

UNIVERSIDAD ALAS PERUANAS
FACULTAD DE INGENIERIAS Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL



TESIS

**MEJORAMIENTO DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL
CONCRETO $f'c= 210 \text{ kg/cm}^2$, REFORZADO CON FIBRAS DE
TEREFTALATO DE POLIETILENO (PET) UTILIZANDO MATERIALES
DE LAS CANTERAS, DE HATUN RUMIYOC II Y CORDOVA
(HUAMBUTIO).**

PRESENTADO POR:

Br. MARITZA MAYTA HUAMAN

Para optar el título profesional de Ingeniero Civil.

ASESOR:

Mgt. Ing. Civil GORKI FEDERICO ASCUE SALAS

CUSCO-PERU

2016

DEDICATORIA

Principalmente a Dios por darme salud, fuerza y la oportunidad de haber llegado a esta meta que me trace al inicio de mi carrera.

A mis padres; mi madre Isabel, mi padre Andrés y mi hermana Mónica por su incondicional apoyo, por creer en mí y por haberme dado todas las herramientas básicas para concluir todas las metas que me trace en la vida, por enseñarme que todo sacrificio en la vida trae satisfacciones.

A mis amigos, quienes siempre estuvieron en las mejores y peores situaciones, por confiar en mí y tenerme presente.

A mis profesores de los niveles primarios y secundarios, Instituto por enseñarme a construir mis conocimientos, a ser responsable, respetuosa y justa en las diferentes situaciones de la vida.

A los docentes de la Universidad Alas Peruanas, por haberme brindado sus conocimientos y por guiarme a lo largo de esta hermosa experiencia y trayectoria universitaria.

AGRADECIMIENTO

Ante todo agradezco a Dios por darme la sabiduría necesaria para seguir el camino correcto en las actividades que realice en mi vida.

Así mismo agradezco a mi asesor técnico, Mgt. Ing. Civil Gorkil Federico Ascue Salas, por su tiempo, paciencia y buena actitud a la hora de atender a las inquietudes sugerencias a lo largo de mi investigación.

Agradezco a la Sr. Margarita Bejar y al personal que labora en la Concretara MIXER CUSCO, por haber puesto a nuestra disposición sus valiosos servicios e instalaciones, y de esta manera contribuir a la finalización del presente estudio.

Por otro lado, gracias al Tec. Sr. Angelo Chumpitaz, por su apoyo en brindarme la información necesaria en el diseño de mezcla para el desarrollo del proyecto.

Gracias especiales al profesor Ing. Ambrosio Mamani e ing. Raúl Apaza Meneses por su tiempo y paciencia y ese don de orientar nuestros conocimientos y enseñar a profundizar los temas aprendidos.

Gracias a los profesores de la Universidad Alas Peruanas, especialmente a los profesores de la escuela profesional de Ingeniería, a la Coordinadora de la Escuela profesional Ing. Liliana del Castillo, por su paciencia frente a nuestro ímpetu, igualmente a todas aquellas personas que de manera directa o indirecta contribuyeron para que las metas trazadas se hayan concluido.

A todos ustedes, Gracias por su confianza en mi persona.

El Autor.

ÍNDICE

| | |
|----------------------------------|------|
| DEDICATORIA..... | VIII |
| AGRADECIMIENTO..... | IX |
| ÍNDICE | X |
| LÍSTA DE TABLA..... | XIV |
| LÍSTA DE GRAFICOS..... | XVI |
| LISTA DE ANEXO..... | XVII |
| LÍSTA DE PANEL FOTOGRAFICO | XVII |
| RESUMEN | XIX |
| INTRODUCCIÓN | XX |

CAPITULO I

| | |
|--|----------|
| PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA..... | 1 |
| 1.1. DESCRIPCIÓN DE LA REALIDAD PROBLEMÁTICA | 1 |
| 1.2. DELIMITACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN | 2 |
| 1.2.1. Espacial..... | 2 |
| 1.2.2. Temporal | 2 |
| 1.2.3. Científica | 2 |
| 1.3. ÁREA DE ESTUDIO | 3 |
| 1.4. FORMULACION DEL PROBLEMA..... | 4 |
| 1.4.1. Problema General | 4 |
| 1.4.2. Problema Especifico..... | 4 |
| 1.5. OBJETIVOS DE INVESTIGACIÓN..... | 5 |
| 1.5.1. Objetivo General..... | 5 |
| 1.5.2. Objetivo Especifico | 5 |
| 1.6. JUSTIFICACIÓN DE INVESTIGACIÓN | 5 |
| 1.6.1. Justificación | 5 |

CAPITULO II

| | |
|---|----------|
| HIPÓTESIS Y VARIABLES | 8 |
| 2.1. HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN..... | 8 |
| 2.1.1. Hipótesis general..... | 8 |
| 2.1.2. Hipótesis específicas | 8 |
| 2.2. VARIABLES..... | 8 |

| | | |
|----------------------------|---|-----------|
| 2.2.1. | Variable independiente | 8 |
| 2.2.2. | Variable dependiente..... | 8 |
| CAPITULO III | | |
| METODOLOGÍA | | 9 |
| 3.1. | Metodología de la investigación..... | 9 |
| 3.1.1. | Tipo de investigación | 9 |
| 3.1.2. | Nivel de investigación | 9 |
| 3.1.3. | Método | 9 |
| 3.2. | POBLACIÓN Y MUESTRA DE LA INVESTIGACIÓN | 10 |
| 3.5.1. | Unidad de estudio..... | 10 |
| 3.5.2. | Muestra de estudio | 10 |
| 3.3. | TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS | 10 |
| 3.3.1. | Técnicas..... | 10 |
| 3.3.2. | Instrumentos..... | 10 |
| CAPÍTULO IV | | |
| MARCO TEÓRICO | | 11 |
| 4.1. | ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN..... | 11 |
| 4.2. | BASES TEÓRICAS | 14 |
| 4.3. | MARCO CONCEPTUAL..... | 15 |
| 4.3.1. | Concreto | 15 |
| 4.3.2. | Propiedades del concreto | 15 |
| 4.3.3. | Clasificación del concreto | 17 |
| 4.3.4. | Factores afectan el comportamiento compuesto del concreto | 18 |
| 4.3.5. | Elementos que componen el concreto | 19 |
| 4.3.5.1. | Cemento..... | 19 |
| 4.3.5.2. | Agregado..... | 20 |
| 4.3.5.3. | Agua..... | 29 |
| 4.3.5.4. | Aditivos..... | 32 |
| 4.3.5.5. | Fibras utilizada en concreto | 33 |
| 4.3.6. | El plástico | 39 |
| 4.3.6.1. | Industria de plástico en el Perú..... | 39 |
| 4.3.6.2. | Plástico utilizados en Ingeniería | 40 |
| 4.3.7. | Tereftalato de polietileno PET..... | 40 |

| | | |
|----------|--|----|
| 4.3.7.1. | Propiedades del Tereftalato de polietileno | 41 |
| 4.3.7.2. | Producción del PET | 43 |
| 4.3.7.3. | Reciclado del PET | 44 |

CAPITULO V

MÉTODOS PARA EL DISEÑO DE MEZCLAS DE CONCRETO

| | | |
|--------|---|----|
| 5.1. | Diseño de Mezcla | 46 |
| 5.1.1. | Elección de la Resistencia Promedio f'_{cr} | 47 |
| 5.1.3. | Elección del asentamiento (Slump)..... | 50 |
| 5.1.4. | Selección de tamaño máximo del agregado | 50 |
| 5.1.5. | Estimación del agua de mezcla y contenido de aire..... | 51 |
| 5.1.7. | Método de Füller..... | 54 |
| 5.1.8. | Calculo del Contenido de Cemento | 56 |
| 5.1.9. | Estimación del Contenido de Agregado grueso y Agregado Fino | 56 |
| 5.2. | Ensayos de Laboratorio..... | 58 |
| 5.2.1. | Características Físicas de los Agregados | 58 |

CAPITULO VI

MATERIALES UTILIZADOS Y RESULTADOS.....

| | | |
|--------|--|----|
| 6.1. | Cemento..... | 70 |
| 6.2. | Agregados | 71 |
| 6.2.1. | Agregado Fino..... | 71 |
| 6.2.2. | Agregado Grueso..... | 72 |
| 6.2.3. | Características de los agregados | 73 |
| 6.3. | Agua..... | 73 |
| 6.4. | Fibras de plástico..... | 73 |
| 6.5. | Resultados de Diseño de la Mezclas Realizados..... | 74 |
| 6.6. | Equipos y Materiales utilizados..... | 76 |
| 6.7. | Elaboración de las briquetas de testigos..... | 77 |
| 6.8. | Elaboración de las briquetas con adición de fibras | 77 |

CAPITULO VII

ANÁLISIS DE RESULTADOS 78

7.1. Resultado de los cálculos para la resistencia requerido (f'_{cr}) del concreto $f'_c=210 \text{ kg/cm}^2$ 78

7.2. Resultados de los promedios de rotura y desviaciones estándar de briquetas a diferentes edades..... 78

7.3. Resultados del porcentaje de resistencia alcanzada durante el tiempo de curado
86

7.4. Resumen del promedio de las resistencias obtenidas en cada caso..... 93

7.5. Tipos de fallas Producidas en las Briquetas de Prueba 95

1.5.1. Fallas producidas en las briquetas incorporadas con fibras de Tipo I..... 95

1.5.2. Fallas producidas en las briquetas incorporadas con fibras de Tipo II..... 97

CAPITULO VIII

DISCUSIONES Y CONCLUSIONES99

RECOMENDACIONES 104

REFERENCIA BIBLIOGRAFICA..... 105

ANEXO 108

LÍSTA DE TABLA

| | |
|--|----|
| TABLA 1 Composición de los Residuos Sólidos Provincia de Cusco | 4 |
| TABLA 2 Requisitos Granulométricos para el Agregado Grueso | 27 |
| TABLA 3 Requisitos Granulométricos para el Agregado fino | 28 |
| TABLA 4 Relación Agua/Cemento por Resistencia..... | 30 |
| TABLA 5 Límites Permisibles de Partículas en Suspensión | 31 |
| TABLA 6 Factor de Corrección del valor de “s” | 48 |
| TABLA 7 Resistencia a la compresión promedio | 49 |
| TABLA 8 Teniendo en cuenta el grado de control de calidad en la obra..... | 49 |
| TABLA 9 Consistencia y asentamiento | 50 |
| TABLA 10 Asentamiento recomendado para varios tipos de construcción. | 50 |
| TABLA 11 Requerimiento aproximado de agua de mezclado y de contenido de aire para diferentes valores de asentamiento y tamaño máximos de agregados | 52 |
| TABLA 12 Contenido de agua de mezcla | 53 |
| TABLA 13 Máxima relación agua/cemento permisible para concreto sometidos a condiciones especiales de exposición..... | 54 |
| TABLA 14 Valores de las constantes a y b, que representan la parte elíptica de la ecuación Fuller- Thompson..... | 55 |
| TABLA 15 Porcentajes de Resistencia de acuerdo a los días de curado..... | 70 |
| TABLA 16 Característica de los agregados utilizados..... | 73 |
| TABLA 17 Características de las fibras..... | 74 |
| TABLA 18 Diseño de Mezcla para el Testigo | 74 |
| TABLA 19 Diseño para las Fibras de Tipo I y Tipo II (proporción incorporada 1 kg/m ³)..... | 75 |
| TABLA 20 Diseño para Fibra de Tipo I Y Tipo II (proporción incorporada 3 kg/m ³) | 75 |
| TABLA 21 Diseño para Fibras de Tipo I y Tipo II (proporción incorporada 5 kg/m ³) | 76 |
| TABLA 22 Promedios y desviación estándar Fibras de Tipo I proporción de 1kg/m ³ | 79 |

| | |
|---|-----|
| <i>TABLA 23 Promedios y desviación estándar Fibras de Tipo II proporción de 1kg/m³</i> | 80 |
| <i>TABLA 24 Promedios y desviación estándar Fibras de Tipo I proporción 3 kg/m³</i> | 81 |
| <i>TABLA 25 Promedios y desviación estándar Fibras de Tipo II proporción de 3 kg/m³</i> | 82 |
| <i>TABLA 26 Promedios y desviación estándar Fibras de Tipo I proporción de 5 kg/m³</i> | 83 |
| <i>TABLA 27 Promedios y desviación estándar Fibras de Tipo II proporción de.....</i> | 84 |
| <i>TABLA 28 Promedios y desviación estándar Testigo.....</i> | 85 |
| <i>TABLA 29 Briquetas con incorporación de fibras de PET de 1 kgm³ Tipo I.....</i> | 86 |
| <i>TABLA 30 Briquetas con incorporación de fibras de PET de 1 kgm³ Tipo II.....</i> | 87 |
| <i>TABLA 31 Briquetas con incorporación de fibras de PET de 3 kgm³ Tipo I.....</i> | 88 |
| <i>TABLA 32 Briquetas con incorporación de fibras de PET de 3 kgm³ Tipo II.....</i> | 89 |
| <i>TABLA 33 Briquetas con incorporación de fibras de PET de 5 kgm³ Tipo I.....</i> | 90 |
| <i>TABLA 34 Briquetas con incorporación de fibras de PET de 5 kgm³ Tipo II.....</i> | 91 |
| <i>TABLA 35 Resultados de compresión simple para probetas Sin Fibras</i> | 92 |
| <i>TABLA 36 Promedio de la Resistencia a compresión de la diferentes mezclas realizadas (Fibras Tipo – I).....</i> | 93 |
| <i>TABLA 37 Promedio de la Resistencia a compresión de la diferentes mezclas realizadas (Fibras Tipo – II).....</i> | 94 |
| <i>TABLA 38 Máxima resistencia alcanzada con incorporación de fibra.....</i> | 102 |

LÍSTA DE GRAFICOS

| | |
|---|------------|
| <i>GRAFICO 1 Residuos Sólidos Producido en la ciudad del Cusco</i> | <i>5</i> |
| <i>GRAFICO 2 Consumo de plástico en el sector de la construcción en Europa Occidental</i> | <i>6</i> |
| <i>GRAFICO 3 Relación agua/ Cemento.....</i> | <i>31</i> |
| <i>GRAFICO 4 Proporcionamiento de agregados Método de Füller</i> | <i>57</i> |
| <i>GRAFICO 5 CURVA GRANULOMÉTRICA DE LA AGREGADO FINO</i> | <i>71</i> |
| <i>GRAFICO 6 CURVA GRANULOMÉTRICA DEL AGREGADO GRUESO.....</i> | <i>72</i> |
| <i>GRAFICO 7 Tipos de fallas.....</i> | <i>95</i> |
| <i>GRAFICO 8 Análisis de fallas producidas en briquetas con incorporación de fibra Tipo I, comparado con el testigo.</i> | <i>96</i> |
| <i>GRAFICO 9 Análisis de fallas producidas en briquetas con incorporación de fibra Tipo I, comparado con el testigo.</i> | <i>96</i> |
| <i>GRAFICO 10 Análisis de fallas producidas en briquetas con incorporación de fibra Tipo I, comparado con el testigo</i> | <i>97</i> |
| <i>GRAFICO 11 Análisis de fallas producidas en briquetas con incorporación de fibra Tipo II, comparado con el testigo</i> | <i>97</i> |
| <i>GRAFICO 12 Análisis de fallas producidas en briquetas con incorporación de fibra Tipo II, comparado con el testigo</i> | <i>98</i> |
| <i>GRAFICO 13 Análisis de fallas producidas en briquetas con incorporación de fibra Tipo II, comparado con el testigo</i> | <i>98</i> |
| <i>GRAFICO 14 Resistencia a la compresión del concreto alcanzado para el caso del Tipo I</i> | <i>100</i> |
| <i>GRAFICO 15 Resistencia a la compresión del concreto alcanzado para el caso del Tipo II</i> | <i>101</i> |

LISTA DE ANEXO

| | |
|---|---|
| ANEXO TABLA 1 Resumen de las características de los Agregados..... | 1 |
| ANEXO TABLA 2 Análisis Granulométrico por Tamizado para el Agregado Fino (NTP 339.128)..... | 2 |
| ANEXO TABLA 3 Análisis Granulométrico por Tamizado para el Agregado Grueso (NTP 339.128)..... | 3 |
| ANEXO TABLA 4 Peso Específico de los Agregados..... | 4 |
| ANEXO TABLA 5 Contenido de Humedad..... | 4 |
| ANEXO TABLA 6 Hoja Excel para el diseño de mezcla para las briquetas testigos sin fibra..... | 5 |
| ANEXO TABLA 7 Hoja Excel para el diseño de mezcla para la proporción de..... | 5 |
| ANEXO TABLA 8 Hoja Excel para el diseño de mezcla para la proporción de..... | 6 |
| ANEXO TABLA 9 Hoja Excel para el diseño de mezcla para la proporción de..... | 6 |
| ANEXO TABLA 10 Fichas de registro de roturas..... | 7 |

LÍSTA PANEL FOTOGRAFICO

| | |
|--|----|
| FOTO 1 Fibras de PET sometidas a 220 ° C y 0 °C..... | 15 |
| FOTO 2 Tara de Agregado Fino..... | 15 |
| FOTO 3 Tara de Agregado Grueso..... | 15 |
| FOTO 4 Tara de Cemento..... | 16 |
| FOTO 4 Tara de Agua..... | 16 |
| FOTO 6 Tara de Fibras de PET Tipo I..... | 16 |
| FOTO 7 Tara de fibras de PET Tipo II..... | 16 |
| FOTO 8 Incorporar Fibras de PET..... | 16 |
| FOTO 9 Mezcla de componentes..... | 16 |
| FOTO 10 Mezcla Obtenida con fibras incorporadas..... | 17 |
| FOTO 11 Slump de 3 cm. Obtenido en todas la mezclas..... | 17 |
| FOTO 12 Moldes de 10X20 cm..... | 18 |
| FOTO13 Rotulado de las briquetas..... | 18 |

| | |
|--|-----------|
| <i>FOTO 14 Curado de las briquetas durante 28 días.....</i> | <i>18</i> |
| <i>FOTO 15 Briquetas húmedas retiradas del agua.</i> | <i>18</i> |
| <i>FOTO 16 Briquetas listas para rotura.....</i> | <i>19</i> |
| <i>FOTO 17 Colocado de briqueta.</i> | <i>19</i> |
| <i>FOTO 18 Equipo de rotura.....</i> | <i>19</i> |
| <i>FOTO 19 Lectura de resultados.</i> | <i>19</i> |
| <i>FOTO 20 Registro de datos</i> | <i>19</i> |
| <i>FOTO 21 Retiro de briquetas de prueba.</i> | <i>19</i> |
| <i>FOTO 22 Observación directa de las rotura y fallas producidas.</i> | <i>20</i> |
| <i>FOTO 23 Fallas de briquetas con fibra.</i> | <i>20</i> |
| <i>FOTO 24 Falla de briquetas sin fibra.</i> | <i>20</i> |
| <i>FOTO 25 Supervisión de las roturas.....</i> | <i>20</i> |

RESUMEN

La investigación tuvo como objetivo determinar si las fibras de tereftalato de polietileno (PET) mejoran la resistencia a compresión del concreto $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$, se determinó la resistencia a la compresión de una mezcla convencional y luego se procedió a comparar los resultados obtenidos.

Para el concreto, se utilizó un diseño de mezcla $f'c = 210 \text{ kgf/cm}^2$; mediante el diseño de mezcla se realizó tanto la mezcla convencional como la mezcla con la incorporación de fibras de PET. El procedimiento se inició elaborando probetas de concreto convencional, luego se elaboró las probetas de concreto incorporado con fibras. El ensayo realizado fue el de la Resistencia a la Compresión Simple a los 3, 7, 14, 28 días basado en la Norma Peruana, Código 339.033; Elaboración y Curado de Probetas Cilíndricas, NTP 339.034; Ensayo de Resistencia a la Compresión. Al finalizar los ensayos de resistencia se determinó que la incorporación de fibras de PET en una mezcla de concreto mejorar la resistencia esperada.

