNITARIO SUELTO (gr/cm <sup>3</sup> )
1	5725,00	9895,00	19435,00	13710,00	1,386
2	5725,00	9895,00	19440,00	13715,00	1,386
3	5725,00	9895,00	19430,00	13705,00	1,385
<b>PROMEDIO</b>					<b>1,386</b>

*Fuente: Elaboración propia*

Para el peso unitario compactado se vierte la muestra hasta la tercera parte de la capacidad del molde y se varilla 25 veces cada capa lo cual ayuda a que se distribuya lo compactación del agregado, se enrasa con la misma varillas y se lleva pesar más molde en la balanza.

**Figura 2.26 Compactado y enrasado de la arena**



*Fuente: Elaboración propia*

**Tabla 2.26 Peso unitario compactado de la grava**

MUESTRA N°	PESO RECIPIENTE (gr)	VOLUMEN RECIPIENTE (cm <sup>3</sup> )	PESO RECIP. + MUESTRA SUELTA (gr)	PESO MUESTRA SUELTA (gr)	PESO UNITARIO SUELTO (gr/cm <sup>3</sup> )
1	5725,00	9895,00	20405,00	14680,00	1,484
2	5725,00	9895,00	20415,00	14690,00	1,485
3	5725,00	9895,00	20400,00	14675,00	1,483
<b>PROMEDIO</b>					<b>1,484</b>

*Fuente: Elaboración propia*

### 2.6.7 Peso unitario de agregado fino

Al igual que la grava, para obtener el peso unitario suelo de la arena; se mide, pesa y calibra, luego debe verterse al molde la arena al molde, se enrasa y pesa.

**Figura 2.27 Medición y calibración del molde para la arena**



*Fuente: Elaboración propia*

**Figura 2.28 Vertido suelto de la arena en el molde**



*Fuente: Elaboración propia*

**Tabla 2.27 Peso unitario suelto de la arena**

MUESTRA N°	PESO RECIPIENTE (gr)	VOLUMEN RECIPIENTE (cm3)	PESO RECIP. + MUESTRA SUELTA (gr)	PESO MUESTRA SUELTA (gr)	PESO UNITARIO SUELTO (gr/cm3)
1	2605,00	3015,00	7820,00	5215,00	1,730
2	2605,00	3015,00	7805,00	5200,00	1,725
3	2605,00	3015,00	7810,00	5205,00	1,726
<b>PROMEDIO</b>					<b>1,727</b>

*Fuente: Elaboración propia*

Para el peso unitario compactado se varilla cada capa 25 veces, se enrasa y pesa.

**Figura 2.29 Compactado y enrasado de la arena**



*Fuente: Elaboración propia*

**Figura 2.30 Arena compactada**



*Fuente: Elaboración propia*

**Tabla 2.28 Peso unitario compactado de la arena**

MUESTRA N°	PESO RECIPIENTE (gr)	VOLUMEN RECIPIENTE (cm <sup>3</sup> )	PES O RECIP. + MUESTRA COMPACTADO (gr)	PESO MUESTRA SUELTA (gr)	PESO UNITARIO SUELTO (gr/cm <sup>3</sup> )
1	2605,00	3015,00	8080,00	5475,00	1,816
2	2605,00	3015,00	8065,00	5460,00	1,811
3	2605,00	3015,00	8075,00	5470,00	1,814
<b>PROMEDIO</b>					<b>1,814</b>

*Fuente: Elaboración propia*

### 3.1 Diseño y dosificación del hormigón Patrón

El diseño para la dosificación está basado en la Norma Americana ACI 211.1 (Dosificación de hormigones), ya que en este caso al tratarse de un hormigón normal.

El diseño para él que se tiene en proyección es de H-21 (210 kg/m<sup>3</sup>), debido a que la finalidad es realizar un hormigón común a nuestro ambiente, además que se quiere tener resistencias normales.

La dosificación se mantuvo para todas las proyecciones siendo así para los 3, 7, 14, 21 y 28 días.

Para este fin se requiere de parámetros necesarios los cuales son resultados de la caracterización anteriormente realizada.

**Tabla 3.1 Características de los agregados**

ENSAYO	Unidad	Valor
1.- Módulo de finura de la arena (MF)	s/u	2,84
2.- Peso unitario Compactado de la grava ( PUC )	kg/m <sup>3</sup>	1484
3.- Peso específico de la arena ( $\gamma_f$ )	gr/cm <sup>3</sup>	2,38
4.- Peso específico de la grava ( $\gamma_g$ )	gr/cm <sup>3</sup>	2,58
5.- Absorción de la arena ( Aa )	%	2,04
6.- Absorción de la Grava ( Ag )	%	1,71
7.- Humedad de la Arena ( Ha )	%	2,04
8.- Humedad de la Grava ( Hg )	%	1,71
9.- Tamaño máximo Nominal ( TMN )	Pulg	¾
10.- Tamaño Máximo ( TM )	Pulg	¾
11.- Peso específico del cemento	gr/cm <sup>3</sup>	3,15

#### CARACTERÍSTICAS DEL DISEÑO

Resistencia de diseño ( fck )	<b>210</b>	kg/cm <sup>2</sup>
Resistencia ( fck ) (Tabla 2.8)	295	kg/cm <sup>2</sup>
Asentamiento ( S ) (Tabla 2.9)	5	cm
Relación Agua / Cemento ( a/c ) (Tabla 2.8)	0,46	s/u
Vol. Agr. Grueso / Vol. unitario concreto ( b/bo ) (Tabla 2.11)	0,62	s/u
Requerimiento de Agua ( A ) (Tabla 2.10)	168	kg/m <sup>3</sup>

*Fuente: Elaboración propia*



### CÁLCULOS

Peso Agregado Grueso ( Pag )	= (b/bo)xPUC <b>919,92</b> kg/m <sup>3</sup>
Peso cemento ( Pc )	= A / (a/c) <b>365,22</b> kg/m <sup>3</sup>
Volumen de Agregado Grueso ( Vag )	= Pag/γg <b>356,31</b> lt/m <sup>3</sup>
Volumen del cemento ( Vc )	= Pc/γc <b>115,94</b> lt/m <sup>3</sup>
Volumen de Arena ( Vaf )	= 1000 - Vc - A -Vag <b>359,75</b> lt/m <sup>3</sup>
Peso del agregado fino ( Paf )	= Vaf x γf <b>856,06</b> kg/m <sup>3</sup>

**Tabla 3.2 Pesos secos de los ingredientes por m<sup>3</sup> de hormigón**

<b>Ingredientes</b>	<b>Peso Seco</b>	<b>Volumen Absoluto</b>	<b>Peso específico</b>
	<b>kg/m<sup>3</sup></b>	<b>lt/m<sup>3</sup></b>	<b>gr/cm<sup>3</sup></b>
<i>Cemento</i>	365,22	115,94	3,15
<i>Agua</i>	168	168	1
<i>Grava</i>	919,06	356,31	2,58
<i>Arena</i>	856,06	359,75	2,38
<b>TOTAL</b>	<b>2309,20</b>	<b>1000,00</b>	

*Fuente: Elaboración propia*

Cuando la presencia de agua, en este caso humedad está en el agregado, es necesario realizar lagunas correcciones, para no afectar su consistencia, trabajabilidad y resistencia del hormigón.