Palabras Claves: Concreto, PET, fibras, resistencia a la compresión.

INTRODUCCIÓN

La ingeniería para evitar las fisuras producidas en el concreto ha incorporado fibras de distinta naturaleza, como son; el acero, polipropileno y fibra de vidrio. Las fibras siempre estuvieron presentes en materiales que tuvieron usos estructurales similares al concreto como el adobe, los tapiales y los morteros de cal entre otros. Las fibras vegetales son de uso obligado en las tapias y el adobe debido a que les ayudan a asumir esfuerzos de tensión y le confieren así un mayor monolitismo (evitar fisuras) a los elementos. El uso de las fibras naturales como un componente más en materiales de relleno o aglomerantes, no es así nuevo y se remonta varios siglos atrás. En el concreto existen referencias tempranas de experimentación con un refuerzo discontinuo (clavos, segmentos de cable, ganchos) que se remontan a 1910.

Para evitar las fisuras producidas en el concreto se ha incorporado fibras de distinta naturaleza. La utilización de estos materiales especiales tiene costos altos, muchas veces las infraestructuras requieren fibras de diferente naturaleza para mejorar las propiedades mecánicas del concreto, siendo la fibra de acero la más usada. En estos últimos años la fibra de plástico está siendo usada pero su adquisición es muy costosa ya que son polímeros con alta resistencia a la tensión, elaborados en fábricas especializadas.

A través de otras experiencias se aprovechado el PET reciclado como elemento que permita mejorar algunas propiedades mecánicas de los agregados aplicados en la sub base de los pavimentos, el presente trabajo de investigación pretende demostrar que el PET también puede mejorar la resistencia a la compresión del concreto.

CAPITULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. DESCRIPCIÓN DE LA REALIDAD PROBLEMÁTICA

El material manufacturado más usado en la industria de la construcción es el concreto hidráulico. Pero como todos los materiales, tiene algunas deficiencias en algunas aplicaciones particularmente en donde es sometido a cargas que producen esfuerzos de tensión, y su casi nula resistencia hace que aparezcan grietas muy tempranamente (*Armrenta, 2014*).

La fisuración por retracción plástica ocurre cuando está sujeto a una pérdida de humedad muy rápida provocada por una combinación de factores que incluyen las temperaturas del aire y el concreto, la humedad relativa y la velocidad del viento en la superficie del concreto. Estos factores pueden combinarse provocando niveles altos de evaporación superficial tanto en clima caluroso como en clima frío. Si la humedad se evapora de la superficie del concreto recién colocado más rápido de lo que puede ser reemplazada por el agua de exudación, el concreto superficial se contrae (*Comité ACI 224*).

Debido a la restricción proporcionada por el concreto debajo de la capa superficial que se seca, se produce la rigidización, desarrollando tensiones de tracción que provocan fisuras poco profundas pero de profundidad variable, que pueden formar un patrón poligonal aleatorio, o bien pueden aparecer básicamente paralelas unas a otras. Estas fisuras a menudo son bastante anchas en la superficie. Su longitud varía entre pocos milímetros y más de un metro, y su separación puede ser de pocos milímetros o de hasta 3 m. Las fisuras por retracción plástica comienzan como fisuras de poca profundidad, pero pueden convertirse en fisuras cuya profundidad abarque la totalidad de la altura del elemento (*Comité ACI 224*).

La ingeniería para reducir las fisuras producidas en el concreto ha incorporado fibras de distinta naturaleza, como son; el acero, polipropileno y fibra de vidrio. Las fibras siempre estuvieron presentes en materiales que tuvieron usos estructurales similares al concreto como el adobe, las tapias y los morteros de cal entre otros. Las fibras vegetales son de uso obligado en las tapias y el adobe debido a que les ayudan a asumir esfuerzos de tensión y le confieren así un mayor monolitismo (evitan fisuras) a los elementos. El uso de las fibras naturales como un componente más en materiales de relleno o aglomerantes, no es así nuevo y se remonta varios siglos atrás. En el concreto existen referencias tempranas de experimentación con un refuerzo discontinuo (clavos, segmentos de cable, ganchos) que se remontan a 1910 (*López, 2015*).

Probablemente el uso más extendido de las fibras como un componente más en materiales aglomerantes haya sido su uso en elementos como tejas o prefabricados de asbesto cemento. En este caso las fibras de asbesto le conferían al material el monolitismo y la resistencia a la tensión buscada, sin embargo por consideraciones de salud estas fibras de asbesto han sido sustituidas por otras de diferentes materiales que no tienen ningún efecto sobre la salud humana.

Para evitar las fisuras producidas en el concreto se ha incorporado diferentes materiales como el acero, polipropileno y fibra de vidrio. La utilización de estos materiales especiales tiene costos altos, para mejorar las características mecánicas del concreto, muchas veces las infraestructuras requieren fibras de diferente naturaleza para mejorar sus propiedades mecánicas, siendo la fibra de acero la más usada. En estos últimos años la fibra de plástico está siendo usada pero su adquisición es muy costosa ya que son polímeros con alta resistencia a la tensión, elaborados en fábricas especializadas.

Por otro lado, el plástico constituye no solamente gran parte de los productos que se consumen hoy en día, sino que además es uno de los materiales que más se desecha en el planeta, gran parte de ellos se observa flotando en las playas de las zonas costeras, acarreado toda una serie de problemas ambientales debido a la contaminación, además de que afectan el paisaje natural, toneladas de basuras son arrastradas por las corrientes marinas hasta una trampa en el Pacífico (*Maronese, 2012*).

Según estadísticas publicadas a comienzos del 2011, en el mundo se producen anualmente alrededor de 245 mil toneladas de plástico, la cifra es altísima, producto de la increíble demanda que tiene este material a su bajo costo de producción y gran durabilidad, pero lo más increíble es que actualmente solo se recicla el 5% en todo el mundo (*Maronese, 2012*).

Según ACOREMAE¹ en el Perú: Se calcula que el 80% del plástico que llega a los océanos viene desde tierra y el restante 20% de plataformas marinas y barcos. Los plásticos que llegan al mar se foto degradan y se van desintegrando en pedazos cada vez más pequeños, llegando con el paso del tiempo a niveles moleculares. Estos diminutos pedazos de polímeros actúan como una especie de “esponja química” pudiendo concentrar los más dañinos contaminantes que se encuentran en los océanos como hidrocarburos y pesticidas como el DDT. Al ser consumidos estos restos por pequeñas especies marinas, los contaminantes entran a la cadena alimenticia y generan daños que llegan hasta nosotros, los humanos, al comer productos del mar.

El tereftalato de polietileno (PET) que es la materia prima utilizada para la realización de botellas; nace en el año 1941, y desde entonces año con año se consumen millones de toneladas; lo que representa un problema para el medio ambiente, pues solo se recicla un 20%. Los plásticos utilizados en la

¹ ACOREMAE “Áreas Costeras y Recurso Marino”, Asociación Civil sin Fines de Lucro, comprometido con la conservación marina.

industria y la vida cotidiana son productos con una limitada capacidad de autodestrucción, quedando como residuos por muchos años; donde el plástico y sus derivados tardan hasta 500 años en degradarse (Zavala, 2015).

La ciudad del Cusco, tiene al año 2004 una población aproximada de 353 mil habitantes que producen 330 TM/día de residuos sólidos, de los cuales se deja de recoger alrededor del 30%, los que son arrojados a los causes de los ríos, quebradas, y terrenos baldíos, constituyendo botaderos clandestinos a cielo abierto (Equipo Técnico-PIGARS, 2004).

El problema de los residuos sólidos en la provincia del Cusco, afecta a todas las actividades humanas y espacios físicos, existiendo una creciente necesidad de implementar una adecuada gestión que permita minimizar los efectos de contaminación. El crecimiento acelerado de la población y la desordenada ocupación urbana en los últimos años, han originado un alto grado de contaminación por residuos sólidos, agravado por los deficientes sistemas de recolección, transporte y disposición final en la provincia (Equipo Técnico-PIGARS, 2004).

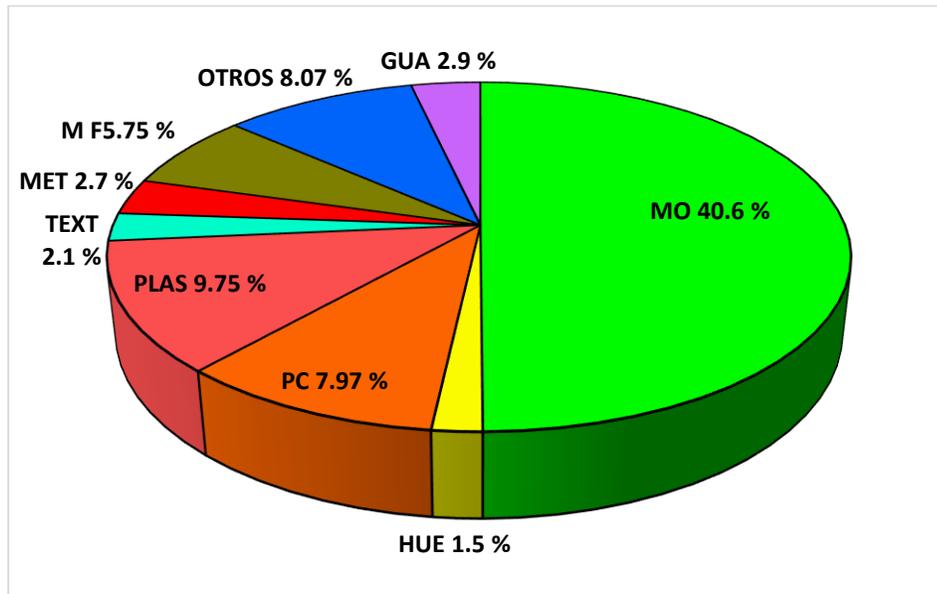
TABLA 1 Composición de los Residuos Sólidos Provincia de Cusco

| Componente | Porcentaje por Distrito | | | | | | | |
|------------------|-------------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| | CUSCO | WANCHAQ | SAN SEBASTIAN | SANTIAGO | SAN JERONIMO | SAYLLA | POROY | PROM |
| Materia Orgánica | 52.23 | 51.40 | 44.49 | 57.35 | 28.53 | 13.33 | 37.21 | 40.60 |
| Huesos | 0.63 | 2.57 | 1.18 | 1.71 | 2.23 | 1.86 | 0.78 | 1.50 |
| Papeles y Cartón | 12.66 | 10.06 | 6.57 | 6.67 | 7.83 | 8.25 | 3.57 | 7.97 |
| Plásticos | 16.92 | 11.42 | 10.09 | 8.54 | 6.46 | 10.56 | 4.28 | 9.75 |
| Textiles | 2.06 | 2.27 | 3.44 | 1.09 | 4.74 | 0.74 | 0.46 | 2.10 |
| Metales | 2.35 | 2.26 | 2.96 | 2.01 | 4.74 | 2.38 | 2.30 | 2.70 |
| Vidrios | 1.76 | 3.04 | 0.97 | 1.33 | 3.77 | 5.03 | 2.53 | 2.60 |
| Madera y follaje | 1.49 | 6.92 | 2.47 | 2.16 | 7.44 | 17.28 | 2.64 | 5.75 |
| Otros | 8.07 | 6.64 | 25.80 | 17.88 | 34.28 | 40.57 | 37.24 | 24.13 |
| Guano | 1.83 | 3.43 | 10.87 | 1.26 | 0.00 | 0.00 | 9.02 | 2.90 |
| Total | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 |

Fuente: Elaboración Equipo Técnico-PIGARS², 2004.

² PIGARS, "Plan Integral de Gestión Ambiental de Residuos Sólidos"

GRAFICO 1 Residuos Sólidos Producido en la ciudad del Cusco



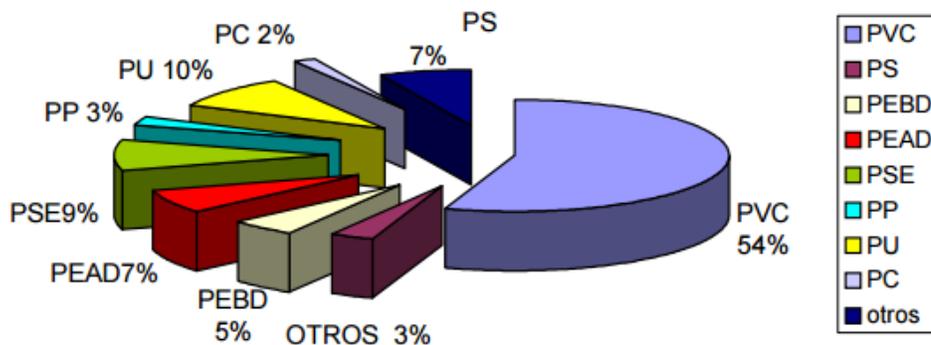
Fuente: Elaboración Equipo Técnico-PIGARS, 2004.

Como muestra en el cuadro, el plástico es uno de los residuos sólidos que se producen más en la provincia de Cusco, siendo el distrito de Cusco con 16.9 % el que más produce desechos de plástico. El promedio total de residuos de plástico que se desecha en la basura es de 9.75%, considerando que se produce aproximadamente 330 TM de basura, el peso en toneladas de residuos plásticos es de 26.3 TM producidas en la provincia en comparación con otros residuos sólidos (Equipo Técnico-PIGARS, 2004).

Al rededor de 300 empresas fabrican en España materiales plásticos destinados al sector de la construcción. El tipo de plástico más utilizado en el sector de la construcción es el Policloruro de Vinilo o PVC con un consumo de 317,735 Tm. en 2001, lo que representa el 54% de todos los plásticos empleados en este sector. A más distancia está el Polietileno con un 12%, y el Poliuretano con un 10%. En la actualidad, la industria europea de la construcción utiliza más de 5 millones de toneladas anuales de plásticos, ya que prácticamente todos los edificios construidos a partir de 1950 contienen

plásticos en tuberías, ventanas, tejados, suelos, revestimiento de cables, conducciones y aislamientos (*PLASTIVIDA*³, 2012).

GRAFICO 2 Consumo de plástico en el sector de la construcción en Europa Occidental



Fuente: APME⁴, 1995.

En el gráfico se tiene:

PEAD = Polietileno de alta densidad
 PVC = Policloruro de vinilo
 PEBD = Polietileno de baja densidad

PP = Polipropileno
 PS = Poliestireno
 PSE = Poliestireno expandido
 PC = Policarbonato
 PU = Poliuretano.

El plástico es visto como un problema ambiental, pero en estos últimos años la ingeniería está intentando contribuir en la reducción y el aprovechamiento de los residuos sólidos que se producen dentro y fuera de las construcciones, en muchos países se observa la utilización de residuos de construcción reusados, así como también el aprovechamiento del plástico en sus diversas clases, como es el PVC, PET y otros, se utiliza como fibra.

³ PLASTIVIDA, "Instituto Sócio Ambiental Plástico".

⁴ APME, "Asociación de Plásticos Manufacturado en Europa "

1.2. DELIMITACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

1.2.1. Espacial

El desarrollo de la investigación se llevó a cabo en la ciudad del Cusco, Provincia y Departamento de Cusco. Los agregados utilizados fueron de las canteras de Huambutio de la provincia de Quispicanchi.

Las condiciones de diseño serán según al clima que ofrece la ciudad del Cusco al momento de la elaboración de las briquetas. Al mismo tiempo se trabajó en las instalaciones de la planta Concretera MIXER CUSCO.

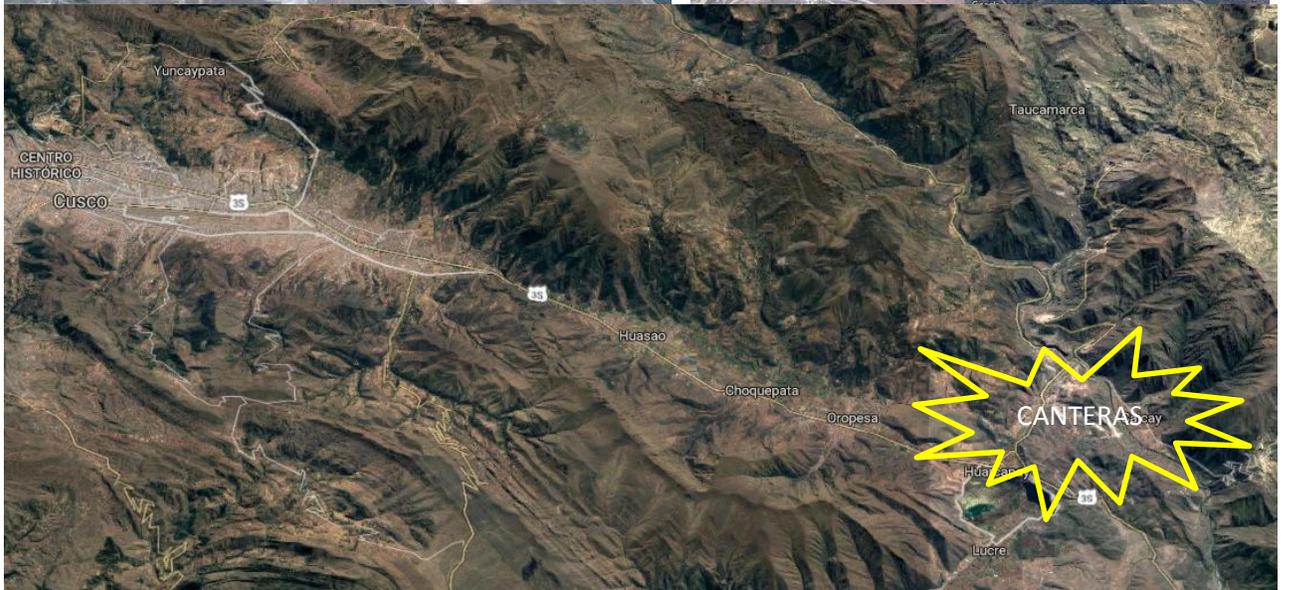
1.2.2. Temporal

El trabajo de investigación tuvo una duración de 5 meses, en un periodo comprendido entre Junio a Octubre del 2016.

1.2.3. Científica

El tema de investigación tratado tiene como base al área de materiales de construcción; que comprenderá la elaboración de un concreto $f'c$ 210 kg/cm² reforzado con fibras de PET, para luego analizar la resistencia a la compresión simple. Todo el procedimiento se realizara dentro del margen establecido por la Norma.

1.3. ÁREA DE ESTUDIO



1.4. FORMULACION DEL PROBLEMA

1.4.1. Problema General

El concreto presenta muchas fisuras a temprana edad, reduciendo de alguna manera sus propiedades mecánicas y por ende reduciendo el tiempo de uso de la estructura. Este problema afecta a los proyectos en los cuales se usa el concreto masivamente (pavimentos, muros de contención, canales, etc.) al fisurarse días después del vaciado se tendrá que dar tratamiento a dichas fisuras generando gastos adicionales al proyecto, es por eso que desde hace muchos años la ingeniería a estudiado distintos materiales que permitan mejorar el comportamiento del concreto; entre estos materiales se tiene, las fibras de acero, polipropileno, fibra de vidrio, y por ultimo las fibras de plástico que son la última novedad en cuanto a productos que pueden ser usados para reducir las fisuras del concreto. De ahí que se propone al PET reciclado como una alternativa más para mejorar la resistencia del concreto. Por lo cual nos preguntamos:

¿Cómo las fibras de tereftalato de polietileno (PET) mejoran la resistencia a la compresión del concreto $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$?

1.4.2. Problema Específico

- ¿Cuál será la resistencia máxima alcanzada del $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ con la incorporación de fibras de PET?
- ¿Cuál será la mejor proporción de fibras de PET, incorporadas para mejorar la resistencia a compresión del $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$?
- ¿Cuál es la característica más común que ofrecen la rotura de briquetas reforzadas con fibras de PET?