### PESOS HÚMEDOS DE LOS MATERIALES

Peso Húmedo de la arena ( Pha )	= Paf x ( 1 + Ha) <b>873,53</b> kg/m <sup>3</sup>
Peso Húmedo de la Grava ( Phg )	= Pag x ( 1 + Hg) <b>935,64</b> kg/m <sup>3</sup>

### CORRECCIÓN DEL AGUA

Agua corregida a la grava ( Acg )	= Pag x ( Ag - Hg ) 0,05 lt/m <sup>3</sup>
Agua corregida a la Arena ( Acf )	= Paf x ( Aa - Ha ) -0,01 lt/m <sup>3</sup>
Total Agua Corregida ( Atc )	= Acg + Acf 0,04 lt/m <sup>3</sup>

**Tabla 3.3 Pesos húmedos de los ingredientes por m<sup>3</sup> de hormigón**

Ingredientes	Peso Seco kg/m <sup>3</sup>	Peso Húmedo kg/m <sup>3</sup>
<i>Cemento</i>	365,22	365,22
<i>Agua</i>	168,00	168,04
<i>Grava</i>	919,92	935,64
<i>Arena</i>	856,06	873,53
<i>TOTAL</i>	2309,20	2342,43

*Fuente: Elaboración propia*

Para proporcionar la mezcla es necesario relacionarlo respecto a la cantidad de cemento que se necesita por m<sup>3</sup>.

- En este caso se trabajó con pesos secos para la dosificación del hormigón patrón, así como el hormigón convencional con adición de PET a 10 y 15 %.
- También la misma se empleó en los hormigones de verificación al 20 y 30 % de PET.

**Tabla 3.4 Proporciones necesarias para la elaboración de probetas**

PROPORCIONES DE MEZCLA		
<i>Cemento</i>	<i>Arena</i>	<i>Grava</i>
<b>1,0</b>	<b>2,34</b>	<b>2,52</b>

*Fuente: Elaboración propia*

Las proporciones de la mezcla de la grava y arena se deben a que sus pesos específicos son más livianos, en cuanto a la grava presenta un módulo de finura mayor y peso específico liviano. A continuación se muestra la cantidad de material más las pérdidas correspondientes.

**Tabla 3.5 Cuantía de los materiales**

SECO (Kg) para 4 Probetas	HUMEDO (Kg) para 4 Probetas
8,91	9,29
4,10	4,27
22,43	23,80
20,88	22,22

*Fuente: Elaboración propia*

### 3.2 Diseño de hormigón convencional con PET

Al igual que el diseño de hormigón patrón se realizó la misma dosificación, pero en este caso la variación que se tiene es en el agregado grueso.

Es de este modo con relación a los cálculos anteriores se destina un % de agregado PET, teniendo como datos elementales su peso específico y granulometría necesario para su cuantificación.

Según los datos el agregado PET presenta la granulometría más próxima a una representación considerable de gravilla, mas no de grava.

De acuerdo a lo mencionado se realizó los siguientes cálculos:

**Tabla 3.6 Datos del PET**

ENSAYO	Unidad	Valor
1.- Módulo de finura de la arena (MF)	s/u	3,84
2.- Peso específico de la arena ( $\gamma_f$ )	gr/cm <sup>3</sup>	1,39
3.- Humedad de la Grava ( Hg )	%	0,01
4.- Tamaño máximo Nominal ( TMN )	pulg	½
5.- Tamaño Máximo ( TM )	pulg	¾

*Fuente: Elaboración propia*

Vol. Agregado total = 716,06 kg/m<sup>3</sup>

Vol. Absoluto de arena = 359,75 lt/m<sup>3</sup>

Vol. Absoluto de grava = 356,31 lt/m<sup>3</sup>

Al 10 %      356,31 m<sup>3</sup>\*0,10\*1,39 = 49,53 kg      por m<sup>3</sup>

Al 15 %      356,31 m<sup>3</sup>\*0,15\*1,39 = 74,29 kg      por m<sup>3</sup>

Al 20 %      356,31 m<sup>3</sup>\*0,20\*1,39 = 99,05 kg      por m<sup>3</sup>

Al 30 %      366,07 m<sup>3</sup>\*0,30\*1,39 = 148,58 kg      por m<sup>3</sup>

En la siguientes tabla se ve las proporciones, considerando una perdida al 10%.

**Tabla 3.7 Proporción de PET respecto al % de grava**

PET	10%	15%	20%	30%
Unidad	(Kg)	(Kg)	(Kg)	(Kg)
m <sup>3</sup>	49,53	74,29	99,05	148,58
3 Probetas	0,86	1,30	1,73	2,60
4 Probetas	1,15	1,73	2,31	3,46
5 Probetas	1,44	2,16	2,88	4,33

*Fuente: Elaboración propia*

Antes de la elaboración se fijó la cantidad de muestreo necesario para realizar, sabiendo que se quiere conocer la aplicabilidad de este hormigón se ve con la necesidad de realizar la prueba a compresión a los días estimados en norma, con una cantidad mínima, pero significativa.

En esta ocasión el muestreo que se tomo fue de 10 como máximo, para cada tiempo de rotura y cada tipo de hormigón con distinto porcentaje de PET.

**Tabla 3.8 Muestreo de probetas a elaborar**

Probetas	Tiempo	Muestreo	Total
Patrón	3	10	50
	7	10	
	14	10	
	21	10	
	28	10	

10% PET	3	10	50
	7	10	
	14	10	
	21	10	
	28	10	
15% PET	3	10	50
	7	10	
	14	10	
	21	10	
	28	10	
20% PET	7	3	3
30% PET	7	3	3
TOTAL DE ENSAYOS			156

*Fuente: Elaboración propia*

### 3.3 Procedimiento de la elaboración de la mezcla

En primera instancia se eligió los agregados de procedencia San Mateo.

Dentro de la dosificación existen dos tipos mezclas de acuerdo al contenido de humedad seco y húmedo; para el último es necesario hacer ciertas correcciones en el caso de la arena.