1.5. OBJETIVOS DE INVESTIGACIÓN

1.5.1. Objetivo General

Determinar si las fibras de tereftalato de polietileno (PET) mejoran la resistencia a compresión del concreto $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$.

1.5.2. Objetivo Especifico

1. Determinar la resistencia máxima alcanzada del concreto $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$, con la incorporación de fibras de PET a partir de ensayos a compresión simple.
2. Determinar la mejor proporción de fibras de PET, incorporadas al concreto $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ para mejorar la resistencia a compresión.
3. Identificar la característica más común que ofrece la rotura de briquetas reforzadas con fibras de PET.

1.6. JUSTIFICACIÓN DE INVESTIGACIÓN

1.6.1. Justificación

El trabajo de investigación realizado se justifica en la necesidad de mejorar la calidad y la resistencia a compresión simple del concreto $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$, material manufacturado más usado en la industria de la construcción.

El concreto en muchos casos presenta fisuras a una temprana edad, reduciendo así las propiedades mecánicas de este, la gran mayoría de estructuras están sometidas a compresión y atracción por lo cual se ve la necesidad de mejorar el comportamiento del concreto frente a dichos esfuerzos, para lo cual se propone mediante el presente trabajo de investigación adicionar las fibras del PET como una solución más para mejorar el comportamiento del concreto.

1.6.2. Originalidad

El presente trabajo de investigaciones es original por cuanto no sé ha desarrollado ningún trabajo de investigación sobre las fibras de plástico reciclado utilizadas con fibras que refuercen las propiedades mecánicas del concreto $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ para el ámbito local.

1.6.3. Pertinencia

Se aplica:

- En estructuras
- En Pavimentos

1.6.4. Relevancia

a. En lo teórico

Servirá como base de información para ampliar los conocimientos de otros materiales usados como fibras para mejorar las propiedades mecánicas del concreto, materiales como el PET que se encuentran al alcance de todo.

b. En lo práctico

Permitirá mejorar la calidad del concreto $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ utilizando las fibras obtenidas a través del PET reciclado, material de desecho que se produce en cantidad en la provincia del Cusco, permitiendo reducir los costos que con lleva la utilización de fibras industriales.

c. En lo metodológico

La investigación es un instrumento importante para mejorar las técnicas y ampliar los conocimientos e innovar, permitiendo a todas las ciencias y la ingeniería contribuir en el desarrollo de nuevas tecnologías para mejorar la calidad del concreto y reducir los costos que esta con lleva.

1.6.5. Oportunidad

Es oportuno el presente trabajo de investigación porque permitirá mejorar las propiedades mecánicas del concreto hidráulico más usado en el ámbito local, permitiendo reducir los costos que genera realizar esta mejora con fibras otra naturaleza

1.6.6. Factibilidad

Es factible por que se cuenta con información sobre la utilización del plástico como material para mejorar la capacidad de resistencia mecánica de materiales utilizados en la sub rasante en pavimentos.

CAPITULO II HIPÓTESIS Y VARIABLES

2.1. HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN

2.1.1. Hipótesis general

El uso de las fibras de tereftalato de polietileno (PET), mejora la resistencia a compresión del $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$, utilizando materiales de las canteras de Hatun Rumiyoc y Córdova (Huambutio).

2.1.2. Hipótesis específicas

- Al utilizar las fibras de tereftalato de polietileno (PET) se mejora la resistencia a compresión del concreto $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$.
- La mejor proporción de fibras incorporadas al concreto $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$, estarán en el rango 1 kg/m^3 a 5 kg/m^3 .
- La característica más común en la rotura de briquetas incorporadas con fibras de PET es la ductilidad.

2.2. VARIABLES

2.2.1. Variable independiente

De la hipótesis general: Fibras de Plástico

2.2.2. Variable dependiente

De la hipótesis general y específica: El concreto $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$

CAPITULO III METODOLOGÍA

3.1. Metodología de la investigación

3.1.1. Tipo de investigación

El presente trabajo de investigación titulado “MEJORAMIENTO DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DEL CONCRETO $f'c= 210 \text{ kg/cm}^2$ REFORZADO CON FIBRAS TEREFALATO DE POLIETILENO (PET), UTILIZANDO MATERIALES DE LAS CANTERAS DE HATUN RUMIYOC Y CÓRDOVA (HUAMBUTIO)”, es una “Investigación Aplicativa”, porque intenta resolver un el problema planteado en la investigación. Teniendo en cuenta el estado del arte con respecto al concreto.

3.1.2. Nivel de investigación

El trabajo de investigación tiene un “Nivel Experimental”, porque responderá a la pregunta ¿Qué mejoras se logra en el concreto $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$ adicionando las fibras de PET?, ¿Cuál es la proporción de PET adecuada para mejorar la resistencia a compresión del concreto?

3.1.3. Método

La metodología será Hipotética- Deductiva; porque se ha planteado una hipótesis que se demostrara a través de medidas o deducciones que se realizaran en laboratorio.

3.2. POBLACIÓN Y MUESTRA DE LA INVESTIGACIÓN

3.5.1. Unidad de estudio

La población de estudio son las briquetas de Concreto simple con la adición de fibras de Tereftalato de Polietileno.

3.5.2. Muestra de estudio

La muestra de estudio son las 84 briquetas elaboradas y sometidas a roturas, a los 3, 7, 14 y 28 días de curado.

3.3. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

3.3.1. Técnicas

La técnica que se usó en la investigación es la recolección de datos.

3.3.2. Instrumentos

- Los formatos de recolección de datos para cada uno de los ensayos de laboratorio que se usaran.
- Equipos e instrumentos utilizados para evaluar las unidades de estudio.

CAPÍTULO IV MARCO TEÓRICO

4.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

Según **Rodríguez J. 2013**, en su trabajo titulado “ANÁLISIS COMPARATIVO DEL EFECTO DE LOS DISTINTOS TIPOS DE FIBRAS EN EL COMPORTAMIENTO POST FISURA DEL HORMIGÓN REFORZADO CON FIBRAS” indica que, los hormigones y morteros de cemento tienen como característica principal su elevada resistencia a compresión, pero escasa resistencia a tracción. Dichos hormigones y morteros son reforzados con armaduras convencionales de acero para soportar esfuerzos de tracción, generando un refuerzo continuo de gran efectividad y utilidad en la construcción de estructuras para edificación y obra civil.

Mediante el avance progresivo de la tecnología se ha logrado crear una gran cantidad de materiales sintéticos, siguiendo la idea de reforzar los materiales constructivos, similar a la observada en el adobe, y así dar refuerzo discontinuo a hormigones y morteros. Las cantidades por volumen usadas de fibras en el hormigón varían dependiendo del tipo de fibra y de la finalidad del hormigón.

Las fibras son elementos de corta longitud y pequeña sección que se incorporan a la masa del hormigón a fin de conferirle ciertas propiedades específicas. De una manera general se pueden clasificar como fibras estructurales, aquellas que proporcionan una mayor energía de rotura al hormigón en masa o fibras no estructurales, a aquellas que sin considerar en el cálculo esta energía suponen una mejora ante determinadas propiedades como por ejemplo el control de la fisuración por retracción, incremento de la resistencia al fuego, abrasión, impacto y otros.

Concluye su investigación indicando que; El hormigón reforzando con fibras, se está utilizando cada día más, la resistencia a la compresión del hormigón aumenta su resistencia y cambia el comportamiento del concreto.

Irías A. 2013, en su trabajo de investigación titulado “REFUERZO DE ELEMENTOS ESTRUCTURALES CON HORMIGONES CON FIBRAS O SOLO FIBRAS” refiere que, el hormigón es un material moldeable y con buenas propiedades mecánicas y durabilidad, y aunque resiste tensiones y esfuerzos de compresión apreciables tiene una resistencia a la tracción muy reducida. Por eso se usa combinado con acero, que cumple la misión de absorber las tensiones de tracción que aparecen en la estructura. Una vez fisurado un elemento estructural, la solución, en muchos casos, es engorrosa requiere consultar a expertos, genera reclamaciones e implica adelantar reparaciones que demanda tiempo y dinero. Después de llevar acabo la experiencia de trabajar con fibras de distinta naturaleza indica que, las fibras producen mejora en el hormigón, siempre en función al tipo de fibra, la incorporación de fibras modifica el comportamiento no lineal del hormigón estructural, especialmente en tracción impidiendo la abertura y propagación de fisuras.

Para **Zavala G. 2015**, en su tesis titulado “DISEÑO Y DESARROLLO EXPERIMENTAL DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN UTILIZANDO PLÁSTICO RECICLADO” indica que, el siguiente documento presenta la investigación realizada sobre el diseño de mortero hidráulico para construcción, elaborado con la mezcla de cemento portland, arena, agua y PET (tereftalato de polietileno, plástico con la que se elaboran los envases plásticos de las botellas de jugos, agua y gaseosa), dicha mezcla pretende ser un modelo para implementarlo como un nueva tendencia en la construcción; considerando al mismo tiempo la utilización de un material no biodegradable que es desechado y que genera una alta contaminación ambiental. Al mismo tiempo la investigación pretende el desarrollo de una construcción más

sostenible, buscando mantener el potencial y capacidad de cubrir las necesidades actuales y futuras de la sociedad. Concluye su investigación afirmando que; Los elementos creados con cemento y PET en proporción 1.0:0.50, tiene un peso específico de 1.22gr/cm³; que es entre un 15% y 20%, menor que los creados con cemento y arena; Los elementos creados con cemento y PET en proporción 1.0:0.50, tiene una resistencia a la compresión de 62.66kg/cm²; que equivale a un promedio del 40% menos que la que tienen los creados con cemento y arena; por lo que su uso se limita a espacios de circulación peatonal y por ultimo indica que; La utilización de esta tecnología a base de plástico reciclado contribuye al proceso de disposición final de los residuos plásticos contaminantes, lo que ayuda a minimizar el impacto ambiental; reduciendo la cantidad de botellas que actualmente se acumulan o entierran y minimizando al mismo tiempo los gastos en recolección y disposición final de residuos

Cahuinca C. 2016, en la tesis desarrollada titulada “EVALUACION DEL VALOR DE LA RESISTENCIA MECANICA DE LAS CANTERAS ANAHUHUARQUE Y PATAPATA DE LA CIUDAD DEL CUSCO CON LA ADICION DE FILAMENTOS DE TEREFTALATO DE POLIETILENO (PET) PARA MEJORAMIENTO DE SUB BASE” sustenta que, el comportamiento que puede tener el Tereftalato de polietileno (PET) al usarla como aditivo para estabilizar y mejorar los suelos frente a las sollicitaciones de carga presentes en la estructura del pavimento como es la Sub base, que es la capa en la que se enfocaron los diferentes ensayos realizados a los suelos de nuestra de las canteras de Anhuarque (Saylla) y Patapata (San Jerónimo) en Cusco.

Se realizó ensayos agregando filamentos de PET en las proporciones de 0.25, 0.30, 0.40, 0.45, y 0.50 %, en los cuales se controlaron y calcularon las variaciones en la densidad seca, que es la máxima y el índice de resistencia CBR. Concluyendo que, el incremento del CBR es directamente proporcional a la dosificación de 0.25, 0.30 y 0.35% de PET.

4.2. BASES TEÓRICAS

Según **Abanto F. (1998)**, en su libro “TECNOLOGIA DEL CONCRETO”, define al concreto como un material moldeable a temperaturas ambiente, lo que permite adecuarse a distintas formas, presenta elevada resistencia a la compresión y gran capacidad de adherencia a la tracción. Tiene un comportamiento elástico y plástico que puede ser aprovechado en situaciones especiales. Es incombustible, económico, sus insumos son nacionales y requiere de mano de obra especializada.

Para **Gutiérrez L. (2003)**, en el libro “EL CONCRETO Y OTROS MATERIALES PARA LA CONSTRUCCION”, Los agregados constituyen un factor determinante en la economía, durabilidad y estabilidad en las obras civiles, pues ocupan allí un volumen muy importante. Por ejemplo el volumen de los agregados en el concreto hidráulico es de un 65% a 85%, en el concreto asfáltico es del 92% al 96%, en los pavimentos del 75% al 90%.

SIKA SAC. (2014), en el catálogo, “CONCRETO REFORZADO CON FIBRAS”, Las fibras están destinadas a evitar la fisuración del concreto en estado fresco o antes de las 24 horas. Se dosifican en el concreto para volúmenes entre 0.03% a 0.15% del mismo. Las más frecuentes son las fibras en polipropileno cuya dosificación en peso oscila entre 0.3 a 1.2 kg/m³ de concreto. Se trata de dosificaciones extremadamente bajas pero muy eficientes que previenen la fisuración del concreto por retracción plástica. Estas fibras tienen diámetros entre 0.023 mm a 0.050 mm, pueden ser monofilamento o fibriladas. Las microfibras al tener diámetros tan pequeños se califican con un parámetro denominado Denier. Denier es el peso en gramos de 9 metros de una sola fibra.

4.3. MARCO CONCEPTUAL

4.3.1. Concreto

El concreto es un material compuesto por partículas de material granular grueso (agregados minerales o rellenos) embebidos en una matriz dura de material (cemento o ligante) que llena los espacios vacíos entre las partículas y burbujas manteniéndolas juntas (1).

4.3.2. Propiedades del concreto

Las propiedades del concreto son sus características o cualidades básicas. Las cuatro propiedades principales del concreto son: Trabajabilidad, cohesividad, resistencia y durabilidad. Las características del concreto pueden variar en un grado considerable, mediante el control de sus ingredientes (USP, 2004).

El concreto en estado fresco se considera desde el momento de mezcla con sus componentes hasta que fragua el cemento (Rivera, 2014).

El comportamiento del concreto fresco depende:

a) Trabajabilidad

Es la facilidad que tiene el concreto para ser mezclado, manipulado y puesto en obra, con los medios de compactación del que se disponga (Rivera, 2014).

b) Consistencia

Denominada consistente a la mayor o menor facilidad que tiene el concreto fresco para deformar o adaptarse a una forma específica (Rivera, 2014).

La consistencia depende de:

- Agua de amasado
- Tamaño máximo del agregado
- Granulometría

- Forma de los agregados (influye mucho el método de compactación).

c) Compacidad

Es la relación entre el volumen real de los componentes del concreto y el volumen aparente del concreto. No se tienen en cuenta el aire ocluido (Rivera, 2014).

d) Segregación

Descomposición mecánica del concreto fresco en sus partes constituyentes cuando el agregado grueso tiende a separarse del mortero (USP, 2004).

e) Exudación

Vienen a ser la elevación de una parte de la mezcla hacia la superficie, generalmente debido a la sedimentación de sólidos. El proceso se inicia momentos después que el fraguado de la mezcla, se obtiene máxima consolidación de sólidos, o se produce la ligazón de las partículas (USP, 2004).

Después de que concreto ha fraguado empieza a ganar resistencia y se endurece. Las propiedades del concreto endurecido son resistencia y durabilidad (USP, 2004).

a) Resistencia mecánica

La resistencia a la compresión se puede definir como la máxima resistencia medida de un espécimen de concreto o de mortero a carga axial. Generalmente expresada en kilogramo cuadrado (kg/cm²) a una edad de 28 días se le designa como el **f[′]c**. para determinar la resistencia a la compresión, se realiza pruebas de concreto (Rivera, 2014).

b) Durabilidad

El concreto debe ser capaz de resistir la intemperie, acción de productos químicos y desgaste, a los cuales estará sometido en el servicio. Gran parte de los daños por sufridos por el concreto pueden atribuirse a los ciclos de congelación y descongelación. La resistencia del concreto a esos daños puede mejorarse aumentando la impermeabilidad incluyendo de 2 a 6% de aire con un agente inyectante de aire, o aplicando un revestimiento protector a la superficie (*Rivera, 2014*).

c) Impermeabilidad

El concreto es un sistema y nunca va a ser totalmente impermeable. Se entiende por permeabilidad a la capacidad que tiene un material de dejar pasar a través de sus poros un fluido. Para lograr una mayor impermeabilidad se pueden utilizar aditivos impermeabilizantes así como mantener una relación agua cemento muy baja (*Rivera, 2014*).

4.3.3. Clasificación del concreto

a) Por el peso específico

- Ligero, cuyo Peso Unitario se encuentre entre 1200 – 2000 Kg/m³.
- Normal, cuyo Peso Unitario se encuentre entre 2000 – 2800 Kg/m³.
- Pesado, cuyo Peso Unitario se encuentre entre >2800 Kg/m³.

b) Según su Aplicación

- Simple: Concreto sin ninguna armadura. Buena resistencia a compresión.
- Armado: Con acero. Buena resistencia a compresión y a flexión.
- Pretensado: Resistencia a tracción: viguetas.
- Post tensado: Resistencia a tracción: se introducen fundas.

c) Por su Composición

- Ordinario.
- Ciclópeo: con áridos de 50 cm.
- Cascotes: Concreto de desechos y ladrillos.
- Inyectado: en un molde el agregado y le metemos la pasta árido >25 mm.
- Con aire incorporado: en el concreto se le inyecta aire >6% V.
- Ligero: $1,2 - 2 = 2 \text{ N/mm}^2$ Pesado: áridos de densidad muy grande.
- Refractario: resistente a altas temperaturas (cemento de aluminato cálcico), etc.

d) Por su Resistencia

- Convencional: 10% agua, 15% cemento, 35% arena, 40% grava.
- De alta resistencia: 5% agua, 20% cemento, 28% arena, 41% grava, 2% adiciones, 2% aditivos (*Sanchez y Tapia, 2015*).

4.3.4. Factores afectan el comportamiento compuesto del concreto

El comportamiento del compuesto en general más detalladamente. Para describir un sistema con una o más fases de dispersión (partículas) embutidas en una matriz continua, deben ser consideradas los siguientes parámetros:

- Distribución de tamaño de las partículas.
- Concentración y distribución de las partículas.
- Orientación de las partículas.
- Distribución espacial (o topología) de las partículas.
- Composición de la fase dispersa.
- Composición de la fase continua.
- Enlace entre las fases continuas y las dispersas.

4.3.5. Elementos que componen el concreto

4.3.5.1. Cemento

El cemento es un conglomerante formado a partir de una mezcla de caliza y arcilla calcinadas y posteriormente molidas, que tiene la propiedad de endurecerse al contacto con el agua.

Hasta este punto la molienda entre estas rocas es llamada clinker, esta se convierte en cemento cuando se le agrega yeso, este le da la propiedad a esta mezcla para que pueda fraguar y endurecerse. Mezclado con agregados pétreos (grava y arena) y agua, crea una mezcla uniforme, maleable y plástica que fragua y se endurece, adquiriendo consistencia pétreo, denominada concreto (en España, parte de Suramérica y el Caribe hispano) o concreto (en México y parte de Suramérica). Su uso está muy generalizado en construcción e ingeniería civil (*Sanchez F. y Tapia R. 2015*).

I. Tipos de cemento

a) Cemento Pórtland sin adición

Constituidos por Clinker pórtland y la inclusión solamente de un determinado porcentaje de sulfato de calcio (yeso). Aquí tenemos según las normas técnicas:

- Tipo I: Para usos que no requieren propiedades especiales de ningún otro tipo.
- Tipo II: Para uso general y específicamente cuando se desea moderada resistencia a los sulfatos o moderado calor de hidratación.
- Tipo III: Para utilizarse cuando se requiere altas resistencias iniciales.
- Tipo IV: Para emplearse cuando se desea bajo calor de hidratación.