Dentro de la elaboración se siguió los siguientes pasos:

- Lavar el material tanto grueso como fino, con el fin de separar limos u otros residuos que dañen al hormigón

**Figura 3.1 Lavado de material**



*Fuente: Elaboración propia*

- Luego del lavado este material debe ser secado en el horno en el caso de la arena, en cuanto a la grava esta puede ser secado a la intemperie ya que su secado es más facilita.
- Después del secado se procede a cuantificar, todos los materiales (grava, arena, cemento, agua y PET) deben ser pesados según la cantidad de probetas a realizar.

**Figura 3.2 Proporción de agua, cemento, 10% y 15% de PET**



*Fuente: Elaboración propia*

- Para mezclas con % PET, el peso de arena, cemento y agua se mantienen; pero en el caso de la grava debe disminuirse ya que el volumen del PET será mayor al de la grava. A mayor % de PET menor grava.

**Figura 3.3 Proporción de materiales para dosificación de 20% y 30%**



*Fuente: Elaboración propia*

- Luego de tener ya las proporciones se procede a mezclarlos en la hormigonera. Para que tenga un mejor mezclado se agrega primeramente el agua, luego la grava, a continuación la arena y finalmente el cemento. Debe mezclarse hasta que la masa tenga una consistencia blanda, para que sea fácil en su trabajabilidad. En el caso de mezcla con PET, se recomienda agregar ese polímero después de la arena, caso contrario no tendrá una homogeneidad la mezcla.

**Figura 3.4 Dosificación de agua**



*Fuente: Elaboración propia*

**Figura 3.5 Dosificación de arena y PET**



*Fuente: Elaboración propia*

**Figura 3.6 Dosificación de cemento**



*Fuente: Elaboración propia*

**Figura 3.7 Mezclado de los materiales**



*Fuente: Elaboración propia*

- Después del mezclado es necesario realizar el ensayo de consistencia del hormigón mediante el Cono de Abrams, para ello es necesario apoyar el cono encima de la plancha metálica verter el hormigón hasta la tercera parte lo cual representa una capa de tres; con ayuda de una varilla metálica se apisona la mezcla 25 veces con capa. Cuando ya este lleno se enrasa, y se retira cuidadosamente el cono.



**Figura 3.8 Compactado y enrasado de la mezcla en el Cono de Abrams**



*Fuente: Elaboración propia*

**Figura 3.9 Ensayo del Cono de Abrams**



*Fuente: Elaboración propia*

- Luego se da la vuelta el cono para medir en asentamiento que tuvo la mezcla, esto para verificar que efectivamente cumple la consistencia con la que fue calculado.

**Figura 3.10 Medición del asentamiento de la mezcla patrón y 10% de PET**



*Fuente: Elaboración propia*

- La consistencia debe ser medida en cada dosificación que se realice ya que podría variar, más aún cuando esta mezcla se encuentre con PET.
- La consistencia de mezcla patrón cumplía, pero las que presentaban % de PET estas tienden a aumentar su asentamiento ya que éste material tiende a tener una textura más lisa y liviana con relación a los otros materiales.

**Figura 3.11 Medición de asentamiento de la mezcla al 15% y 20% de PET**



*Fuente: Elaboración propia*

**Figura 3.12 Medición del asentamiento de la mezcla al 30% de PET**



*Fuente: Elaboración propia*

- Ya verificado la consistencia se procede al vaciado de la mezcla a los moldes, pero antes de ellos éstos deben ser aceitados, para ayudar en el desmolde de probetas.

**Figura 3.13 Aceitado de los moldes**



*Fuente: Fuente: Elaboración propia*

- Para elaborar las probetas se debe verter la mezcla en tres capas, en cada capa debe ser compactado o varillado 25 veces a su vez debe ser vibrado de forma manual con ayuda de un martillo hasta que salga todo el aire que tiene el hormigón, luego se ello debe enrasarse hasta que la superficie quede lisa ya que este es uno de los factores que intervienen dentro de la rotura de probetas a compresión.

**Figura 3.14 Compactación, vibrado manual y enrasado**



*Fuente: Fuente: Elaboración propia*

- Debe dejarse secar por 24 hrs para que el hormigón se seque a la intemperie. Antes de desmoldar debe marcarse cada probeta y anotar la fecha del vaciado.

**Figura 3.15 Probetas marcadas según la fecha**



*Fuente: Fuente: Elaboración propia*

- Transcurrido el tiempo de secado de la probeta, se desmolda e inmediatamente se debe sumergir a la piscina de agua para el curado de las mismas, esta debe tener un nivel por encima de la superficie de la probeta. Su tiempo de curado

dependerá de los días a romper la probeta según la resistencia respecto al tiempo, en este caso a los 3, 7, 14, 21 y 28 días.

- Los moldes deben ser limpiados nuevamente para las siguientes probetas a elaborar.

**Figura 3.16 Curado de probetas en piscinas de agua**



*Fuente: Elaboración propia*

### **3.3 Rotura de las probetas de diseño**

Primeramente se saca las probetas 24 hrs de realizar el ensayo de compresión.

Ya secas las probetas se procede a medir sus dimensiones (altura y diámetro) y por último se pesa.

**Figura 3.17 Peso de las probetas**



*Fuente: Elaboración propia*

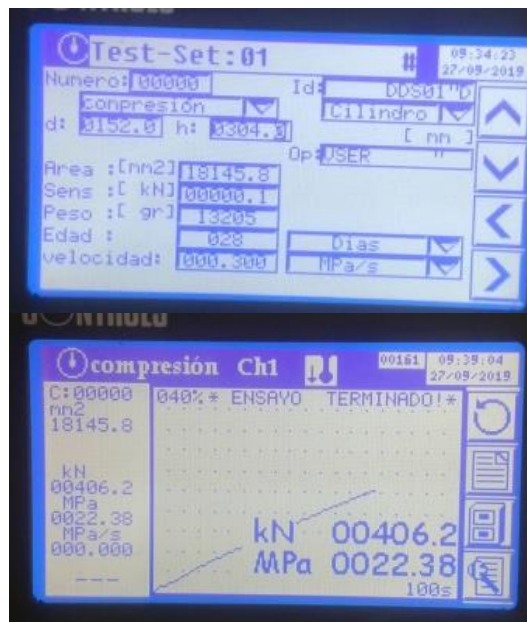
Luego de se pasan los datos a la prensa y por último se anota la edad que tiene la probeta que se va a romper como datos iniciales.

**Figura 3.18 Probetas llevadas a la prensa (ensayo a compresión)**



*Fuente: Elaboración propia*

**Figura 3.19 Colocado de datos iniciales (antes de ruptura) y resultados finales (después de ruptura)**



*Fuente: Elaboración propia*

Finalmente se anota el valor que se ve después de la rotura, la carga (KN) y el esfuerzo que llegó.