- Tipo V: Para emplearse cuando se desea alta resistencia a los sulfatos (*Sanchez F. y Tapia R. 2015*).

b) Cemento Pórtland sin adición

Contienen además de Clinker portland y yeso, 2 o más constituyentes inorgánicos que se constituyen a mejorar las propiedades del cemento. (Ejem. Puzolanas, escorias granuladas de altos hornos, componentes calizos, sulfatos de calcio, incorporadores de aire). Aquí tenemos según normas técnicas:

- Cementos pórtland Puzolánicos (NTP 334.044).

4.3.5.2. Agregado

Se define como agregado al conjunto de partículas inorgánicas de origen natural o artificial cuyas dimensiones están comprendidas entre los límites fijados en la NTP 400.011.

- Los agregados son la fase discontinua del concreto y son materiales que están embebidos en la pasta y que ocupan aproximadamente el 75% del volumen de la unidad cúbica de concreto (*Sanchez F. y Tapia R. 2015*).

Como conceptos de caracterización física de los agregados tenemos:

- Tamaño Máximo: Corresponde al menor tamiz por el que pasa toda la muestra de agregado.
- Tamaño Nominal Máximo: Corresponde al menor tamiz en el cual se produce el primer retenido
- Módulo de Fineza: Criterio Establecido en 1925 por Duff Abrams a partir de las granulometrías del material se puede intuir una fineza promedio del material utilizando la siguiente expresión:

$$MF = \frac{\Sigma \% \text{ Acumulados Retenidos } (1\frac{1}{2} \text{ ", } \frac{3}{4} \text{ ", } \frac{3}{8} \text{ ", } N^{\circ}4, N^{\circ}8, N^{\circ}16, N^{\circ}30, N^{\circ}50 \text{ y } N^{\circ}100)}{100}$$

I. Clasificación de los Agregados

a) Por su Naturaleza

Los agregados pueden ser naturales o artificiales, siendo los naturales de uso frecuente, además los agregados utilizados en el concreto se pueden clasificar en: agregado grueso, fino y concreto (agregado global).

- *El agregado fino*: se define como aquel que pasa el tamiz 3/8" y queda retenido en la malla N° 200, el más usual es la arena producto resultante de la desintegración de las rocas.
- *El agregado grueso*, es aquel que queda retenido en el tamiz N°4 y proviene de la desintegración de las rocas; puede a su vez clasificarse en piedra chancada y grava (*Sanchez F. y Tapia R. 2015*).

b) Por su Densidad

Se pueden clasificar en agregados de peso específico normal comprendidos entre 2.50 a 2.75, ligeros con pesos específicos menores a 2.5, y agregados pesados cuyos pesos específicos son mayores a 2.75.

c) Por el Origen, Forma y Textura Superficial

Por naturaleza los agregados tienen forma irregularmente geométrica compuestos aleatoriamente por caras redondeadas y angularidades.

En términos descriptivos la forma de los agregados puede ser:

- Angular: Cuyos bordes están bien definidos y formado por la intersección de sus caras (planas) además de poca evidencia de desgaste en caras y bordes.
- Sub angular: Evidencian algo de desgaste en caras y bordes, pero las caras están intactas.
- Sub redondeada: Considerable desgaste en caras y bordes.

- Redondeada: Bordes desgastados casi eliminados.
- Muy Redondeada: Sin caras ni bordes.

Respecto de la textura superficial estas pueden ser:

- Lisa
- Áspera
- Granular
- Vítrea
- Cristalina

d) Por el Tamaño del Agregado

Según su tamaño, los agregados para concreto son clasificados en:

- Agregados finos (arenas) y
- Agregados gruesos (piedras).

II. Clasificación de los Agregados

El agregado dentro del concreto cumple principalmente las siguientes funciones:

- Como esqueleto o relleno adecuado para la pasta (cemento y agua), reduciendo el contenido de pasta en el metro cúbico.
- Proporciona una masa de partículas capaz de resistir las acciones mecánicas de desgaste o de intemperismo, que puedan actuar sobre el concreto.
- Reducir los cambios de volumen resultantes de los procesos de fraguado y endurecimiento, de humedecimiento y secado o de calentamiento de la pasta.

Los agregados finos son comúnmente identificados por un número denominado “Módulo de finura”, que en general es más pequeño a medida que el agregado es más fino. La función de los agregados en el concreto es la de crear un esqueleto rígido y estable lo que se logra

uniéndolos con cemento y agua (pasta). Cuando el concreto está fresco, la pasta también lubrica las partículas de agregado otorgándole cohesión y trabajabilidad a la mezcla. Para cumplir satisfactoriamente con estas funciones la pasta debe cubrir totalmente la superficie de los agregados.

Si se fractura una piedra, se reducirá su tamaño y aparecerán nuevas superficies sin haberse modificado el peso total de piedra. Por la misma razón, los agregados de menor tamaño tienen una mayor superficie para lubricar y demandarán mayor cantidad de pasta. En consecuencia, para elaborar concreto es recomendable utilizar el mayor tamaño de agregado compatible con las características de la estructura.

III. Propiedades Físicas de los Agregados

- a) Densidad:** Depende de la gravedad específica de sus constituyentes sólidos como de la porosidad del material mismo. La densidad de los agregados es especialmente importante para los casos en que se busca diseñar concretos de bajo o alto peso unitario. Las bajas densidades indican también que el material es poroso y débil y de alta absorción.

- b) Porosidad:** La palabra porosidad viene de poro que significa espacio no ocupado por materia sólida en la partícula de agregado es una de las más importantes propiedades del agregado por su influencia en las otras propiedades de éste, puede influir en la estabilidad química, resistencia a la abrasión, resistencias mecánicas, propiedades elásticas, gravedad específica, absorción y permeabilidad.

- c) **Peso Unitario:** Es el resultado de dividir el peso de las partículas entre el volumen total incluyendo los vacíos. Al incluir los espacios entre partículas influye la forma de acomodo de estos. El procedimiento para su determinación se encuentra normalizado en ASTM C 29 y NTP 400.017. Es un valor útil sobre todo para hacer las transformaciones de pesos a volúmenes y viceversa. Por ejemplo para un agregado grueso pesos unitarios altos significan que quedan muy pocos huecos por llenar con arena y cemento.

- d) **Porcentaje de Vacíos:** Es la medida de volumen expresado en porcentaje de los espacios entre las partículas de agregados, depende del acomodo de las partículas por lo que su valor es relativo como en el caso del peso unitario.

- e) **Contenido de Humedad:** Es la cantidad de agua superficial retenida por la partícula, su influencia está en la mayor o menor cantidad de agua necesaria en la mezcla.

IV. Propiedades Mecánicas de los Agregados

- a) **Resistencia:** La resistencia de los agregados dependen de su composición textura y estructura y la resistencia del concreto no puede ser mayor que el de los agregados; Si los granos de los agregados no están bien cementados unos a otros consecuentemente serán débiles. La resistencia al chancado o compresión del agregado deberá ser tal que permita la resistencia total de la matriz cementante. La norma británica establece un método para medir la resistencia a la compresión de los agregados utilizando cilindros de 25.4mm de diámetro y altura.

b) Tenacidad: Esta característica está asociada con la resistencia al impacto del material. Está directamente relacionada con la flexión angularidad y textura del material.

c) Dureza: Se define como dureza de un agregado a su resistencia a la erosión abrasión o en general al desgaste. La dureza de las partículas depende de sus constituyentes.

Entre las rocas a emplear en concretos éstas deben ser resistentes a procesos de abrasión o erosión y pueden ser el cuarzo, la cuarcita, las rocas densas de origen volcánico y las rocas silicosas.

d) Módulo de Elasticidad: Es definido como el cambio de esfuerzos con respecto a la deformación elástica, considerándosele como una medida de la resistencia del material a las deformaciones. El módulo elástico se determina en muy inusual su determinación en los agregados sin embargo el concreto experimentara deformaciones por lo que es razonable intuir que los agregados también deben tener elasticidades acordes al tipo de concreto. El valor del módulo de elasticidad además influye en el escurrimiento plástico y las contracciones que puedan presentarse (1).

V. Propiedades Térmicos de los Agregados

a) Coeficiente de Expansión: Cuantifica la capacidad de aumento de dimensiones de los agregados en función de la temperatura, depende mucho de la composición y estructura interna de las rocas y varia significativamente entre los diversos tipos de roca.

En los agregados secos es alrededor de un 10% mayor que en estado parcialmente saturado. Los valores oscilan normalmente entre 0.9×10^{-6} a $8.9 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$.

- b) **Calor Específico:** Es la cantidad de calor necesaria para incrementar en un grado centígrado la temperatura. No varía mucho en los diversos tipos de roca salvo en el caso de agregados muy ligeros y porosos.
- c) **Conductividad Térmica:** Es la mayor o menor facilidad para conducir el calor. Está influenciada básicamente por la porosidad siendo su rango de variación relativamente estrecho. Los valores usuales en los agregados son de 1.1 a 2.7 BTU/ pie.hr. °F.
- d) **Difusividad:** Representa la velocidad con que se pueden producir cambios térmicos dentro de una masa. Se expresa como el cociente de dividir la conductividad entre el producto de calor específico por la densidad.

VI. Propiedades Químicas de los Agregados

- a) **Reacción Álcali-Sílice:** Los álcalis en el cemento están constituidos por el Óxido de sodio y de potasio quienes en condiciones de temperatura y humedad pueden reaccionar con ciertos minerales, produciendo un gel expansivo Normalmente para que se produzca esta reacción es necesario contenidos de álcalis del orden del 0.6% temperaturas ambientes de 30°C y humedades relativas de 80% y un tiempo de 5 años para que se evidencie la reacción.
- b) **Reacción Álcali-Carbonatos:** Se produce por reacción de los carbonatos presentes en los agregados generando sustancias expansivas, en el Perú no existen evidencias de este tipo de reacción.

VII. Normas y Requisitos de los Agregados para el Concreto

- a) **Granulometría:** Los agregados finos y grueso según la norma ASTM C-33, Y NTP 400.037 deberán cumplir con las GRADACIONES establecidas en la NTP 400.012, respectivamente.

TABLA 2 Requisitos Granulométricos para el Agregado Grueso

| Tamaño Nominal | % Pasa por los tamices normalizados | | | | | | | | | | | | |
|--------------------------------|-------------------------------------|---------------|--------------|---------------|--------------|-----------------|--------------|--------------|----------------|-----------------|-----------------|-----------------|------------------|
| | 100mm (4") | 90mm (3½") | 75mm (3") | 63mm (2½") | 50mm (2") | 37.5mm (1½") | 25mm (1") | 19mm (¾") | 12.5mm (½") | 9.5mm (3/8") | 4.75mm (Nº4) | 2.36mm (Nº8) | 1.18mm (Nº16) |
| 90 mm a 37.5 mm (3½" a 1½") | 100 | 90 a 100 | -- | 25 a 60 | -- | 0 a 15 | -- | 0 a 5 | -- | -- | -- | -- | -- |
| 63 mm a 37.5 mm (2½" a 1½") | -- | -- | 100 | 90 a 100 | 35 a 70 | 0 a 15 | -- | 0 a 5 | -- | -- | -- | -- | -- |
| 50 mm a 25 mm (2" a 1") | -- | -- | -- | 100 | 90 a 100 | 35 a 70 | 0 a 15 | -- | 0 a 5 | -- | -- | -- | -- |
| 50 mm a 4.75 mm (2" a Nº4) | -- | -- | -- | 100 | 95 a 100 | -- | 35 a 70 | -- | 10 a 30 | -- | 0 a 5 | -- | -- |
| 37.5 mm a 19 mm (1½" a ¾") | -- | -- | -- | -- | 100 | 90 a 100 | 20 a 55 | 0 a 15 | -- | 0 a 5 | -- | -- | -- |
| 37.5mm a 4.75mm (1½" a Nº4) | -- | -- | -- | -- | 100 | 95 a 100 | -- | 35 a 70 | -- | 10 a 30 | 0 a 5 | -- | -- |
| 25 mm a 12.5 mm (1" a ½") | -- | -- | -- | -- | -- | 100 | 90 a 100 | 20 a 55 | 0 a 10 | 0 a 5 | -- | -- | -- |
| 25 mm a 9.5 mm (1" a 3/8") | -- | -- | -- | -- | -- | 100 | 90 a 100 | 40 a 85 | 10 a 40 | 0 a 15 | 0 a 5 | -- | -- |
| 25 mm a 4.75 mm (1" a Nº4) | -- | -- | -- | -- | -- | 100 | 95 a 100 | -- | 25 a 65 | -- | 0 a 10 | 0 a 5 | -- |
| 19 mm a 9.5 mm (¾" a 3/8") | -- | -- | -- | -- | -- | 100 | 90 a 100 | 20 a 55 | 0 a 15 | 0 a 5 | -- | -- | -- |
| 19 mm a 4.75 mm (¾" a Nº4) | -- | -- | -- | -- | -- | 100 | 90 a 100 | -- | 20 a 55 | 0 a 10 | 0 a 5 | -- | -- |
| 12.5mm a 4.75mm (½" a Nº4) | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | 100 | 90 a 100 | 40 a 70 | 0 a 15 | 0 a 5 | -- |
| 9.5mm a 2.36mm (3/8" a Nº8) | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | 100 | 85 a 100 | 10 a 30 | 0 a 10 | 0 a 5 |

Fuente: Comisión de Reglamentos Técnicos y Comerciales-INDECOPI.

TABLA 3 Requisitos Granulométricos para el Agregado fino

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

Fuente: Comisión de Reglamentos Técnicos y Comerciales-INDECOPI.

Nota: Se permite el uso de agregados que no cumplan con las gradaciones especificadas, siempre y cuando existan estudios calificados a satisfacción de las partes, que aseguren que el material producirá concretos con la calidad requerida.

Además del tamaño máximo también es importante que la cantidad de granos de menor tamaño esté bien balanceada en la composición total del agregado. Los agregados con falta de esos tamaños tienen una mayor cantidad de espacios vacíos entre sus partículas y puestos en el concreto requerirán más cantidad de pasta.

b) Desgaste por Abrasión

El índice de desgaste de un árido está relacionado con su resistencia a la abrasión por medios mecánicos y también con la capacidad resistente de los concretos con él fabricados; cobra particular importancia en áridos empleados en concretos de pavimentos.

La norma Nch 1369.07 78 establece el procedimiento para determinar la resistencia al desgaste de las gravas de densidad real normal.

El método consiste en analizar granulométricamente un árido grueso, preparar una muestra de ensayo que se somete a abrasión en la

máquina de Los Ángeles y expresar la pérdida de material o desgaste como el porcentaje de pérdida de masa de la muestra con respecto a su masa inicial.

Procedimiento:

- Se determina la granulometría original de la muestra mediante tamizado y empleando la siguiente serie de tamices, en mm 80- 63- 50- 40- 25- 20 -12,5 -10-6,3-5-2,5. El material se deja separado en las fracciones correspondientes.
- Se elige el grado de ensayo más aproximadamente coincidente con la granulometría original de la muestra, lo que significa ensayar la mayor proporción posible del árido original. Para ello se considera la granulometría, expresada en porcentajes parciales retenidos en los tamices; se calcula la sumatoria de porcentajes parciales retenidos para cada grado del 1 al 7; y se elige el grado correspondiente a la mayor sumatoria.
- En caso que se trate de prospecciones de yacimientos o rocas y áridos sin selección ni tratamiento, se procesará la muestra a fin de componer la banda granulométrica adecuada al uso propuesto y elegir el grado de ensayo correspondiente a dicha banda granulométrica.

4.3.5.3. Agua

Es la relación de peso del agua con el cemento; tiene una influencia importante en la calidad del concreto producido. Una proporción menor de agua-cemento conduce a una mayor resistencia y durabilidad, pero puede hacer la mezcla más difícil de colocar, pero estas dificultades se pueden resolver mediante el uso de plastificante.

Pero entre más alta esta relación, el concreto se vuelve más trabajable, la relación agua cemento es independiente del contenido de cemento total (y el contenido total de agua) de una mezcla de concreto.

TABLA 4 Relación Agua/Cemento por Resistencia

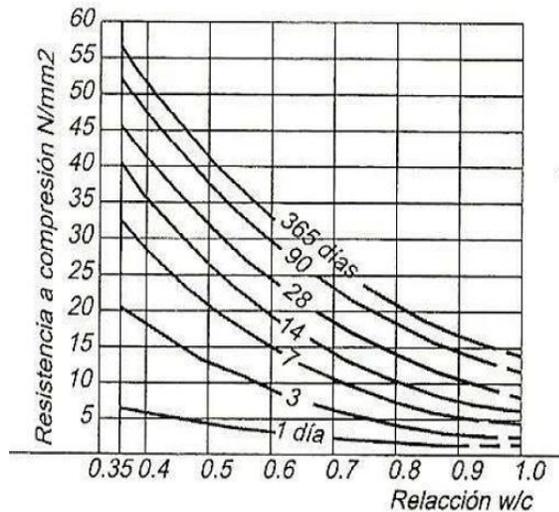
| f'c (Kg/cm ²) | Relación agua/cemento en peso | |
|------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|
| | Concretos sin aire incorporado | Concretos con aire incorporado |
| 150 | 0.80 | 0.71 |
| 200 | 0.70 | 0.61 |
| 250 | 0.62 | 0.53 |
| 300 | 0.55 | 0.46 |
| 350 | 0.48 | 0.40 |
| 400 | 0.43 | |
| 450 | 0.38 | |

Fuente: Comité 211 del ACI.

I. Influencia de la Relación Agua- Cemento

El concreto endurece como resultado de la reacción química entre el cemento y el agua conocida como la hidratación. Por cada 2 kilos de cemento, $\frac{1}{2}$ de agua se necesita para completar la reacción. Esto resulta en una relación agua/cemento de 1:4 o 25%. En realidad, una mezcla formada con un 25% de agua es demasiado seca y no conviene lo suficientemente bien como para ser colocado, ya que la parte del agua es absorbida por la arena y la piedra, y no está disponible para participar en la reacción de hidratación. Por lo tanto, más agua se utiliza, entonces es técnicamente necesario para reaccionar con el cemento. Más típico de agua/cemento de los coeficientes de 35% a 40% de sus ingresos, junto con un plastificante. El exceso de agua se traducirá en la solución y la segregación de la arena y piedra de los componentes (más de arena en la parte superior capas debido a que la piedra se asentarán en la parte inferior). Además, el agua que no es consumida por la reacción de hidratación que al final acabará abandonando el concreto, ya que se endurece, lo que resulta en poros microscópicos agujeros o que reduzca la fuerza final del concreto. A continuación se muestra el siguiente gráfico:

GRAFICO 3 Relación agua/ Cemento



Fuente: Comité 211 del ACI.

II. Requisitos de Calidad de agua

El agua que debe ser empleada en la preparación del concreto deberá cumplir con los requisitos de la Norma NTP 339.088 y ser, de preferencia potable. No existen criterios uniformes en cuanto a los límites permisibles para las sales y sustancias presentes en el agua que va a emplearse.

La Norma Peruana NTP 339.088 considera aptas para la preparación y curado del concreto, aquellas aguas cuyas propiedades y contenidos de sustancias disueltas están comprendidos dentro de los siguientes límites.

TABLA 5 Límites Permisibles de Partículas en Suspensión

| DESCRIPCIÓN | LÍMITE PERMISIBLE | | |
|---|-------------------|-----|--------|
| Sólidos en suspensión (residuo insoluble) | 5000 | ppm | Máximo |
| Materia Orgánica | 3 | ppm | Máximo |
| Alcalinidad (NaHCO ₃) | 1,000 | ppm | Máximo |
| Sulfatos (ión SO ₄) | 600 | ppm | Máximo |
| Cloruros (ión Cl ⁻) | 1,000 | ppm | Máximo |
| pH | 5 a 8 | ppm | Máximo |

Fuente: Comité 211 del ACI.

4.3.5.4. Aditivos

Los aditivos para el concreto (concreto) son componentes de naturaleza orgánica (resinas) o inorgánica, cuya inclusión tiene como objeto modificar las propiedades físicas de los materiales conglomerados en estado fresco. Se suelen presentar en forma de polvo o de líquido, como emulsiones.