**Figura 3.20 Fisuras de probetas (patrón, 10% y 15% de PET )**



*Fuente: Elaboración propia*

Se observa las fisuras que al incrementar PET, este favorece a que la probeta no presente fisuras significativas respecto al primero.

**Figura 3.21 Probetas después del ensayo de compresión**



*Fuente: Elaboración propia*

**Tabla 3.9 Resumen de datos obtenidos**

Días	PATRÓN			10% DE PET		15% DE PET	
	Probeta	Peso (gr)	Densidad (gr/cm <sup>3</sup> )	Peso (gr)	Densidad (gr/cm <sup>3</sup> )	Peso (gr)	Densidad (gr/cm <sup>3</sup> )
3	1	13005	2,38	12660	2,30	12650	2,29
3	2	13030	2,36	12620	2,29	12480	2,25
3	3	13070	2,37	12830	2,35	12475	2,25
3	4	12955	2,37	12785	2,34	12510	2,26
3	5	12950	2,37	12845	2,35	12635	2,28
3	6	12930	2,34	12630	2,28	12435	2,28
3	7	13010	2,36	12355	2,24	12390	2,25
3	8	13025	2,36	12560	2,28	12460	2,25
3	9	12950	2,35	12590	2,28	12195	2,20
3	10	13020	2,36	12625	2,28	12505	2,29

7	1	12975	2,38	12680	2,32	12685	2,32
7	2	13005	2,35	12845	2,32	12725	2,30
7	3	13010	2,39	12830	2,32	12725	2,30
7	6	13060	2,36	12800	2,31	12585	2,28
7	7	13085	2,36	12720	2,30	12570	2,27
7	8	13040	2,36	12790	2,34	12565	2,27
7	9	13005	2,35	12825	2,32	12645	2,28
7	10	13010	2,35	12705	2,33	12530	2,26

14	1	13090	2,37	12915	2,33	12635	2,28
14	2	13070	2,36	12895	2,33	12620	2,28
14	3	13080	2,36	12910	2,33	12685	2,29
14	4	13055	2,36	12860	2,32	12645	2,28
14	5	13155	2,38	12865	2,32	12595	2,28
14	6	13055	2,36	12655	2,29	12540	2,27
14	7	13095	2,37	12775	2,31	12625	2,28
14	8	13110	2,37	12775	2,31	12510	2,26
14	9	13175	2,38	12670	2,29	12585	2,27
14	10	13100	2,37	12870	2,33	12530	2,26



21	1	12995	2,36	12740	2,32	12595	2,28
21	2	13095	2,37	12840	2,33	12535	2,27
21	3	13040	2,36	12745	2,31	12495	2,27
21	4	13070	2,37	12770	2,31	12540	2,27
21	5	13050	2,37	12765	2,31	12695	2,31
21	6	13120	2,38	12825	2,32	12780	2,32
21	7	13065	2,40	12840	2,33	12765	2,31
21	8	13105	2,37	12785	2,32	12730	2,31
21	9	13040	2,40	12890	2,34	12750	2,31
21	10	13090	2,40	12780	2,32	12590	2,28

28	1	13160	2,39	12965	2,35	12635	2,29
28	2	13185	2,39	12995	2,36	12545	2,27
28	3	13205	2,39	12950	2,35	12780	2,32
28	4	13230	2,40	12965	2,35	12890	2,34
28	5	13175	2,39	12870	2,33	12655	2,29
28	6	13170	2,39	12965	2,35	12810	2,32
28	7	13290	2,41	12875	2,33	12795	2,31
28	8	13180	2,39	12855	2,33	12600	2,28
28	9	12995	2,36	12845	2,33	12590	2,28
28	10	13110	2,38	12890	2,34	12575	2,28

Días	Probeta	20% DE PET		30% DE PET	
7	1	11880	2,15	10615	1,92
7	2	11850	2,14	10720	1,94
7	3	11755	2,12	10740	1,94

*Fuente: Elaboración propia*

## 4.1 Análisis y discusión de resultados

### 4.1.1 Análisis de la caracterización de materiales

#### Granulometría

De acuerdo al análisis granulométrico que se tuvo que los materiales cumplieron con las especificaciones de ASTM C33.

**Tabla 4.1 Comparación de granulometría de agregado grueso respecto a la norma ASTM C33**

Tamices	Tamaño (mm)	% Que pasa del total	% Que pasa s/g Especific. ASTM	
2 1/2"	63	<b>100,0</b>	100	100
2	50,8	<b>100,0</b>	100	100
1 1/2"	38,10	<b>100,0</b>	100	100
1	25,40	<b>100,0</b>	100	100
3/4	19,05	<b>97,4</b>	90	100
1/2	12,50	<b>33,8</b>	-	-
3/8	9,50	<b>20,7</b>	20	55
Nº4	4,80	<b>0,2</b>	0	10
BASE	0	<b>0,0</b>		

*Fuente: Elaboración propia*

La grava presenta una granulometría media gruesa de acuerdo a las bandas granulométricas establecidas por norma.

Pero también presentó cantidad considerable de finos lo cual baja la calidad del material, para ello se procedió a tamizar, de tal manera que el material más fino sea separado.

Este material contiene además de fino (limo), presencia de laja (tipo de piedra no muy resistente).

**Tabla 4.2 Comparación de granulometría de agregado fino respecto a la norma  
ASTM C33**

<b>Tamices</b>	<b>tamaño (mm)</b>	<b>% que pasa del total</b>	<b>Especificación ASTM C-33/03</b>	
3/8	9,50	<b>100,0</b>	100	100
Nº4	4,75	<b>95,9</b>	95	100
Nº8	2,36	<b>77,6</b>	75	95
Nº16	1,18	<b>61,1</b>	45	80
Nº30	0,60	<b>45,1</b>	25	55
Nº50	0,30	<b>25,9</b>	10	30
Nº100	0,15	<b>9,9</b>	2	10

*Fuente: Elaboración propia*

La arena presenta granulometría normal a media de acuerdo a la ASTM C-33

En cuando a la granulometría del agregado PET según se muestra en Tabla 2.20, presenta tamaños similares a la gravilla (grava más pequeña), por tanto ayuda a la distribución de tamaños, presenta una absorción de agua casi nula, un peso específico liviano y una distribución de tamaños los cual favorece en su mezclado y adherencia.

Los demás parámetros se encuentran dentro del margen que se especifica por reglamento: peso específico, peso unitario y módulo de finura; aunque según sus resultados apunta que los agregados son materiales livianos, ya que tiene presencia de piedras como laja lo cual debilita la resistencia del hormigón.

#### **4.1.2 Análisis estadístico**

El análisis estadístico se realizó con la muestra de 10 ensayos como máximo de cada dosificación a los diferentes días de rotura.

Siendo un total de 156 probetas testigos para el ensayo las cuales fueron distribuidas de acuerdo a la cantidad mínima requeridas por norma para poder realizar un análisis estadístico.

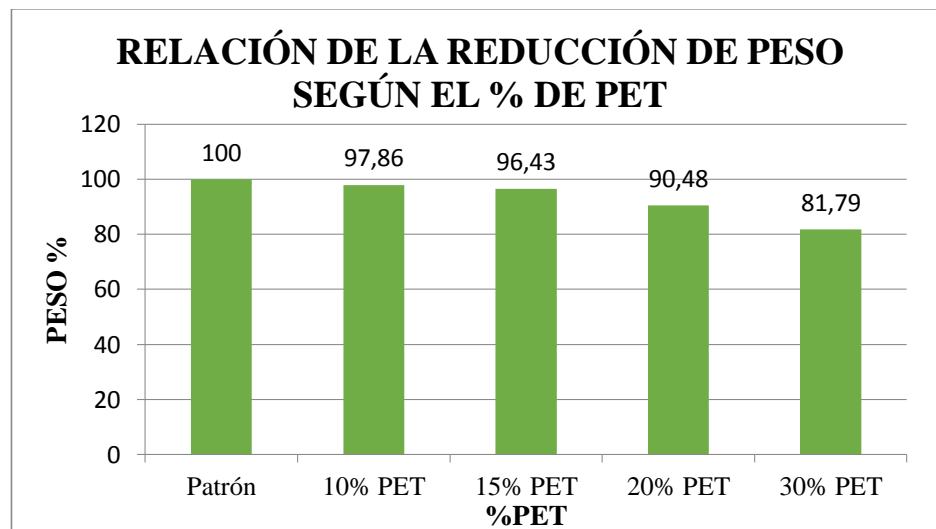
De acuerdo a ello se ve la siguiente tabla.

**Tabla 4.3 Pérdida de peso y densidad del hormigón**

Valoración de datos	Patrón	10% PET	15% PET	20% PET	30% PET
Promedio de densidad (gr/cm <sup>3</sup> )	2,37	2,32	2,28	2,14	1,93
Promedio de peso (Kg)	13,07	12,79	12,60	11,83	10,69
Porcentaje de peso (%)	100	97,86	96,43	90,48	81,79
Pérdida de peso (%)	0	2,14	3,57	9,52	18,21
Desviación estándar	0,079	0,124	0,123	0,065	0,067

*Fuente: Elaboración propia*

**Gráfico 4.1 Pérdida de peso**



*Fuente: Elaboración propia*

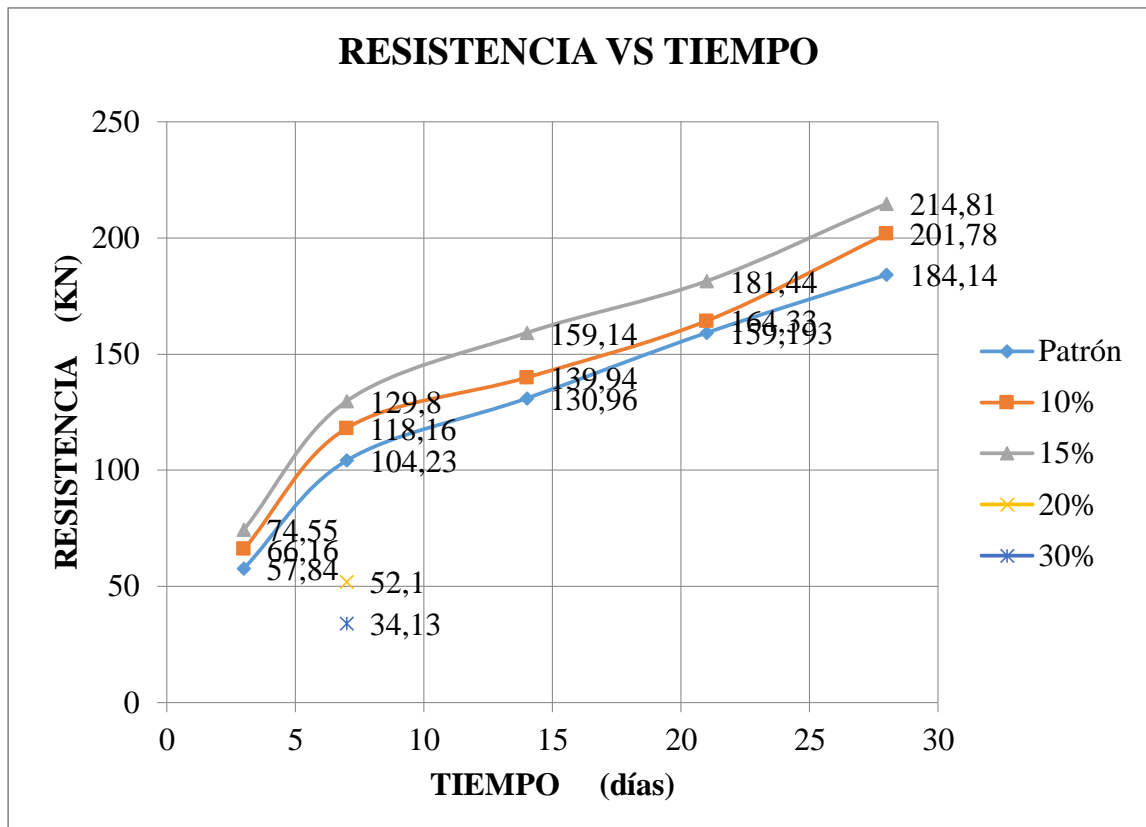
Existe una pérdida de peso, por ende también de su densidad del hormigón. En el caso del H° al 10% de PET su reducción de peso es de 2,14 % y del H° al 15% llega a un 3,57%.

#### **4.1.3 Análisis de la resistencia a compresión en función de días de rotura**

Es evidente que medida que tiene más antigüedad el hormigón presenta mayor resistencia, en este caso la rotura se realizó a varias edades: 3, 7, 14, 21 y 28 días.

Con los datos ya tabulados en el análisis estadístico anteriormente mencionado, se comprueba a su vez los resultados promedios que nos indica el incremento de resistencia, no solo con relación al % de PET que se incluye, sino también con respecto al tiempo, donde dan datos significativos en cuanto al 10% y 15% de PET a su incremento de resistencia.