Se pueden distinguir dos grupos principales de aditivos:

- Modificadores de la geología, que cambian el comportamiento en estado fresco, tal como la consistencia, docilidad, etc.
- Modificadores del fraguado, que adelantan o retrasan el fraguado o sus condiciones.

Los componentes básicos del Concreto son cemento, agua y áridos; otros componentes minoritarios que se pueden incorporar son: adiciones, aditivos, fibras, cargas y pigmentos.

Existen aditivos que incrementan la fluidez del concreto haciéndolo más manejable, los aditivos que aceleran el fraguado son especialmente diseñados para obras o construcciones donde las condiciones climáticas evitan un curado rápido.

Los aditivos retardantes son usados en lugares donde el concreto fragua rápidamente, especialmente en regiones con clima cálido o en situaciones donde el concreto debe ser transportado a grandes distancias; esto con la intención de manipular la mezcla por mayor tiempo.

De acuerdo con su función principal se clasifica a los aditivos para el concreto de la siguiente manera:

- **Aditivo reductor de agua/plastificante:** Aditivo que, sin modificar la consistencia, permite reducir el contenido de agua de un determinado concreto, o que, sin modificar el contenido de agua, aumenta el asiento (cono de Abrams)/escurrimiento, o que produce ambos efectos a la vez.

- **Aditivo reductor de agua de alta actividad/aditivo superplastificante:** Aditivo que, sin modificar la consistencia del concreto, o que sin modificar el contenido de agua, aumenta considerablemente el asiento (cono de Abrams)/ escurrimiento, o que produce ambos efectos a la vez.
Aditivo reductor de agua: Aditivo que reduce la pérdida de agua, disminuyendo la exudación.
- **Aditivo inclusor de aire:** Aditivo que permite incorporar durante el amasado una cantidad determinada de burbujas de aire, uniformemente repartidas, que permanecen después del endurecimiento.
- **Aditivo acelerador de fraguado:** Aditivo que reduce el tiempo de transición de la mezcla para pasar del estado plástico al rígido.
- **Aditivo acelerador del endurecimiento:** Aditivo que aumenta la velocidad de desarrollo de resistencia iniciales del concreto, con o sin modificación del tiempo de fraguado.
- **Aditivo retardador de fraguado:** Aditivo que aumenta el tiempo del principio de transición de la mezcla para pasar del estado plástico al estado rígido.
- **Aditivo hidrófugo de masa:** Aditivo que reduce la absorción capilar del concreto endurecido.
- **Aditivo multifuncional:** Aditivo que afecta a diversas propiedades del concreto fresco y/o endurecido actuando sobre más de una de las funciones principales definidas en los aditivos mencionados anteriormente.

4.3.5.5. Fibras utilizada en concreto

Es la combinación de concreto convencional con fibras sintéticas. Se fabrican de materiales tales como nylon, poliéster, polietileno y polipropileno, que al ser incorporadas ayudan a disminuir las fisuras por retracción plástica debido al secado del concreto en estado

plástico, generados por choques térmicos o cambios bruscos de temperatura (CEMEX, 2014).

A. Historia del concreto reforzado con fibra

El uso de fibras en la construcción no es un concepto nuevo, innumerables evidencias arqueológicas dan fe de que en Babilonia y Egipto las fibras vegetales se combinaron con mezclas de arcilla para fabricar elementos estructurales. Con el paso del tiempo esta técnica cayó en desuso, hasta que ya muy entrado el siglo XX se retomó, primero con un enfoque empírico y más tarde bajo la lente de la investigación.

Las fibras se han utilizado como refuerzo desde la antigüedad. Históricamente, los pelos de caballo se utilizaban en el mortero y la paja en ladrillos de barro. En la década de 1950 surge el concepto de materiales compuestos y el concreto reforzado con fibras fue uno de los temas de interés. A principios de 1900, las fibras de asbesto (amianto) se utilizaban en el concreto. Había una necesidad de encontrar un reemplazo para el amianto utilizado en materiales de construcción de concreto y otros, una vez que los riesgos para la salud asociados con la sustancia fueron descubiertos (López, 2015).

Durante años hubo un gran interés por el desarrollo de fibras sintéticas que trataran de copiar a las fibras naturales y cuya aplicación principal fue la fabricación de tejidos. Las fibras sintéticas han tenido una aplicación en el sector de la construcción más tardía. No obstante, las fibras metálicas sí han tenido una mayor presencia a lo largo de los años como adición a materiales de construcción (López, 2015).

I. Los primeros usos a las fibras

La primera patente de concreto reforzado con elementos metálicos se realizó en California en 1874 por A. Berard. Consistía en una piedra artificial que utilizaba acero granular procedente de desechos para el refuerzo del concreto. A partir de ese momento han aparecido numerosas patentes. En 1911 Graham utilizó por primera vez estas fibras para incrementar la resistencia y estabilidad del concreto reforzado convencional. Cabe destacar la patente de G. Martin en 1927, en California también, que describe la adición de alambres de acero rizados en el concreto empleado en tuberías (López, 2015).

Con el paso de los años, la forma de las fibras se va perfeccionando y en las patentes se emplean parámetros muy similares a los actuales para fibras de acero. Ejemplo de ello es la patente de G. Constantinesco (1954, Estados Unidos) que se refería al uso de fibras helicoidales y espirales para aumentar la resistencia a la fisuración y la absorción de energía en el concreto (López, 2015).

A partir de los años 50 se realizan numerosos trabajos de investigación sobre concretos reforzados con fibras de acero (las fibras metálicas son fundamentalmente de acero en sus variantes de bajo o medio contenido de carbono, acero inoxidable y de acero galvanizado). Entre los estudios realizados cabe destacar los de Romualdi, Batson y Mandel en 1963 (Fernández, 2003) (Rodríguez & Prado, 1984).

Con los estudios llevados a cabo por Romualdi en Estados Unidos, se puede decir que se inicia la verdadera investigación científica de las fibras cortas mezcladas en el concreto. En este momento sucede, de manera interesante, una diversificación mundial de las fibras a estudiar en su interacción con los concretos, basada fundamentalmente por las fibras que geográficamente se encuentren a disposición del hombre. Se

validan las ventajas relativas de cada fibra y se despierta el quehacer de muchos científicos como el inglés Swamy y el sueco Gram. Se retoman las fibras orgánicas (López, 2015).

A finales de los años 60's, se llevó a cabo en otros países una evaluación sistemática de las propiedades de ingeniería de las fibras naturales y de los compuestos formados por estas fibras con el cemento. Los resultados de las investigaciones encontraron que las fibras pueden ser usadas con éxito para fabricar materiales de construcción (López, 2015).

II. En la actualidad las fibras

En la década de los 70's en Estados Unidos se hicieron los primeros estudios e investigaciones dirigidos al uso del concreto consolidado con fibras sintéticas, las que desde entonces han sido elementos indispensables en la construcción de pisos industriales de alto desempeño, pavimentos, cubiertas para puentes, concretos lanzados para la estabilización de taludes, revestimientos de túneles, elementos estructurales prefabricados, bóvedas, etc.

Posteriormente, el desarrollo de proyectos de reforzamiento estructural con fibras de carbono, obedece a la investigación en el campo de las estructuras en los años ochenta (López, 2015).

El American Concrete Institute (ACI) en Estados Unidos crea el Comité 544 para el estudio, análisis y seguimiento de los Concreto Reforzados con Fibras (FRC, por sus siglas en inglés) y el Comité 549 para el Ferrocemento. En Europa aparecen grupos de estudios, a principios de los años 90 para el análisis del comportamiento estructural en conglomerados cementicios reforzados con fibras y se trata de

normalizar el empleo de los concretos reforzados con fibras (López, 2015).

Las convenciones del ACI en Atlanta (Febrero de 1989) y San Diego (Noviembre de 1989) analizan los resultados presentados por los Comités 544 y 549 y sale a la luz la publicación especializada “Thin-Section Fiber Reinforced Concrete and Ferrocement”, recopilada por J. I. Daniel y S. P. Shah como primer, concreto y loable empeño, de confrontación científica de la labor realizada con fibras sintéticas, fibras de vidrio, fibras de acero, ferrocemento y otras secciones compuestas. A su vez la Universidad Federal de Bahía, Brasil, organiza en 1990 el Segundo Symposium sobre Plantas Vegetales y sus Fibras como Material de Construcción, donde con un sentido dirigido más hacia los países pobres se analizan las propiedades de los materiales compuestos con fibras vegetales, las construcciones realizadas con el empleo de materiales compuestos con fibras, madera, secciones completas de plantas y desperdicios orgánicos. Punto de despegue para el debate público especializado de lo realizado sobre los tópicos denominados Natural Fibres Reinforced Concrete (NFRC, por sus siglas en inglés) (López, 2015).

En los últimos años, el análisis y debate del empleo de los Concretos Reforzados con Fibras (CRF) ha ganado en actualidad y está presente, por derecho propio, en los foros nacionales e internacionales del sector de la construcción.

B. Tipo de fibras utilizadas

Por el material que lo componen se clasifica en:

a) Fibras metálicas

Secciones discretas de metal que tienen una relación de aspecto (relación entre la longitud y el diámetro) que va desde 20 hasta 100.

Estas fibras son de acero (en general de bajo contenido de carbón) (CEMEX).

b) Fibras sintéticas

Secciones discretas que se distribuyen aleatoriamente dentro del concreto que pueden estar compuestas por Acrílico, Aramid, Carbón, Polipropileno, Poliestileno, Nylon, Poliester etc (CEMEX, 2014).

- Fibra Polipropileno: es de tipo monofilamento, no fibrilada, totalmente orientada, con un perfil que permite anclarla a la matriz cementicia.
- Fibra de Nylon: tiene como característica principal, su habilidad para absorber agua, lo cual ayuda de manera importante a la adherencia a la matriz de concreto.
- Macrofibras estructurales (grandes y gruesas): pueden ser utilizadas para proveer una resistencia equivalente post agrietamiento al refuerzo convencional.

c) Fibras de vidrio

Es un material de la ingeniería considerada como compuesto. La resistencia de fibra de vidrio de diámetro pequeño esta combinado con la ductilidad de la matriz polimérica. La composición entres dos componentes proporciona un producto superior a cualquier de los componentes solos. Otros, como el concreto, incluyen diferentes componentes de un tipo de material (Morales, 2008).

d) Fibras naturales

Secciones discretas de origen como coco, sisal, madera, caña de azúcar, yute, bambú, etc. Cuyos diámetros varían entre 0.5 y 0.2 mm, con valores de absorción superiores al 12% (CEMEX, 2014).

4.3.6. El plástico

El término “plástico” es mal utilizado, ya que no se refiere al material, sino al estado de la materia cuando pasa por un proceso químico conocido como “polimerización”; esto es, en pocas palabras, la unión de las grandes agrupaciones de monómeros que componen a los polímeros. Los polímeros sintéticos, erróneamente conocidos como “plástico”, se refiere al estado material cuando este se encuentra viscoso o fluido, careciendo por lo tanto de propiedades de resistencia a esfuerzos mecánicos; dichas propiedades se obtiene cuando el material en estado sólido, a través de calentamiento, alcanza el estado plástico y puede ser manipulado en distintas formas (*Mariano, 2011*).

4.3.6.1. Industria de plástico en el Perú

La industria plástica a nivel nacional suma un total de 930 unidades productivas activas, al año 1999. Estas empresas operativas de la industria del plástico representan el 31% del total de manufacturas que se desenvuelve al interior de la división química y productos derivados del petróleo, así como de 3.2% respecto al total de la industria fabril en el Perú. Esta industria genera un nivel de mano de obra que se ubica en 24 personas (permanentes) por planta, nivel superior al promedio industrial que asciende a 21 trabajadores. Por otro lado la mayor concentración de plantas de fabricación plástica está en Lima (95%) donde predominan las pequeñas empresas que representan 75% del total y genera el 25% de la mano de obra de la industria en análisis. La mediana industria agrupa a 22% del total de empresas y emplea 61% de la mano de obra ocupada. Las grandes empresas representan el 0.5% del total de empresas de la rama y generan el 14% del total de la fuerza laboral. Se estima que en el sector se desenvuelven 9 000 personas. A noviembre del 2003 la industria plástica viene operando a 71.3% de su capacidad instalada (2).

4.3.6.2. Plástico utilizados en Ingeniería

La mayoría de los edificios públicos, nuestras viviendas, nuestros lugares de trabajo, ya sean fábricas u oficinas, los edificios destinados al ocio y servicios, hospitales, etc., tienen a los plásticos como elemento común. La razón es que estos permiten un abaratamiento de los costes en la producción de grandes series de piezas para la construcción, a la vez que facilitan el ahorro de energía por su bajo peso, sus grandes prestaciones y su alto poder aislante. En España el sector de la construcción consumió en 2001 un total de 602042 toneladas de plásticos. Alrededor de 300 empresas fabrican en España materiales plásticos destinados al sector de la construcción.

El tipo de plástico más utilizado en el sector de la construcción es el Policloruro de Vinilo o PVC con un consumo de 317735 t en 2001, lo que representa el 53 % de todos los plásticos empleados en este sector. A más distancia está el Polietileno con un 17 %, y el Poliestireno con un 10 %. En la actualidad, la industria europea de la construcción utiliza más de 5 millones de toneladas anuales de plásticos, ya que prácticamente todos los edificios construidos a partir de 1950 contienen plásticos en tuberías, ventanas, tejados, suelos, revestimiento de cables, conducciones y aislamientos (3).

4.3.7. Tereftalato de polietileno PET

El PET es un polímero obtenido a través de una “reacción de poli condensación”, entre el ácido tereftálico y etilenglicol, que origina un tipo de material denominado “poliester”. Existen distintas formas de procesar este tipo de plástico, entre las más comunes se cuentan: extrusión, que como su nombre lo dice consiste en extruir el material en forma de tubos, inyección, obtenido mediante el relleno de moldes, inyección y soplado, mediante la aplicación de aire caliente para darle forma en el molde, soplado de preforma, obtenido a través de calentamiento de una lámina

de semielaborado termoplástico, que se adapta a la forma del molde por acción de presión del vacío.

El PET es un tipo de plástico utilizando comúnmente en la producción de envases plásticos, debido a su densidad y alta resistencia, así como alto grado de cristalinidad, lo que lo hace agradable a la vida y al tacto y por ende favorece a la comercialización de los productos.

La inversión del PET permitió toda una serie de innovaciones que antiguamente eran muy complicadas de lograr con otros materiales, como la adición de color, transparencia, resistencia térmica, impermeabilidad, irrompibilidad, superficie lisa o texturizada, etc (Maronese, 2012).

4.3.7.1. Propiedades del Tereftalato de polietileno

| POLIETILEN TEREFALATO | | | | PET |
|--|-----------------------|--------|-------|-----------|
| PROPIEDADES MECÁNICAS A 23°C | UNIDAD | ASTM | DIN | VALORES |
| PESO ESPECIFICO | gr/cm ³ | D-792 | 53479 | 1.39 |
| RESIST. A LA TRACC.(FLUENCIA / ROTURA) | Kg/cm ² | D-638 | 53455 | 900 / -- |
| RES. A LA COMPRESION (1 Y 2 % DEF) | Kg/cm ² | D-695 | 53454 | 260 / 480 |
| RESISTENCIA A LA FLEXION | Kg/cm ² | D-790 | 53452 | 1450 |
| RES. AL CHOQUE SIN ENTALLA | Kg.cm/cm ² | D-256 | 53453 | > 50 |
| ALARGAMIENTO A LA ROTURA | % | D-638 | 53455 | 15 |
| MODULO DE ELASTICIDAD (TRACCION) | Kg/cm ² | D-638 | 53457 | 37000 |
| DUREZA | Shore D | D-2240 | 53505 | 85 - 87 |
| COEF. DE ROCE ESTATICO S/ACERO | | D-1894 | | -- |
| COEF. DE ROCE DINAMICO S/ACERO | | D-1894 | | 0.20 |
| RES. AL DESGASTE POR ROCE | | | | MUY BUENA |

| PROPIEDADES TÉRMICAS | UNIDAD | ASTM | DIN | VALORES |
|---|---------------|-------------|--------------------------------|----------------|
| CALOR ESPECIFICO | Kcal/Kg.°C | C-351 | | 0.25 |
| TEMP. DE FLEXION B/CARGA (18.5Kg/cm ²) | °C | D-648 | 53461 | 75 |
| TEMP. DE USO CONTINUO EN AIRE | °C | | | -20 a 110 |
| TEMP. DE FUSION | °C | | | 255 |
| COEF. DE DILATACION LINEAL DE 23 A 100°C | por °C | D-696 | 52752 | 0.00008 |
| COEF. DE CONDUCCION TERMICA | Kcal/m.h.°C | C-177 | 52612 | 0.25 |
| PROPIEDADES ELÉCTRICAS | | | | |
| UNIDAD | ASTM | DIN | VALORES | |
| CONSTANTE DIELECTRICA A 60 HZ | | D-150 | 53483 | 3,4 |
| CONSTANTE DIELECTRICA A 1 KHZ | | D-150 | 53483 | 3,3 |
| CONSTANTE DIELECTRICA A 1 MHZ | | D-150 | 53483 | 3,2 |
| ABSORCION DE HUMEDAD AL AIRE | % | D-570 | 53472 | 0,25 |
| RESISTENCIA SUPERFICIAL | Ohm | D-257 | 53482 | > 10 a la 14 |
| RESISTENCIA VOLUMETRICA | Ohms-cm | D-257 | 53482 | > 10 a la 15 |
| RIGIDEZ DIELECTRICA | Kv/mm | D-149 | | 22 |
| PROPIEDADES QUÍMICAS | | | OBSERVACIONES | |
| RESISTENCIA A HIDROCARBUROS | | | BUENA | |
| RESISTENCIA A ACIDOS DEBILES A TEMP. AMBIENTE | | | BUENA | |
| RESISTENCIA A ALCALIS DEBILES A TEMP. AMBIENTE | | | BUENA | |
| RESISTENCIA A PROD. QUIMICOS DEFINIDOS | | | CONSULTAR | |
| EFECTO DE LOS RAYOS SOLARES | | | ALGO LO AFECTAN | |
| APROBADO PARA CONTACTO CON ALIMENTOS | | | SI | |
| COMPORTAMIENTO A LA COMBUSTION | | | ARDE CON MEDIANA DIFICULTAD | |
| PROPAGACION DE LLAMA | | | MANTIENE LA LLAMA | |
| COMPORTAMIENTO AL QUEMARLO | | | GOTEA | |
| COLOR DE LA LLAMA | | | AMARILLO ANARANJADO TIZNADO | |
| OLOR AL QUEMARLO | | | AROMATICO DULCE | |

Fuente: Industrias JQ

Apropiado para elementos de roce. Bajo coeficiente de fricción. Levas, accesorios textiles. Para bujes, posee buena resistencia al desgaste (\geq PA). Para engranajes, posee buena estabilidad dimensional y resistencia mecánica ($>$ POM).

El material mencionado en la presente hoja técnica no es fabricado ni procesado por Industrias JQ. Por esto, la Información que consta en ella es un resumen de la suministrada por el fabricante y está sujeta a cambios sin previo aviso.

Los valores arriba indicados son de referencia. Pueden utilizarse como orientación para el diseño, pero se deja a criterio del usuario la necesidad de validar esos valores en función del uso que se dará al producto final.

4.3.7.2. Producción del PET

Es el resultado de la agrupación de varios procesos automatizados, desarrollados a lo largo del tiempo para obtener un producto de mayor calidad y durabilidad. Básicamente se resume en tres pasos esenciales:

- **Inyección de Preformas:** Los granos de PET son insertados en una máquina para ser calentados y fusionados, con la finalidad de ser inyectados en moldes tubulares. De dichos moldes se obtiene un semiproducto denominado “preforma”, que de acuerdo a su gramaje, densidad y tamaño, serán destinados a la fabricación de distintos tipos de envase.
- **Soplado en Moldes:** Las “preformas” son calentadas y encajadas manualmente en moldes metálicos, donde serán soplados con aire para adquirir la forma de dicho molde.