**Gráfico 4.2 Relación de resistencia con respecto al Patrón**



*Fuente: Elaboración propia*

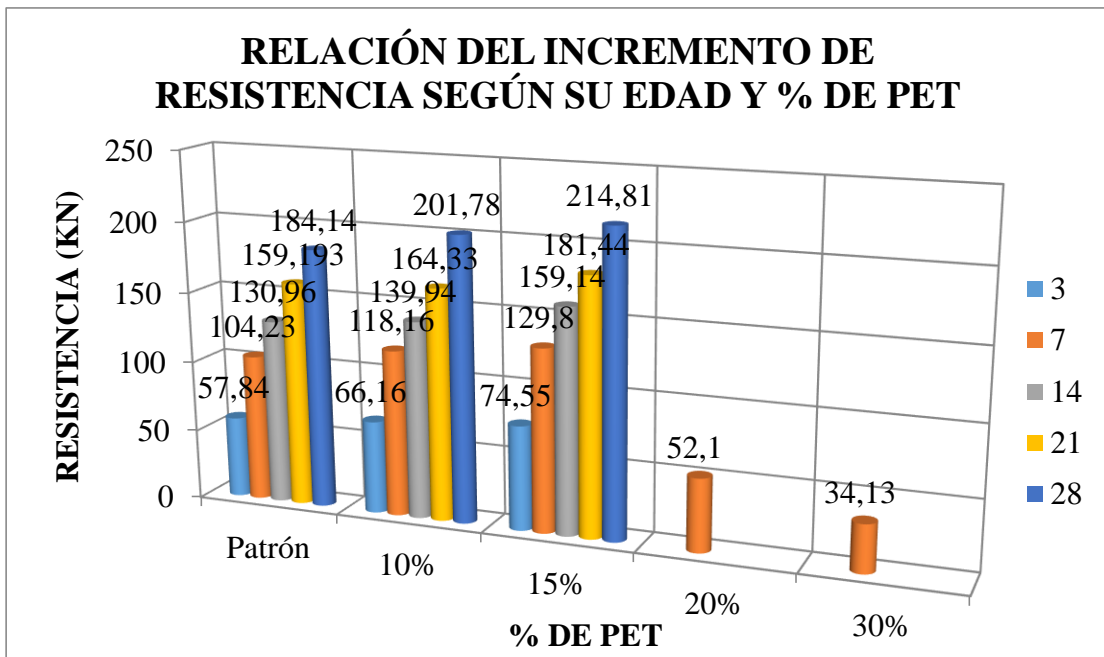
Al no tener muchos datos se procedió a realizar una pequeña muestra de elaboración de probetas al 20% y 30%; esto con la finalidad de conocer donde se da el quiebre de incremento de resistencia. Pero este al ser menor incluso por debajo de todas las demás curvas, ya no es necesario realizar más ensayos, siendo descartados por los valores que no entran dentro del rango necesario de resistencia.

**Tabla 4.4 Promedio de resistencia**

N <sup>a</sup>	Días	Patrón	10%	15%	20%	30%
1	3	57,84	66,16	74,55		
2	7	104,23	118,16	129,8	52,1	34,13
3	14	130,96	139,94	159,14		
4	21	159,193	164,33	181,44		
5	28	184,14	201,78	214,81		

*Fuente: Elaboración propia*

**Gráfico 4.3 Relación del incremento de resistencia**



*Fuente: Elaboración propia*

Al ver la gráfica, se observa no solo la disminución de resistencia y peso sino también la proyección de esos datos a los 28 días no llegara a cumplir valores dentro del hormigón convencional. Por ende se descarta la posibilidad de seguir incrementando agregado PET mas del 15 % ya que no beneficiaría, más bien incrementaría su costo.

**Tabla 4.5 % de Incremento de resistencia**

Días	Patrón	H°10%PET	H°15%PET	H°20%PET	H°30%PET
3	1	0,874	0,776	-	-
7	1	0,882	0,803	2,001	3,054
14	1	0,936	0,823	-	-
21	1	0,969	0,877	-	-
28	1	0,913	0,857	-	-
Promedio		0,915	0,827		
Promedio de incremento de resistencia (%)		8,530	17,27	Disminuye	Disminuye

*Fuente: Elaboración propia*

El incremento de resistencia es hasta el 15% de PET como máximo, ya que si se sigue aumentando al 20 y 30 %, la resistencia tiende a disminuir brutalmente, incluso por debajo de la resistencia inicial con la que se relaciona.

Según esta tabla lo máximo que puede aumentar la resistencia es un 17,27 % al incluirse el PET en dicho hormigón.

#### **4.1.4 Análisis del asentamiento de la mezcla**

Inicialmente para el cálculo de la dosificación se parte de un determinado asentamiento como dato, en este caso se usó un asentamiento de 3 pulg (según norma de 2,5 cm como mínimo a 7,5 cm máximo), dicho dato para emplear en diversos tipos de construcción.

De acuerdo con los datos obtenidos en laboratorio cumplió el asentamiento dentro de ese rango (2,5-7,5) cm en el caso de la mezcla patrón su asentamiento era de 5 a 6 cm. En el caso de las mezclas que contenían distintos % de PET su asentamiento fue mayor; en el H° al 10% de PET fue de 7 cm y en el de 15% de PET llegó hasta 9 cm. En cuanto los otros porcentajes de 20 y 30 % su asentamiento fue alto, es decir que no tenía estabilidad, su consistencia pasaba de blanda a fluida.

#### 4.1.5 Análisis económico

Para ello es necesario conocer el costo de cada uno de los materiales necesarios para la elaboración de esta mezcla.

Gracias a las planillas de precios unitarios que se ve en el Anexo V, se realiza un resumen de presupuesto, el cual indica por m<sup>3</sup> el precio tanto cuando no tiene PET, como cuando se va agregado dicho material.

De acuerdo a esos resultados se llega a la conclusión respecto al incremento de precio a medida que se va aumentando el % de PET.

A continuación se ve la variación de los precios respecto al Hormigón Patrón.

**Tabla 4.6 Resumen de la relación de incremento de costo respecto al H° común**

<b>ANÁLISIS DE PRECIOS</b>					
<b>ITEM N°</b>	<b>DESCRIPCION</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>P. U. Total</b>	<b>%</b>	<b>Incremento (%)</b>
<b>HORMIGÓN fck 210 Kg/m3</b>					
1	Patrón (sin PET)	(m3)	880,43	1,00	0,00
2	H <sup>a</sup> al 10% de PET	(m3)	1122,14	1,27	27,45
3	H <sup>a</sup> al 15% de PET	(m3)	1242,97	1,41	41,18
4	H <sup>a</sup> al 20% de PET	(m3)	1362,60	1,55	54,76
5	H <sup>a</sup> al 30% de PET	(m3)	1604,55	1,82	

*Fuente: Elaboración propia*

Respecto a estos resultados, se ve que el precio va incrementando. En el caso de los primeros en donde efectivamente ayuda en la resistencia el incremento del costo es más significativo, por ello la mejor opción es el que tiene un 10% de PET ya que su costo no será mucho. Además se puede considerar estos costos en cuanto a la compra del PET, ya que al tratarse de poca cantidad, este podría disminuir hasta 3bs si se compra por cantidad, sin dejar de lado que este material tarde en degradarse ayudando a las fisuras y permeabilidad del hormigón.

A futuro como solución para disminuir el costo y combatir con el medio ambiente sería de generar el material en el lugar y no así comprarlo de la empresa. Para ello es



necesario contar con recicladoras o acopios que se encargan de recibir el material reciclado, a su vez contar con trituradora propia ya que también les beneficiaría, porque todo lo que recolectan termina siendo enviado en volumen suelo a Santa Cruz o La Paz; al contar con una trituradora podrían vender mayor cantidad y gastar menos en transporte. Siendo de esta forma se podría reducir el incremento a un 10% (H<sup>a</sup> al 10% de PET).

#### **4.1.6 Comparación con otros tipos de hormigón que contienen material reciclable**

Es necesario realizar una comparación de esta alternativa de reciclaje con respecto a otras mezclas que también son parte del desarrollo de hormigones livianos que incluyen materiales reciclables.

Para este caso la comparación de datos se hará con los siguientes materiales:

- Ladrillo
- Plastroformo MPES
- Bolsas de plástico PEBD
- Vidrio

En este caso tomaremos en cuenta el beneficio, aplicabilidad y otros factores importantes conocer de las distintas mezclas.

Dejando de lado la comparación de hormigón reciclable (unión de hormigón de viejo y nuevo), ya que según sus características no formarían parte, si bien su peso disminuye, aun no pertenecería a hormigones livianos.

La tabla a continuación, es la comparación de los otros materiales los cuales también son convencionales y parten de una relación y comparación respecto a una dosificación de hormigón sin inclusión de dicho material. Sabiendo esto el análisis tiende a facilitar para adoptar una mejor alternativa.

**Tabla 4.7 Comparación de distintos hormigón convencionales livianos que incluyen materiales reciclables**

Materia	Resistencia	Aplicación	Beneficios	Ambiental	Costo
PET	Incruenta hasta un 17,2% respecto a un hormigón liviano.	Según la resistencia que presentase aplica en: Pavimento flexible, Revoques, pisos falsos Columnas Losas etc.	El PET es un polímero que de acuerdo a sus características es favorable en elementos que se encuentran a la intemperie ya que es un material biodegradable, así también si está al contacto con el agua.	De acuerdo con el incremento de contaminación, y escasez del agregado grueso de las fuentes de recolección; ayuda no solo al reciclaje sino a la disminución de impacto ambiental que provoca este plástico.	El incremento del costo es considerable ya que la novedad de tomar esta alternativa recién está entrando en el mercado, da la posibilidad de que este reduzca con el tiempo.
Ladrillo	Tiende a reducir la resistencia al igual que el PEBD	Puede emplearse en: Losas Pisos, etc. O en lugares donde se requiere reducir la densidad del hormigón.	El ladrillo presenta características similares al hormigón, al fusionar ambos es bueno, ya que existe una buena adherencia para funcionar en conjunto.	Dentro de una construcción donde es evidente el quiebre de ladrillo, en vez de prescindir, es una buena alternativa además que no requiere hacer algún tratamiento.	Su costo es menor a comparación de los otros materiales, ya que este material se puede obtener de los acopios de desechos de ladrillo en cerámicas.
MPES	Reducción de la resistencia compresión axial. Requiere e un super-plastificante para mejorar.	Se usa en losas alivianadas. También se puede aplicar en lugares que requieran de aislante de sonido.	Una de sus principales características es ser un muy aislante.	Este material también es contaminante, se puede reciclar el plastiform que sobra de las losas alivianadas o de las protecciones de algunos objetos frágiles	Su costo es bajo la que al ser un material expansivo requiere de poco peso y mayor volumen.

				que requieren de este material para no dañarse	
PEBD	Disminuye a medida que se va aumentando ese agregado	Debe darse en lugares que no sobe pase los 90°C, no deben aplicarse a lugares que se expongan a fuego. Se aplica.	Es un material que ayuda a sustituir de alguna manera el % de agregado grueso, hasta cierto valor considerable lo cual da como resultado una resistencia considerable a lo establecido.	Al igual que el PET, es una forma de reciclaje ya que el PEBD está compuesto en base de plástico, en este caso un polímero de baja densidad y calidad.	Su costo es elevado a medida que se va incrementando
Vidrio	Ya que es usado como fibra este tiende a ayudar a su resistencia a flexión.	Se aplica en: Vigas Losas y otros elementos sometidos a flexión.	Como el vidrio esta en base de arena, este material puede exponerse a lugares de fuego.	Si bien este material no es contaminante, de alguna forma ayuda al reciclaje de botella de vidrio.	Su costo es variable, más aun si se compra este material, ya que requiere de lavado para que no presente impurezas

*Fuente: Elaboración propia*

#### **4.1.7 Contrastación de Hipótesis**

De acuerdo a la hipótesis inicialmente marcada, donde se indicó que con el incremento del agregado plástico en este caso hojuelas de PET provenientes del triturados de las botellas que fueron recicladas, este hormigón tendería a disminuir en peso e incrementar en resistencia, basándose en investigaciones anteriores similares, en las cuales se incluía en el hormigón este material, como sustituidor de arena, grava y cemento en ciertos porcentajes.

En este caso según los resultados obtenidos se observan los valores siguientes:

La disminución de peso no fue mucha ya que al trabajar con sustitución de pesos compactados, si bien el PET ocupa mayor volumen su peso por el contrario es liviano, es por eso que la pérdida de peso llego no fue mayor al 4% que se proyectaba; en el H° al 10% de PET fue 2,14% y en el H° al 15% de PET fue hasta un 3,57%.

Otro punto que cabe notar es que si bien aumentó la resistencia, está solo pudo llegar hasta un 15% que puede incluir el hormigón este agregado plástico, el cual ayuda en un aumento de resistencia hasta de 17,2% por debajo del 18% que estaba mencionado, pero económicamente conviene emplear un H° al 10% de PET en el cual la resistencia incrementa a un 8,5%.

Finalmente para aclarar los resultados, es necesario saber que en este caso se realizó para una resistencia normal de 210 Kg/cm<sup>2</sup>, mas no como otras investigaciones que trabajaron con resistencias altas.