- Control: Cada hora son tomadas muestras al azar de las distintas etapas de producción, que serán llevados a un laboratorio en el interior de la fábrica, para realizar algunas pruebas y verificar que estén cumpliendo los estándares de calidad (*Moronese, 2012*).

4.3.7.3. Reciclado del PET

El reciclaje de botellas plásticas no es tan trivial como parece, de hecho uno de los procesos más complicados en la industria del plástico debido a que a medida que este es procesado va perdiendo parte de sus propiedades mecánicas y químicas, lo que hace que sea muy difícil su total reciclaje.

Existen dos tipos de procesos al cual puede estar sometido el material: reciclado químico y reciclado mecánico.

- a) Reciclado Químico:** Actualmente este proceso es realizado exclusivamente en Europa, ya que requiere de maquinarias especializadas de alta tecnología, que no están disponibles globalmente debido a su costo y complejidad. El proceso se divide en dos partes: la primera, que comprende 10 procesos: Solvolisis, glicólisis, hidrólisis, metanolisis, aminólisis, transesterilización, alcoholólisis, hidroglicólisis, acidólisis; y la segunda, en la cual se realiza una pirólisis a baja temperatura.
- b) Reciclado Mecánico:** (También conocido como reciclaje físico), es el proceso mediante el cual el material es procesado físicamente (molido, triturado y calentado), pero sin alterar su composición química. En Latinoamérica este es el único tipo de reciclaje de plásticos que existe hoy en día, ya que no disponemos de la tecnología necesaria; particularmente en Venezuela, sólo una fábrica que realiza este proceso. El proceso de reciclado se subdivide en 5:

Separación: Las botellas ET son separadas y clasificadas de acuerdo al color.

- **Imantación:** Antes de llegar a los molinos, las botellas pasan por una serie de imanes que eliminan cualquier partícula metálica de material, para no dañar las hojillas.
- **Molienda:** Las botellas pasan a través de molinos de acero que convierten el producto en pequeños hojueles.
- **Lavado:** El producto molido es lavado entre 2 y 3 veces para eliminar las impurezas, así como separarlas de los demás materiales, como las tapas y etiquetas, que salen a flote por diferencia de densidad.
- **Secado:** Las hojuelas limpiadas dejan secar al sol y son empaquetadas.

Los productos que pueden originarse a partir de estas hojuelas son numerosas, entre ellos envases alimentarios, fibras de poliéster, telas, rellenos, alfombras, adhesivos plásticos, entre otros. Uno de los procesos más comunes es el termoconformado, con el cual se obtienen envases plásticos de menor densidad, para alimentos (*Moronese, 2012*).

CAPITULO V

MÉTODOS PARA EL DISEÑO DE MEZCLAS DE CONCRETO

5.1. Diseño de Mezcla

Es un proceso que consiste en calcular las proporciones de los elementos que forman el concreto, con el fin de obtener los mejores resultados.

Existen diferentes métodos de diseño de mezcla; algunos pueden ser muy complejos como consecuencia a la existencia de múltiples variables de las que depende los resultados dichos métodos, aun así se desconoce el método que ofrezca resultados perfectos sin embargo existe la posibilidad de seleccionar alguno según sea la ocasión.

En oportunidades no es necesario tener exactitud en cuanto las proporciones de los componentes del concreto en estas situaciones se frecuentan el uso de reglas generales lo que permite establecer las dosis correctas a través de recetas que permiten contar con un diseño de mezcla apropiado para estos casos (*Laura, 2006*).

Las mezclas de concreto deberán cumplir con los siguientes Requisitos básicos:

- La mezcla recién preparada deberá tener la trabajabilidad, consistencia y cohesividad que permitan su adecuada colocación en los encofrados. Esta mezcla deberá estar libre de segregación y tener exudación mínima.
- La mezcla endurecida deberá tener las propiedades especificadas en función del uso que se va a dar a la estructura.
- El costo de la unidad cúbica de concreto endurecido deberá ser el mínimo compatible con la calidad deseada.

5.1.1. Elección de la Resistencia Promedio (f'_{cr})

A. Método 1

Si se posee un registro de resultados de ensayos de obra anteriores deberá calcularse la desviación estándar. El registro deberá:

- a) Representar materiales, procedimientos de control de calidad y condiciones similares a aquellos que se espera en la obra que se va a iniciar.
- b) Representar a concretos preparados para alcanzar una resistencia de diseño f'_c que este dentro del rango de $\pm 70 \text{ kg/cm}^2$ de la especificada para el trabajo a iniciar.

Si se posee un registro de 3 ensayos consecutivos la desviación estándar se calculará aplicando la fórmula:

$$s = \sqrt{\frac{\sum (X_i - X)^2}{(n - 1)}}$$

Donde:

s = Desviación estándar, en kg/cm^2

X_i = Resistencia de la probeta de concreto, en kg/cm^2

X = Resistencia promedio de n probeta, en kg/cm^2

n = Número de ensayos consecutivos de resistencia

Consiste de por lo menos 30 ensayos consecutivos o dos grupos de ensayos consecutivos que totalicen por menos 30 ensayos.

Si se posee dos grupos de ensayos consecutivos que totalicen por lo menos un registro de 30 ensayos consecutivos, la desviación estándar promedio se calculara con la siguiente formula:

$$\bar{S} = \sqrt{\frac{(n_1-1)(s_1)^2 + (n_2-1)(s_2)^2}{(n_1+n_2-2)}}$$

Donde:

\bar{S} = Desviación estándar en kg/cm^2

S_1, S_2 = Desviación estándar calculado para los grupos 1 y 2 respectivamente en kg/cm^2

n_1, n_2 = Número de ensayos en cada grupo, respectivamente.

B. Método 2

Si solo se posee un registro de 15 a 29 ensayos consecutivos, se calculara la desviación estándar “s” correspondiente a dichos ensayos y se multiplicara por el factor de corrección indicado en la 6 para obtener el nuevo valor de “s”.

El registro de ensayos a que se hace referencia en este Método deberá cumplir con los requisitos a), b) del método 1 y representa un registro de ensayos consecutivos que comprenda un período de no menos de 45 días calendario.

TABLA 6 Factor de Corrección del valor de “s”

| Muestras | Factor de Corrección |
|-------------|----------------------|
| Menos de 15 | Usar tabla 7 |
| 15 | 1.16 |
| 20 | 1.08 |
| 25 | 1.03 |
| 30 | 1.00 |

Fuente: Comité 211 del ACI.

5.1.2. Calculo de la Resistencia Promedio Requerido

Una vez que la desviación estándar ha sido calculada, la resistencia a compresión promedio requiere (f'_{cr}) se obtiene como el mayor valor de las ecuaciones (1) y (2). La ecuación (1) proporciona una probabilidad de

1 en 100 que el promedio de tres ensayos consecutivos estará por debajo de la resistencia especificada f'_c . La ecuación (2) proporciona una probabilidad de similar de que ensayos individuales estén 35 kg/cm² por debajo de la resistencia especificada f'_c .

Si la desviación estándar se ha calculado de acuerdo a los indicado en el Método 1 o el Método 2, la resistencia promedio requerida será el mayor de los valores determinados por las formulas siguientes usando la desviación estándar “s” calculado.

$$f'_{cr} = f'_c + 1.34s \dots \dots \dots (1)$$

$$f'_{cr} = f'_c + 2.33s - 35 \dots \dots \dots (2)$$

Donde:

s = Desviación estándar, en kg/cm².

Si se desconoce el valor de la desviación estándar, se utilizara la Tabla 7 para la determinación de la resistencia promedio requerida.

TABLA 7 Resistencia a la compresión promedio

| f'_c | f'_{cr} |
|--------------|------------|
| Menos de 210 | $f_c + 70$ |
| 210 a 350 | $f_c + 84$ |
| Sobre | $f_c + 98$ |

Fuente: Comité 211 del ACI.

TABLA 8 Teniendo en cuenta el grado de control de calidad en la obra

| Nivel de control | f'_{cr} |
|------------------|-------------------------|
| Regular o Malo | $1.3 f'_c$ a $1.5 f'_c$ |
| Bueno | $1.2 f'_c$ |
| Excelente | $1.1 f'_c$ |

Fuente: Comité 211 del ACI.

5.1.3. Elección del asentamiento (Slump)

Si las especificaciones técnicas de obra requieren que el concreto tenga una determinada consistencia, el asentamiento puede ser elegido de la siguiente tabla.

TABLA 9 Consistencia y asentamiento

| Consistencia | Asentamiento |
|--------------|-------------------------|
| Seca | 0" (0mm) a 2" (50mm) |
| Plástica | 3" (75 mm) a 4" (100mm) |
| Fluida | ≥ 5"(125 mm) |

Fuente: Comité 211 del ACI.

Si la especificaciones de obra no indican la consistencia, ni asentamiento requeridos para la mezcla a ser diseñada, utilizándola tabla 3.2 podemos seleccionar un valor adecuado para un determinado trabajo que se va a realizar. Se deberán usar las mezclas de la consistencia más densa que puedan ser colocadas eficientemente.

TABLA 10 Asentamiento recomendado para varios tipos de construcción.

| Tipos de Construcción | Revestimiento | |
|--|---------------|--------|
| | Máximo | Mínimo |
| Zapata y muros de cimentación reforzada | 8 | 2 |
| Zapata simples, cajones y muros de subestructura | 8 | 2 |
| Vigas y muros reforzados | 10 | 2 |
| Columnas | 10 | 2 |
| Pavimentos y losas | 8 | 2 |
| Concreto ciclópeo y masivos | 5 | 2 |

Fuente: Comité 211 del ACI.

5.1.4. Selección de tamaño máximo del agregado

Las normas de diseño estructural recomiendan que el tamaño máximo nominal del agregado grueso sea el mayor que sea económicamente disponible, siempre que sea compatible con las dimensiones y características de la estructura.

La Norma Técnica de Edificación E. 060 prescribe que el agregado grueso no deberá ser mayor de.

- 1/5 de la menor dimensión entre las caras de encofrados; o
- 1/3 del peralte de la losa: o
- 3/4 de las especies libre, tendones o ductos de presfuerzo, paquetes de barras, tendones o ductos de pres fuerzo.

El tamaño máximo nominal determinar aquí, será usado también como tamaño máximo simplemente.

Se considera que, cuando se incrementa el tamaño máximo del agregado, se reducen los requerimientos del agua de mezcla, incrementándose la resistencia del concreto. En general este principio es válido con agregado hasta 40 mm ($1\frac{1}{2}$ "). En tamaños mayores, solo es aplicable a concretos con baja contenido de cemento.

5.1.5. Estimación del agua de mezcla y contenido de aire

La 10, preparada en base a las recomendaciones de Comité 211 del ACI, nos proporciona una primera estimación del agua de mezcla para concretos hechos con diferentes tamaños máximos de agregado con o sin aire incorporado.

TABLA 11 Requerimiento aproximado de agua de mezclado y de contenido de aire para diferente valores de asentamiento y tamaño máximos de agregados

| ASENTAMIENTO O SLUMP (mm) | | Agua en lt/m^3 de concreto para los tamaños máximos de agregados gruesos y consistencia indicados. | | | | | | | |
|--|---------------------|--|------------------|----------------|--------------|------------------|--------------|--------------|---------------|
| | | 10mm (3/8") | 12.5mm (1/2") | 20mm (3/4") | 25mm (1") | 40mm (1 1/2") | 50mm (2") | 70mm (3") | 150mm (6") |
| CONCRETOS SIN AIRE INCORPORADO | | | | | | | | | |
| 30 a 50 (1" a 2") | | 205 | 200 | 185 | 180 | 160 | 155 | 145 | 125 |
| 80 a 100 (3" a 4") | | 225 | 215 | 200 | 195 | 175 | 170 | 160 | 140 |
| 150 a 180 (6" a 7") | | 240 | 230 | 210 | 205 | 185 | 180 | 170 | --- |
| Cantidad aproximada de aire atrapado (%). | | 3 | 2.5 | 2 | 1.5 | 1 | 0.5 | 0.3 | 0.2 |
| CONCRETOS CON AIRE INCORPORADO | | | | | | | | | |
| 30 a 50 (1" a 2") | | 180 | 175 | 165 | 160 | 145 | 140 | 135 | 120 |
| 80 a 100 (3" a 4") | | 200 | 190 | 180 | 175 | 160 | 155 | 150 | 135 |
| 150 a 180 (6" a 7") | | 215 | 205 | 190 | 185 | 170 | 165 | 160 | --- |
| Contenido total de aire incorporado (%), en función del grado de exposición. | Exposición suave | 4.5 | 4.0 | 3.5 | 3.0 | 2.5 | 2.0 | 1.5* | 1.0* |
| | Exposición moderada | 6.0 | 5.5 | 5.0 | 4.5 | 4.5 | 4.0 | 3.5* | 3.0* |
| | Exposición severa | 7.5 | 7.0 | 6.0 | 6.0 | 5.5 | 5.0 | 4.5* | 4.0* |

Los valores del asentamiento para concreto con agregado más grande que 40mm (1 1/2") se basan en las pruebas de Slump hechas después de retirar las partículas mayores de 40mm (1 1/2") por tamizado húmedo.
 Estos contenidos de agua de mezclado son valores máximos para agregado grueso angular y ien formado, y cuya granulometría está dentro de las especificaciones aceptadas (ASTM C 33 o ITINTEC 400.037).
 * Para concreto que contiene agregado grande será tamizado húmedo por una malla de 40mm (1 1/2") antes de evaluar el contenido de aire, el porcentaje de aire esperado en material más pequeño que 40mm (1 1/2") debe ser el tabulado en la columna de 40mm (1 1/2"). Sin embargo, los cálculos iniciales de las proporciones deben basarse en el contenido de aire como un porcentaje de la mezcla completa.
 ** Estos valores se basan en el criterio de que se necesita un 9% del contenido de aire en la fase de mortero del concreto.

Fuente: Comité 211 del ACI.

Como se observa, la tabla 11 no toma en cuenta para la estimación del agua de mezclado las incidencias del perfil, textura y granulometría de los agregados. Debemos hacer presente que estos valores tabulados son lo suficientemente aproximados para una primera estimación y que dependiendo del perfil, textura granulometría de los agregados, los valores requeridos de agua de mezcla pueden estar algo por encima o por debajo de dichos valores. Al mismo tiempo, podemos usar la tabla 11 para calcular la cantidad de agua de mezcla tomando en consideración, además de la consistencia y tamaño máximo de los agregados, el perfil del mismo. Los Valores de la tabla 11 correspondientes a mezcla sin aire incorporado.

TABLA 12 Contenido de agua de mezcla

| Tamaño máximo nominal del agregado grueso | | Contenido de agua en el concreto, expresado en lt/m^3 , para los asentamientos y perfiles de agregado grueso indicados. | | | | | |
|---|--------|---|-------------------|----------------------|-------------------|-----------------------|-------------------|
| | | 25mm a 50mm (1"-2") | | 75mm a 100mm (3"-4") | | 150mm a 175mm (6"-7") | |
| mm. | Pulg. | Agregado redondeado | Agregado anguloso | Agregado redondeado | Agregado anguloso | Agregado redondeado | Agregado anguloso |
| 9.5 | 3/8" | 185 | 212 | 201 | 227 | 230 | 250 |
| 12.7 | 1/2" | 182 | 201 | 197 | 216 | 219 | 238 |
| 19.1 | 3/4" | 170 | 189 | 185 | 204 | 208 | 227 |
| 25.4 | 1" | 163 | 182 | 178 | 197 | 197 | 216 |
| 38.1 | 1 1/2" | 155 | 170 | 170 | 185 | 185 | 204 |
| 50.8 | 2" | 148 | 163 | 163 | 178 | 178 | 197 |
| 76.2 | 3" | 136 | 151 | 151 | 167 | 163 | 182 |

Fuente: Comité 211 del ACI.

La tabla 12 nos muestra el volumen aproximado de aire atrapado en porcentaje, a ser esperado en un concreto sin aire incorporado intencionalmente por razones de durabilidad a ciclos de congelamiento y deshielo, agua de mar o sulfatos.

Obtenidos los valores de cantidad de agua y aire atrapado para un metro cúbico de concreto procedente a calcular el volumen que ocupa dentro de la unidad de volumen de concreto.

$$\text{Volumen de agua (m}^3\text{)} = \frac{\text{Contenido de agua de mezclado (lts/m}^3\text{)}}{\text{Peso específico del agua (1000 kg/m}^3\text{)}}$$

5.1.6. Elección de la Relación agua/cemento (a/c)

Existen dos criterios (por resistencia y por durabilidad) para la selección de la relación a/c, de los cuales se elegirá el menor de los valores, con lo cual se garantiza el cumplimiento de los requisitos de las especificaciones. Es importante que la relación a/c seleccionado con la base en la resistencia satisfaga también los requerimientos de durabilidad.

a) Por resistencia

Para concreto preparado con cemento Portland tipo I o cementos comunes, puede tomarse la relación a/c de la tabla 13.

TABLA 13 Máxima relación agua/cemento permisible para concreto sometidos a condiciones especiales de exposición

| RESISTENCIA A LA COMPRESION A LOS 28 DIAS (f'cr) (kg/cm2)* | RELACION AGUA/CEMENTO DE DISEÑO EN PESO | |
|--|---|-------------------------------|
| | CONCRETO SIN AIRE INCORPORADO | CONCRETO CON AIRE INCORPORADO |
| 450 | 0.38 | --- |
| 400 | 0.43 | --- |
| 350 | 0.48 | 0.40 |
| 300 | 0.55 | 0.46 |
| 250 | 0.62 | 0.53 |
| 200 | 0.70 | 0.61 |
| 150 | 0.80 | 0.71 |

* Los valores corresponden a resistencias promedio estimadas para concretos que no contengan más del porcentaje de aire mostrado en la tabla 5.1. Para una relación agua/cemento constante, la resistencia del concreto se reduce conforme aumenta el contenido de aire.

Fuente: Comité 211 del ACI.

b) Por durabilidad

La Norma Técnica de Edificaciones E. 060 prescribe que si se desea un concreto de baja permeabilidad, o el concreto ha de estar sometido a procesos de congelación y deshielo en condición húmeda. Se deberá cumplir con los requisitos indicados en la tabla 13

5.1.7. Método de Füller

En 1907, Fuller y Thompson, publicaron en Estados Unidos el documento “The Laws of Proportioning Concrete”, el cual se constituyó en el punto de partida de todos los desarrollos teóricos de curvas de granulometría; éste se basa en un comportamiento elíptico en su fracción fina, de la curva de gradación ideal de toda la masa, incluyendo el aglomerante, y que converge en una línea recta tangente a la elipse. La ecuación general para la parte elíptica de la curva, está dada por:

$$(y - b)^2/b^2 + (x - a)^2/a^2 = 1$$

Donde, y es el porcentaje de material que pasa el tamiz de abertura x ; a y b son constantes que presentan los ejes de la elipse y su valor depende del tamaño máximo (D) del agregado y de la forma de las partículas. Las constantes se caracterizan de tal manera que el ser más angulosas las partículas, más amplio es el porcentaje de material fino representando por la parte elíptica. Se muestran los valores de las constantes a y b . (Laura, 2006).