Cabe notar que los agregados no fueron muy buenos, es por ello que la resistencia no logró alcanzarse a lo esperado, en cambio incluyendo PET, si se logró llegar a la resistencia para la que estaba proyectada, de esta manera ayudando a la mejora de los agregados.

#### **4.1.8 Aplicación del hormigón convencional**

De acuerdo a la tabla 2.6 en donde se ve las resistencias mínimas que debe tener el concreto, este tipo de hormigón convencional aparte del uso como hormigón simple, se podría emplear en sello (sello para cimientos), rellenos de bloques, columnas, contra piso, y piso falsos; por el contrario en el caso de vigas no se aplicaría este material ya que dicho elemento está sometido a flexión mas no a compresión.

En el caso que se aplique a elementos estructurales debería hacerse un estudio ¿cómo es el comportamiento cuando se tiene la presencia de armadura?

## Conclusiones

- Al realizar el análisis de la caracterización, se pudo observar que efectivamente cumplía con las especificaciones técnicas que dicta la norma, de acuerdo a los resultados de los ensayos realizados. Si bien los agregados cumplieron las exigencias anteriormente marcada, cabe que aun así en la práctica, no se vio un material bueno tanto como la grava como la arena, ya que tenía la presencia de material conocido comúnmente laja, el cual es un material que no es muy resistente, es fácil de quebrarse, en cuanto a su peso específico del agregado era liviano, en el caso de la grava
- Se optó en usar material chancado ya que según sus características presentan mejor adherencia en la mezcla.
- En cuanto al agregado PET, en esta ocasión la inclusión dentro de la mezcla fue usada en forma de hojuelas (conocido en el mercado como flake cristal), las cuales fueron obtenidas de la fábrica de reciclaje EMPACAR, este material se usó en forma de grava en un poco % y mayor % en gravilla, de acuerdo a la granulometría que presentaba.
- El PET viene del reciclaje de botellas, las cuales son recolectadas en acopios a nivel nacional, para luego ser revendidas en la fábrica EMPACAR.
- No se realizó ensayos para cemento, ya que se tenían datos de las especificaciones que ya llega con el cemento. Se empleó cemento FANCESA, porque de acuerdo a investigaciones de comparaciones de cementos nacionales, se constató que este tipo de cemento presenta mejor calidad.
- Para el diseño de hormigón convencional, se utilizó % de 10 y 15, el cual vendría a sustituir la grava, para esto tuvo que manejarse los volúmenes que ocupaba la grava, de allí el % que se iba a reemplazar en este caso las hojuelas, de las cuales era necesario conocer sus especificaciones que fueron brindadas por la empresa. De acuerdo a ello se realizó el cálculo respectivo.
- La resistencia para que fue proyectada fue de  $210 \text{ kg/cm}^2$ , ya que esta está dentro del rango de resistencias normales y comunes en las construcciones.

- De acuerdo al análisis de asentamiento el hormigón patrón presento de 5 a 6 cm, el H° al 10% de PET hasta 7 cm, H° al 15 de PET hasta 9 cm, en cambio los otros % de 20 y 30 su asentamiento fue muy alto; concluyendo así que a mayor adición de PET mayor será el asentamiento en el ensayo de Cono de Abrams.
- Según el ensayo a compresión, se concluye que cumplió la hipótesis marcada, en el cual el PET ayuda en el incremento de la resistencia hasta un 17,2% cuando se usa un 15% de PET y la reducción de peso llegó a un 3,57%.
- Al aumento de resistencia se realizó ensayos al 20% y 30%, con ello se constata que a partir de 15% la resistencia en vez de incrementar tienden a disminuir. Dando como conclusión que para hormigones convencionales de 210 kg/cm<sup>2</sup>, solo es posible aumentar hasta un 15% de PET, lo cual es favorable al hormigón.
- Gracias al ensayo de compresión se verificó que las probetas que no contenían PET se fisuraban e incluso llegaba al quiebre de acuerdo a la carga que estaba expuesta. Mas al contrario el H° que contenían PET apenas se fisuraban, esto debido a sus propiedades de ese material; de acuerdo al % de PET a medida que se iba aumentando menor era la fisuración, pero en el caso de la adición de 20 y 30 % si llegaba a quebrarse, dando como límite optimo el que contenía un 15%.
- De acuerdo a lo precios unitarios realizados, el costo tiende a amentar a medida que se agrega PET, ya que este al de tener un precio de 4 bs el kilo, aumenta su costo del hormigón hasta un 42,46% respecto al hormigón común, viendo este se opta que lo aconsejable es solo adicionar hasta un 10% de PET el cual tienen un incremento de 27,45% de costo en el caso que se adquiriera el material de la empresa EMPACAR, caso contrario si se obtendría en el lugar se reduce el precio cerca al 10% de incremento.
- EL PET con relación a otros tipos de materiales reciclables es el más favorable, no solo porque ayuda en la resistencia, sino porque ayuda a la reducción de contaminación ambiental de desechos plásticos (botellas).
- La aplicación se enfoca a ser aptos en elementos de construcción civil como columnas, pisos, pavimentos rígidos; este último es apropiado más aún porque este material no es degradable por tanto su desgaste a cargas móviles es menor, más aún si este está a la intemperie ya que puede soportar temperaturas altas.

## Recomendaciones

- Se recomienda utilizar agregados buenos tanto grava como arena, en caso de tener la presencia de limos debe tamizarse para evitar impurezas y deterioro del hormigón.
- Para la caracterización de los materiales, es necesario realizar los ensayos al menos 3 veces, para obtener mejores datos y menos margen de error.
- Para tener menor costo en el PET se puede reciclar las botellas, lavarlas manualmente y llevarlas a triturar, el costo reduciría mucho. Para ello como antes mencionado es necesario obtener el producto en el lugar, Tarija al contar con acopiadoras y recicladoras sería bueno que las mismas tengan sus propias trituradoras, no solo les beneficiaría sino también reducirían costos. En el futuro sería ventajoso trabajar con entidades públicas como la Alcaldía y Gobernación, las cuales presentan proyectos de concientización ambiental y reciclaje, consigo utilizar este tipo de material en obras como parques, aceras etc. Con ello contribuir en la reducción de la contaminación ambiental.
- Se recomienda al momento de dosificar agregar el PET después de los áridos para que la mezcla sea homogénea.
- No se recomienda usar un % mayor a 15 % de PET ya que este disminuiría la resistencia del hormigón.
- En cuanto al costo, resistencia, trabajabilidad; se recomienda usar un 10% de PET como máximo en el hormigón.
- Como recomendación final se desea realizar ensayos de verificación de este tipo de hormigón ¿cómo funcionaría este material en elementos estructurales en donde se tiene la presencia de armadura?.