TABLA 14 Valores de las constantes a y b , que representan la parte elíptica de la ecuación Fuller- Thompson.

| Clase de material | a | b |
|---------------------------------|---------|------|
| Agregado de canto rodado | 0.164 D | 28.6 |
| Arena natural y grava triturada | 0.150 D | 30.4 |
| Arena y grava triturada | 0.147 D | 30.8 |

Fuente: Comité 211 del ACI.:

Este método en general y se aplica cuando los agregados no cumplan con la Norma ASTM C33. Así mismo se debe usar para dosificaciones con más de 300 kg de cemento por metro cubico de concreto y para tamaños máximos del agregado grueso comprendido entre 20 mm (3/4") y 50mm (2") (Laura, 2006).

$$\text{Relación: } a/b = \frac{1}{Z}; \quad Z = K_i \cdot R_m + 0.5$$

Donde:

K_i : Factor que depende de la forma del agregado. De 0.0030 a 0.0045 para piedra chanchada y de 0.0045 a 0.0070 para piedra redondeada.

R_m : Resistencia promedio requerida.

5.1.8. Cálculo del Contenido de Cemento

Una vez que la cantidad de agua y la relación del concreto es determinada dividiendo la cantidad de agua por la relación a/c. Sin embargo es posible que las especificaciones del proyecto establezcan una cantidad de cemento mínima. Tales requerimientos podrían ser especificados para asegurar un acabado satisfactorio, determinada calidad de la superficie vertical de los elementos o Trabajabilidad (Laura, 2006).

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

$$\text{Volumen de Cemento (m}^3\text{)} = \frac{\text{Contenido de Cemento (kg)}}{\text{Peso Específico del Cemento (kg/m}^3\text{)}}$$

5.1.9. Estimación del Contenido de Agregado grueso y Agregado Fino

En la curva de Fuller –Thompson, se encuentra un valor $x=0.074$ mm un valor d y del 7%, es decir, que el 7% de la masa está constituido por partículas de diámetro inferior a 0.074 mm, o pasan tamiz 200 más el cemento; para algunos autores, la obtención de la curva para solo el agregado, se obtiene la curva para solo el agregado, se obtiene al restarse la porción de cemento en cada caso y tomar el resto como 100%. Esto genera una curva de tendencia parabólica, la cual se denomina parábola de Fuller –Thompson y se expresa como:

$$\text{Ley de Füller: } P_d = 100\sqrt{d/D} = 100[d/D]^{\frac{1}{2}}$$

Donde:

P_d : % que pasa por la malla d .

d : Abertura de la malla de referencia

D : Tamaño máxima del agregado grueso.

La relación arena/agregado, el volumen absoluto, se determina gráficamente:

- Se dibujan las curvas granulométricas de los 2 agregados.
- En el mismo papel, se dibujó la parábola de Füller (Ley de Füller).
- Por la malla N° 4 trazamos una vertical la cual determinara en las curvas trazadas 3 puntos.

A= % Agregados fino pasa por la malla N° 4

B= % Agregado grueso que pasa por la malla N° 4

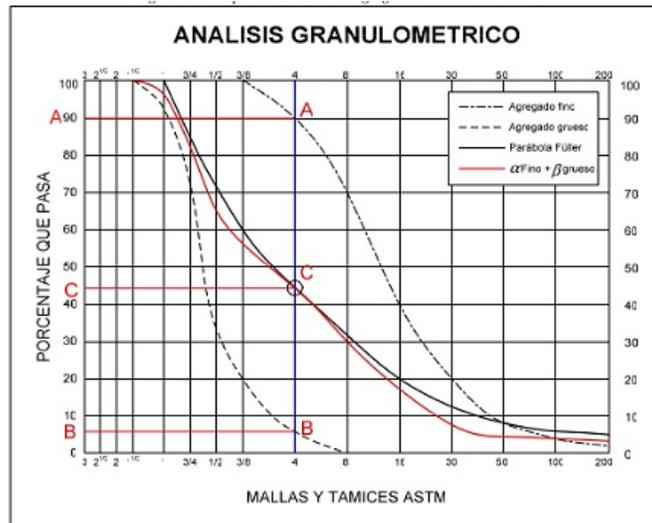
C= % Agregado ideal que pasa por la malla N° 4

Si llamamos:

α = % en volumen absoluto del agregado fino dentro de la mezcla

β = % en volumen absoluto del agregado dentro de la mezcla de agregados.

GRAFICO 4 Proporcionamiento de agregados Método de Füller



Fuente: UNA⁵, 2006.

La figura nos muestra un ejemplo de la determinación de las proporciones de agregado fino y agregado grueso en relación al volumen total de agregados por metro cúbico.

⁵ Universidad Nacional del Altiplano, Facultad de Ingeniería Civil, 2001

Entonces:

$$\alpha = \frac{C - B}{A - B} \times 100$$

$$\beta = 100 - \alpha$$

Teniendo los valores de α y β podemos calcular el volumen de agregado fino y agregado grueso por metro cúbico de concreto, de la siguiente manera:

$$\text{Volumen de agregado} = 1 - (\text{Vol. agua} + \text{Vol. aire} + \text{Vol. Cemento})$$

$$\text{Vol. agregado fino (m}^3\text{)} = \frac{\alpha}{100} \times \text{Vol. total de agregados (m}^3\text{)}$$

$$\text{Vol. agregado grueso (m}^3\text{)} = \frac{\beta}{100} \times \text{Vol. total de agregados (m}^3\text{)}.$$

Obtenido los volúmenes de agregado fino y grueso dentro de un metro cúbico de concreto, calculamos los pesos de agregado fino y grueso para un metro cúbico de concreto:

$$\text{Peso agregado (kg/m}^3\text{)} = (\text{Vol. agregado fino}) \times (\text{Peso específico del ag. fino})$$

$$\text{Peso agregado (kg/m}^3\text{)} = (\text{Vol. agregado grueso}) \times (\text{Peso específico del ag. fino})$$

5.2. Ensayos de Laboratorio

5.2.1. Características Físicas de los Agregados

Es importante analizar las características físicas de los agregados para evaluar cuáles son los probables comportamientos en el concreto. En general son primordiales en los agregados las características de densidad, resistencia, porosidad y la distribución volumétrica de las partículas, que se acostumbra denominar granulometría o gradación.

A continuación detallamos las características físicas de los agregados a emplear en la presente tesis.

I. Agregado Fino

a. Análisis Granulométricos del Agregado Fino

Teniendo en cuenta la forma irregular de las partículas de los agregados, es obvio que no es simple establecer un criterio numérico individual para definir el tamaño de cada partícula midiendo sus dimensiones.

Como sería sumamente difícil medir el volumen de los diferentes tamaños de las partículas, se usa una manera indirecta, la cual es tamizarlas por una serie de mallas de aberturas conocidas y pesar los materiales retenidos refiriéndolos en porcentaje con respecto al peso total, a esto se le denomina análisis granulométrico, que es la representación mínima de la distribución volumétrica de las partículas por tamaños.

Para realizar el análisis granulométrico del agregado fino nos regimos de la NTP 400.012, la cual nos indica que para este tipo de ensayo tomamos una muestra de 500gr. Dicha muestra fue secada en el horno a una temperatura de $100^{\circ} \pm 5^{\circ}$ C y posteriormente tamizada por las mallas N^o 4, 8, 16, 30, 50, y N^o100, los resultados del tamizado se expresó indicando el porcentaje retenido por cada tamiz referido al total de la muestra (*Sanchez y Tapia, 2015*).

b. Módulo de Fineza

En busca de las caracterizaciones numéricas que representa la distribución volumétrica de las partículas de los agregados, se define como la suma de los porcentajes retenidos acumulativos de la serie estándar hasta el tamiz N^o100 y esta cantidad se divide entre 100. El módulo de fineza del agregado fino deberá estar comprendido entre los valores de 2.35 a 3.15. El módulo de fineza es un indicador de la finura

de los agregados, puesto que cuanto mayor sea el módulo de fineza, más grueso es el agregado (*Sanchez y Tapia, 2015*).

c. Peso Unitario del Agregado Fino

El peso unitario o aparente de los agregados es su peso tal como se encuentra en la realidad, es decir incluye los vacíos entre partículas, este peso es variable dependiendo del grado de capacidad o de humedad, además varía con el tamaño, forma y granulometría del agregado.

La obtención del peso unitario del agregado es importante ya que este valor sirve para calcular las cantidades de materiales para la mezcla y para convertir volúmenes en peso o viceversa; la NTP 400.017 es la que rige el presente ensayo (*Sanchez y Tapia, 2015*).

A continuación mencionamos los ensayos relacionados al peso unitario del agregado fino.

- Para el peso unitario suelto
- Para el peso unitario compactado.

d. Peso Específico del Agregado

El peso específico es un índice de calidad del agregado, cuando los valores son elevados corresponden a materiales de buen comportamiento, mientras que los valores bajos corresponden a agregados débiles y absorbentes.

El peso específico es la relación, a una temperatura estable de la masa de volumen unitario de agua destilada libre de gas. El peso específico del agregado fino lo rige la norma técnica peruana NTP 400.021 (*Sanchez y Tapia, 2015*).

e. Porcentaje de Absorción del Agregado Fino

Es la capacidad de los agregados de llenar con agua los vacíos internos en las partículas, según NTP 400.021. Llamamos absorción a la cantidad de agua absorbida por el agregado después de ser sumergido 24 horas en esta se expresa en porcentaje en peso. Tiene importancia pues refleja en el concreto reduciendo el agua de mezcla, con influencia en las

propiedades resistentes y en la trabajabilidad, por lo que es necesario tenerlo en cuenta para hacer las correcciones necesarias (*Sanchez y Tapia, 2015*).

f. Contenido de Humedad del Agregado Fino

Es la cantidad de agua superficial que retienen en un momento determinado las partículas de los agregados. Es una característica importante pues contribuye a relacionar el agua de mezcla en el concreto, razón por la que se debe tomar en cuenta conjuntamente con la absorción para efectuar las correcciones adecuadas en el proporcionamiento de las mezclas (*Sanchez y Tapia, 2015*).

II. Agregado Grueso

a. Análisis Granulométrico del Agregado Grueso

Para realizar el siguiente ensayo nos regimos por la NTP 400.012, de acuerdo a nuestro tamaño máximo nominal 3/4" la norma nos indica para el ensayo, tomar una muestra de 8 kg. Esta muestra esta previamente cuarteada y llevada al horno por espacio de 24 horas a una temperatura de $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$, el tamizado se hizo a través de los tamices 1", $\frac{3}{4}$ ", $\frac{3}{8}$ " y N^o4 . El resultado del tamizado se expresa indicando el porcentaje retenido por cada tamiz referido al total de la muestra (*Sanchez y Tapia, 2015*).

b. Peso Unitario del Agregado Grueso

El peso unitario o aparente de los agregados es su peso tal como se encuentra en la realidad, es decir incluye los vacíos entre partículas, este peso es variable dependiendo del grado de capacidad o de humedad, además varia con el tamaño, forma y granulometría del agregado.

La obtención del peso unitario del agregado es importante ya que este valor sirve para calcular las cantidades de materiales para la mezcla y

para convertir volúmenes en peso o viceversa; la NTP 400.017 es la que rige el presente ensayo (*Sanchez y Tapia, 2015*).

A continuación mencionamos los ensayos relacionados al peso unitario del agregado fino.

- Para el peso unitario suelto
- Para el peso unitario compactado.

c. Peso Específico del Agregado Grueso

Para realizar el peso específico del agregado grueso tomamos en cuenta la NTP 400.021, El peso específico es un índice de calidad del agregado, cuando los valores son elevados corresponden a materiales de buen comportamiento, mientras que los valores bajos corresponden a agregados débiles y absorbentes. El peso específico es la relación, a una temperatura estable de la masa de volumen unitario de agua destilada libre de gas (*Sanchez y Tapia, 2015*).

d. Porcentaje de Absorción de Agregado Grueso

El porcentaje de absorción lo tenemos del ensayo del peso específico, la absorción es la cantidad de agua absorbida por el agregado después de ser sumergido 24 horas en esta, se expresa como porcentaje en peso. Y está regido por la norma técnica peruana según NTP 400.021 (*Sanchez y Tapia, 2015*).

e. Contenido de Humedad del Agregado Grueso

Es la cantidad de agua superficial que retienen en un momento determinado las partículas de los agregados. Es una característica importante pues contribuye a relacionar el agua de mezcla en el concreto, razón por la que se debe tomar en cuenta conjuntamente con la absorción para efectuar las correcciones adecuadas en el proporcionamiento de las mezclas (*Sanchez y Tapia, 2015*).

f. Tamaño Máximo del Agregado Grueso

Es el tamaño de la abertura de la malla más pequeña que deja pasar toda la muestra del agregado, según NTP 400.017 se utiliza para seleccionar el agregado según las condiciones de geometría del encofrado y del refuerzo del acero. El tamaño máximo del agregado grueso utilizado en el presente estudio de 1/2" (Sanchez y Tapia, 2015).

g. Tamaño Máximo Nominal del Agregado Grueso

El tamaño máximo nominal se da generalmente como referencia de granulometría y corresponde a la malla más pequeña que produce el primer retenido. El tamaño máximo nominal utilizado estudio es de 1/2".

III. Fibras de tereftalato de Polietileno PET

a. Longitud de fibras

La longitud de las fibras se determinó tomando como base las características que ofrecen las fibras industriales de polipropileno y acero de SIKA.

b. Ancho de fibras

El ancho se determinó, considerando como base los catálogos de SIKA donde consideran como ancho de micro fibras a partir de medidas menor a los 3 mm, para fibras de polipropileno.

c. Cocción de Fibras de PET

Para la cocción de las fibras de PET se utilizó una cocina doméstica con horno, se prosiguió a usar una lámina de metal LAT de 5 cm de ancho por 20 cm de largo donde se envolvía los hilos de PET obtenidos de la máquina manual elaborada para la obtención de los hilos

La temperatura de cocción de hilos de PET fue a 220 ° C con el que contaba el horno de la cocina utilizada, el tiempo colocado en el horno fue de 20 minutos. Luego se pasó a enfriar en un recipiente con agua fría, una vez enfriado el metal se proseguía a sacar y a cortar los hilos. Los

hilos al final presentan ganchos en los extremos que suman la longitud requerida.

5.1. Etapas para la Elaboración del Concreto

I. Extracción y Preparación de la Muestras

Las muestras de material utilizado son provenientes de las canteras de Córdova y Hatun Rumioc II del distrito de Huanbutio, de la ciudad del Cusco. Las muestras fueron extraídas utilizando la llamada “Muestra de material elaborado”, material obtenido después de ser sometido a procesos tales como trituración y tamizado han sido acumulados en montones y colocados en los vehículos.

En el laboratorio se realizó sus respectivos análisis granulométricos para determinar su Tamaño máximo y de esta manera verificar si el tamaño concuerda con la información brindada por el proveedor.

II. Incorporación de Fibras de PET al concreto

La incorporación de fibras de PET se realizó una vez que los agregados y el agua fueron vertidos al trompo mezclador. Para que se homogenice la mezcla con las fibras se esperó por un lapso de 2 minutos, se esperó que las fibras se distribuyan de manera homogénea en la mezcla. El tiempo de mezcla considerado fue según las recomendaciones de SIKA al incorporar fibras de polipropileno al concreto.

III. Toma de muestra de concreto fresco

Para recoger las muestras del concreto fresco, se utilizaron recipientes de material no absorbentes, de preferencia metálicos, de forma y tamaños adecuados a fin de impedir la segregación de los agregados. Además se contó una pala o cucharón para homogeneizar la muestra, antes de realizar los ensayos.

En el momento de sacar las muestras se tomaron todas las precauciones necesarias para conseguir que sean realmente representativas del concreto a

tratar , para ello la corriente de descarga de la hormigonera se dirigió para que caiga al recipiente, teniendo cuidado además , de que la velocidad de descarga no fuera tan pequeña como para producir la segregación del material. El tiempo transcurrido entre la toma y el uso de la muestra de concreto no excedió de 15 minutos (*Sanchez y Tapia, 2015*).

IV. Ensayo de Consistencia o Slump Mediante Cono de Abrans

El denominado ensayo de asentamiento o slump, llamado también de revenimiento o “slump test”, se encuentra ampliamente difundido y su empleo es aceptado para caracterizar el comportamiento del concreto fresco.

El ensayo consistió en consolidar una muestra de concreto fresco en un molde troncocónico, midiendo el asiento del concreto luego de desmoldarlo. El comportamiento del concreto en la prueba, indica su consistencia o sea la capacidad para adaptarse al encofrado o molde con facilidad, manteniéndose homogéneo con un mínimo de vacíos.

La consistencia se modifica fundamentalmente por variaciones del contenido de agua en la mezcla.

En los concretos bien proporcionados, el contenido de agua necesario para producir un asentamiento determinado depende de varios factores: se requiere de más agua con agregados de forma angular y textura rugosa; reduciéndose su contenido al incrementarse el tamaño máximo del agregado.

Para realizar el ensayo de consistencia utilizamos un molde troncocónico y una varilla de 5/8” con punta de bala, el molde descansa sobre una superficie plana no absorbente, dicho molde se llenó en tres capas, luego se compacto cada capa mediante 25 golpes con la varilla de acero, estos golpes se les propinan en forma distribuida y en forma de espiral, se tuvo cuidado que la barra solo compacte la capa ensayada. La última capa se enrasa con ayuda de una espátula para luego levantar el molde verticalmente y con mucho cuidado; el ensayo culmina al medir el asiento del concreto que es la diferencia entre la altura del molde y la cara superior central de la mezcla (*Sanchez y Tapia, 2015*).

V. Elaboración de Probetas Cilíndricas de Concreto

La resistencia del concreto se ve afectada por el efecto de tamaño, el cual es un fenómeno en el que se observa que entre menor es el tamaño del espécimen, mayor es su resistencia. La forma del espécimen también influye en el resultado de resistencia. Por ejemplo, un cilindro de concreto de 150×300 mm alcanza una resistencia aproximada del 80% de la que se obtiene con un espécimen cúbico de 150 mm de lado, por el efecto de restricción de placas. En concretos de alta resistencia el factor de 80% aumenta.

Por las razones anteriores, la norma ASTM C 39 define una forma (cilíndrica) y dos tamaños (150×300 mm y 100×200 mm) para el espécimen normalizado. La forma cilíndrica se ha preferido debido a una mayor uniformidad por un efecto menor de la restricción de placas, mejor distribución de los esfuerzos en planos horizontales y menor efecto de pared del agregado grueso en la resistencia.

La diferencia de resistencia entre los dos tamaños de cilindros no es significativa y su escogencia depende del tamaño máximo del agregado. Es recomendable utilizar el tamaño de 100×200 mm siempre que sea posible, pues tiene ventajas como facilidad de manipulación, menos propensos a daños, menor costo de moldes, utilización de una máquina de menor capacidad, menos concreto y menos espacio para almacenamiento y curado (*Gonzales y Monge, 2011*).

VI. Curado

La cura y protección de los especímenes moldeados tanto en su estado fresco como endurecido, son importantes para que no se vean afectados los resultados de resistencia obtenidos a partir de la falla de los mismos. Cabe destacar que en la etapa de curado los especímenes de concreto desarrollan la resistencia con el tiempo, y este desarrollo de resistencia depende mucho del proceso de hidratación del cemento dentro de la masa de concreto. Si se cuenta con un curado apropiado, el cemento puede hidratarse continuamente y desarrollar la reacción química que genera la resistencia con el tiempo. Si el

curado es deficiente, el cemento no se hidrata adecuadamente y la resistencia de diseño es probable que no se llegue a alcanzar.

Igual que con el moldeo, existen estándares establecidos para realizar protecciones y curados apropiados a los especímenes. Para el caso de los especímenes moldeados en campo, estos parámetros se especifican en la norma ASTM C31.

En esta norma, se indican las condiciones de humedad relativa y temperatura que se deben controlar para generar las condiciones ambientales apropiadas para que los especímenes moldeados de concreto, desarrollen la resistencia requerida para la aceptación de un concreto muestreado en obra.

Estas condiciones se deben tomar en cuenta tanto en la etapa del curado inicial como en la etapa del curado final (*Gonzales y Monge, 2011*).

VII. Velocidad de Ruptura

El concreto es un material visco elástico, lo cual quiere decir que su deformación aumenta con el tiempo para un esfuerzo constante. Este fenómeno se conoce como flujo plástico y provoca que la resistencia aumente conforme aumenta la velocidad de deformación. La figura 7 muestra la variación de la resistencia del concreto en compresión con la velocidad de esfuerzo.

La norma ASTM C 39 establece la velocidad de deformación en términos de velocidad de esfuerzo, la cual debe mantenerse entre 0.2 MPa/s y 0.3 MPa/s en la segunda mitad de la fase de carga estimada. Por ejemplo, un espécimen de 150x300 mm y 28 MPa de resistencia estimada debe durar entre 47 y 70 segundos en la segunda fase de carga (a partir de 14 MPa). En la primera fase de carga, la velocidad no está establecida pero hay que asegurarse que la carga sea continua y sin golpes.

En máquinas con servo control, se programa la velocidad en términos de esfuerzo o de carga. En este caso, se puede mantener la velocidad constante durante todo el proceso. Para el espécimen del ejemplo anterior, la velocidad de carga estaría entre 3.53 kN/s y 5.30 kN/s. Sin embargo, se recomienda

programar la velocidad en términos de esfuerzo, pues en este caso se puede utilizar para cualquier tamaño de espécimen.

En máquinas con control manual, existe la posibilidad de introducir el diámetro del espécimen y observar en la pantalla del indicador la velocidad en términos de esfuerzo (MPa/s). En este caso, la primera mitad de la fase de carga (de 0 MPa a 14 MPa) sirve para ajustar la velocidad manualmente y aproximarla a los valores indicados en el rango.

Para las máquinas que solo tienen indicador analógico de carga, es necesario fallar un cilindro de prueba para ajustar la velocidad al tiempo requerido. Para el espécimen del ejemplo, se debería durar entre 47 y 70 segundos entre la carga de 247 kN (mitad de la carga estimada) y 495 kN (carga de falla estimada). Para este tipo de máquinas, cuando la carga de falla estimada difiere significativamente de la carga estimada, se debe calcular de nuevo el tiempo con la carga obtenida (*Gonzales y Monge, 2011*).

VIII. Condición de humedad del espécimen

La norma ASTM C 39 especifica que una vez que los especímenes son retirados de la cámara húmeda, deben fallarse lo antes posible y en condición húmeda. Lo anterior se debe a que si el espécimen pierde humedad su resistencia disminuye y es más sencillo mantener el espécimen húmedo que definir algún grado de sequedad.

También se ha observado que un espécimen seco al horno resiste más que un espécimen húmedo, y que si el espécimen seco al horno se humedece hasta obtener la condición de humedad inicial, se obtiene la misma resistencia que se hubiera obtenido si se fallara al sacarlo de la cámara húmeda.

Se recomienda que cuando se fallen muchos cilindros a la vez, se mantengan bien húmedos con un rociador de agua y que en el momento de la falla se asegure que el espécimen se encuentra totalmente húmedo (*Gonzales y Monge, 2011*).

IX. Ensayo de la Resistencia a la Compresión

La calidad del concreto se establece generalmente por referencia a su resistencia a la compresión.

La resistencia a la compresión del concreto es la capacidad de soportar cargas y esfuerzos, siendo su mejor comportamiento en compresión en comparación con la tracción, debido a las propiedades adherentes de la pasta de cemento.

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

La resistencia se ve influenciada por el tipo de curado inicial, el tamaño de la probeta, la velocidad de descarga, la esbeltez de la probeta, el estado de humedad, el refrendado, etc.

La máquina de ensayo a utilizar es una prensa manual de uso corriente, la maquina está provista de dos bloques de acero de superficie endurecida, entre los cuales se comprimen las probetas sometidas a ensayo, el cabezal inferior sobre el que descansa la probetas sometidas a ensayo, el cabezal inferior sobre el que descansa la probeta es rígido y plano, el cabezal superior está provisto de un dispositivo a rotula que le permite rotar libremente e inclinarse pequeños ángulos en cualquier dirección.

El diámetro de la superficie plana de cada uno de los calzados es mayor que el diámetro de la probeta.

Las probetas se ensayan inmediatamente después de ser retirados se la poza de curado, el ensayo de compresión de probetas de concreto se realizaran con la probeta en estado húmedo.

Antes de realizar el ensayo a la compresión, primeramente los moldes fueron pesados y tomados sus diámetros a fin de poder obtener el área de contacto, luego se hizo el refrentado o "capping", el cual permite eliminar ciertas irregularidades que pudieran existir en las bases de las probetas y obtener el paralelismo de ambas bases el cual es un requisito fundamental para la realización de dicho ensayo (*Sanchez y Tapia, 2015*).

CAPITULO VI

MATERIALES UTILIZADOS Y RESULTADOS

6.1. Cemento

El tipo de cemento utilizado para el presenta trabajo fue el cemento de marca YURA del tipo HE, de alta resistencia inicial, este tipo de cemento es comercializado en la Ciudad de Cusco en poca cantidad es utilizado con mayor frecuencia por las empresas de concreto pre mezclado.

El cemento YURA de alta resistencia inicial, clasificado como cemento tipo III según la norma NTP 334.082 (ASTM C1157), es u producto fabricado a base de Clinker de alta calidad puzolana natural de origen volcánico de alta reactividad y yeso. La composición de este producto permite la producción de concreto con requerimiento de altas resistencia anuales, otorgando propiedades adicionales logrando alta durabilidad por lo que puede ser utilizando para estructuras que reciben carga lo más antes posibles o cuando se va a desencofrar a los poco días de vaciado.

TABLA 15 Porcentajes de Resistencia de acuerdo a los días de curado

| Edad | Porcentaje |
|----------|------------|
| 3 Días | 40-45% |
| 7 Días | 65-75% |
| 28Días | 100% |
| 90 Días | 115-120% |
| 360 Días | 120-135% |

Fuente: Tipo de Cemento (3).

6.2. Agregados

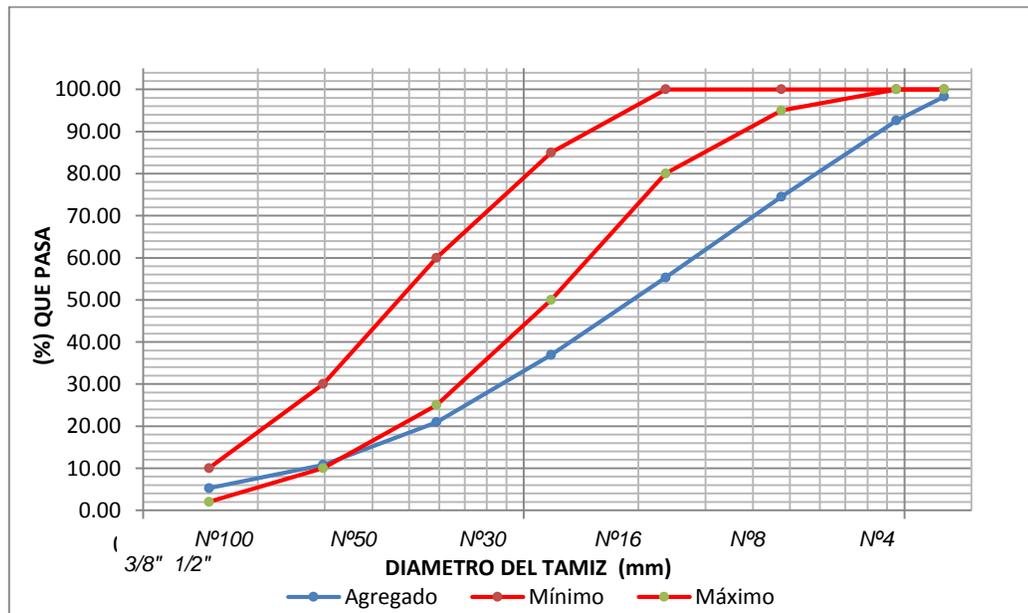
6.2.1. Agregado Fino

El agregado fino proviene de la cantera de Hatun Rumiyoc II, la muestra fue traída en un canter de un cubo de capacidad, la cantidad utilizada fue de medio cubo.

- **Denominación:** Hatun Rumiyoc II
- **Ubicación**
 - Sector: Hatun Rumiyoc
 - Distrito: Huambutio
 - Provincia: Quispicanchi
 - Departamento: Cusco
- **Tipo:** Cantera a tajo abierto

Se consideró las todo los procedimientos dados por la NTP para determinar las características para el agregado fino (ver Anexo Tabla 2). A continuación el Grafico 5 muestra la curva granulométrica obtenida para el agregado fino donde se consideró los materiales mayores de la malla N 50.

GRAFICO 5 CURVA GRANULOMÉTRICA DE LA AGREGADO FINO



Fuente: Propia.

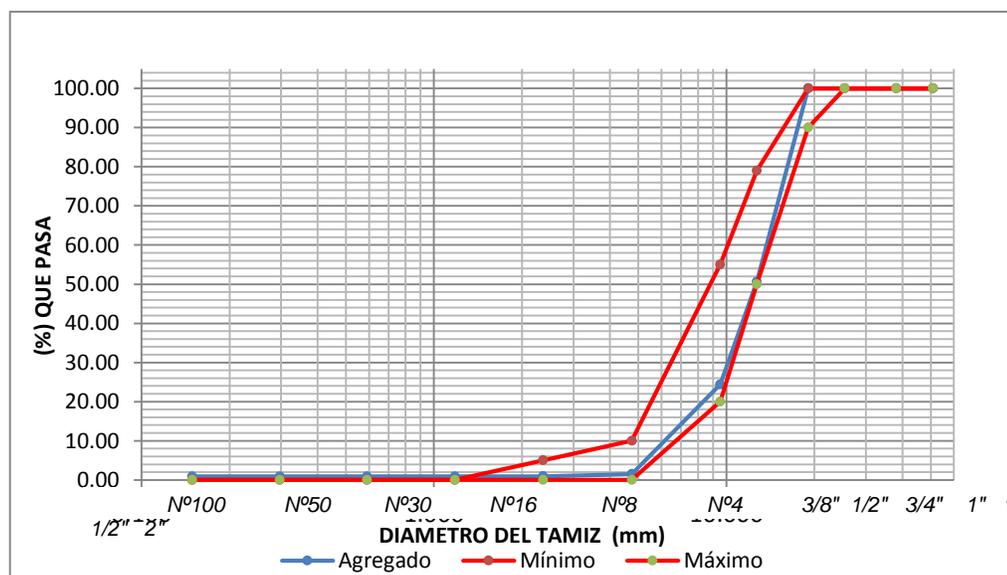
6.2.2. Agregado Grueso

El agregado grueso proviene de la cantera de Córdova, la muestra se recogió de la planta de concreto en la cual se realizó las briquetas de prueba la cantidad que se utilizo fue de medio cubo.

- **Denominación:** Cantera de Córdova.
- **Ubicación**
 - Sector: Córdova
 - Distrito: Huambutio
 - Provincia: Quispicanchi
 - Departamento: Cusco
- **Tipo:** Cantera a tajo abierto

Al igual que para el agregado fino se consideró todos los aspectos necesario para determinar las características de los agregados usados (Ver Anexo Tabla 3), a continuación en la figura 5 se muestra la curva de granulometría obtenida para el agregado grueso considerando los agregados usados a partir de la malla N° 5, este material está dentro de los milites requeridos.

GRAFICO 6 CURVA GRANULOMÉTRICA DEL AGREGADO GRUESO



Fuente: Propia.

6.2.3. Características de los agregados

Las características de los agregados fueron obtenidos de los análisis realizados en la planta de concreto Mixer Cusco, quienes facilitaron los materiales y equipos de su laboratorio.

TABLA 16 Característica de los agregados utilizados

| | Agregado Fino Cantera de Hatun Rumiyoc II | Agregado Grueso Cantera de Córdova |
|-----------------------------------|--|---|
| Módulo de Finura | 4.97 | |
| Tamaño Máximo Nominal | | 1/2" |
| Peso Unitario Seco y Suelto | 2646 | 2548 |
| Peso Específico de los Sólidos | 2.598 | 2.509 |
| Contenido Natural de Humedad (w%) | 4.74 | 0.42 |
| Porcentaje de Absorción (%) | 1.833 | 1.351 |

Fuente: Propia.

6.3. Agua

El agua que se usó para la elaboración de los testigos de concreto fue potable de la ciudad de Cusco, la cual cumple con todos los requisitos normativos vigentes.

6.4. Fibras de plástico

El presente trabajo de investigación uso como aditivo las fibras de PET, para determinar el tamaño y grosor se utilizó como base las características de las fibras de polipropileno (Sikafiber PE) y las características que ofrecen las distintas fibras fabricadas por SIKA. Las fibras de PET fueron obtenidas manualmente.

Para la obtención de las fibras de plástico se recolecto 10 kilos de botellas de las marcas de Inka Cola, Sprite, botellas de 650 ml, 1 litros hasta de 3 litros. Se consideró el uso de tres concentraciones diferentes siendo las siguientes;

1 kg/m^3 , 3 kg/m^3 y 5 kg/m^3 . Las fibras tienen las siguientes características.

- **Fibras Tipo I**

Presentan una longitud de 6 centímetros y un ancho promedio de 4 mm, de color verde y transparente.

- **Fibras Tipo II.**

Presentan una longitud de 6 centímetros y un ancho de 3 mm, de color verde y transparente, adicionalmente estas fueron sometidas a una temperatura de 220 °C durante 20 minutos.

TABLA 17 Características de las fibras

| Tipo de Fibra | | Longitud | Ancho | Ganchos |
|---------------|---------------------------|----------|-------|-------------|
| Tipo I | Fibra T 0°C | 6 cm | 4 mm | |
| Tipo II | Fibra a 220 ° C a 20 min. | 6 cm | 3 mm | Con ganchos |

6.5. Resultados de Diseño de la Mezclas Realizados

Se consideró un solo diseño de mezcla en el cual se incorporó tres proporciones diferentes de fibra, a continuación se mostrara los pesos de cada uno de los materiales que se usó en la mezcla.

TABLA 18 Diseño de Mezcla para el Testigo

| Materiales | Volumen | Peso Kg |
|-------------------|----------------|----------------|
| Cemento | 0.1 | 9.24 kg |
| Agua | 0.23 | 5.74 kg |
| Agregado Fino | 0.43 | 32.40 kg |
| Agregado Grueso | 0.23 | 16.15 kg |
| Aire | 0.01 | 1.00 % |
| Total | 1.00 m3 | |

TABLA 19 Diseño para las Fibras de Tipo I y Tipo II (proporción incorporada 1 kg/m^3)

| Materiales | Volumen (m3) | Peso(Kg) |
|------------------------|---------------------|------------------|
| Cemento | 0.1 | 9.24 kg |
| Agua | 0.23 | 5.74 kg |
| Agregado Fino | 0.43 | 32.40 kg |
| Agregado Grueso | 0.23 | 16.15 kg |
| Fibras de PET | 0.0072 | 0.03 kg |
| Aire | 0.01 | 1.00 % |
| Total | 1.01 | |

TABLA 20 Diseño para Fibra de Tipo I Y Tipo II (proporción incorporada 3 kg/m^3)

| Materiales | Volumen (m3) | Peso (Kg) |
|------------------------|---------------------|------------------|
| Cemento | 0.1 | 9.24 kg |
| Agua | 0.23 | 5.74 kg |
| Agregado Fino | 0.43 | 32.40 kg |
| Agregado Grueso | 0.23 | 16.15 kg |
| Fibras de PET | 0.022 | 0.08 kg |
| Aire | 0.01 | 1.00 % |
| Total | 1.02 | |

TABLA 21 Diseño para Fibras de Tipo I y Tipo II (proporción incorporada 5 kg/m^3)

| Materiales | Volumen (m3) | Peso (Kg) |
|------------------------|---------------------|------------------|
| Cemento | 0.1 | 9.24 kg |
| Agua | 0.23 | 5.74 kg |
| Agregado Fino | 0.43 | 32.40 kg |
| Agregado Grueso | 0.23 | 16.15 kg |
| Fibras de PET | 0.0359 | 0.14 kg |
| Aire | 0.01 | 1.00 % |
| Total | 1.04 | |

6.6. Equipos y Materiales utilizados

Dentro de los equipos usados se tiene:

- Trompo de media bolsa
- Cono de Abrans
- Prensa Eléctrica (Marca Pinzuar)
- Lector Digital de Prensa (Pinzuar)
- Juego de tamiz
- Probeta
- Varilla de 50 cm
- Balanza
- Cuchara metálica
- Pocillo metálico
- Baldes de Aceite (4 galones)

6.7. Elaboración de las briquetas de testigos

- Para las briquetas testigo se utilizó moldes de 0.10 m de diámetro por 0.20 m de altura (moldes de plástico).
- Se prepara los moldes con desmoldante, para sacar con facilidad.
- Se utilizó una pequeña mezcladora de media bolsa.
- Se realizó el peso de cada uno de los agregados usados
- Se coloca en los moldes; la primera capa y se procedió a realizar el compactado con una varilla, realizando los 20 golpes según norma para evitar las poros y quitar las burbujas de aire en la mezcla.
- Se coloca la segunda capa y se procede a nivelar la superficie del concreto, finalmente se rotula colocando la fecha, hora y se coloca el término que define a la muestra testigo.
- A las 24 horas se quita el molde, se rotula con un plumón que permita identificar.

6.8. Elaboración de las briquetas con adición de fibras

- Para las briquetas testigo se utilizó moldes de 0.10 m de diámetro por
- 0.20 m de altura (moldes de plástico).
- Se prepara los moldes con desmoldante, para sacar con facilidad.
- Se utilizó una pequeña mezcladora de media bolsa.
- Se realizó el peso de cada uno de los agregados usados
- Se le agrega las fibras una vez que la mezcla esta lista, se espera 2 a 3 minutos hasta que las fibras se distribuyen en toda la mezcla.
- Se coloca en los moldes; la primera capa y se procedió a realizar el compactado con una varilla, realizando los 20 golpes según norma para evitar las poros y quitar las burbujas de aire en la mezcla.
- Se coloca la segunda capa y se procede a nivelar la superficie del concreto, finalmente se rotula colocando la fecha, hora y se coloca el término que define a la muestra testigo.
- A las 24 horas se quita el molde, se rotula para identificar el espécimen.

CAPITULO VII ANÁLISIS DE RESULTADOS

7.1. Resultado de los cálculos para la resistencia requerido (f'_{cr}) del concreto $f'_{c}= 210 \text{ kg/cm}^2$.

Para determinar la calidad del concreto se realizó el análisis estadístico de la resistencia del concreto. Para este análisis se utiliza el promedio requerido de la resistencia del concreto (f'_{cr}), obtenidos del promedio de la rotura de briquetas.

En el trabajo de investigación, la resistencia del concreto fue de $f_{c}= 210 \text{ kg/cm}^2$, se utilizó el factor de 1.2 criterio tomado de la tabla N° 8 (considera un concreto bueno en obra), al multiplicar por este factor de corrección se obtiene un $f'_{cr}= 252 \text{ kg/cm}^2$.

El f'_{cr} obtenido al realizar la rotura de los testigo fue de 254.5 kg/cm^2 , cómo se observa el f'_{cr} del experimento tiene una diferencia de 2.47 con respecto al f'_{cr} teórico. Se considera estos criterios al momento de realizar el diseño de mezcla, siendo un factor de seguridad que permite obtener la resistencia requerida, reduciendo el error. También permite medir si todos los proceso al realizar la mezcla de concreto fueron adecuados.

7.2. Resultados de los promedios de rotura y desviaciones estándar de briquetas a diferentes edades

En este acápite se presenta los cuadros de análisis de los resultados de la resistencia a compresión según su relación del contenido de fibras en diferentes concentraciones, con respecto a sus distintas edades (3, 7, 14 y 28 días).

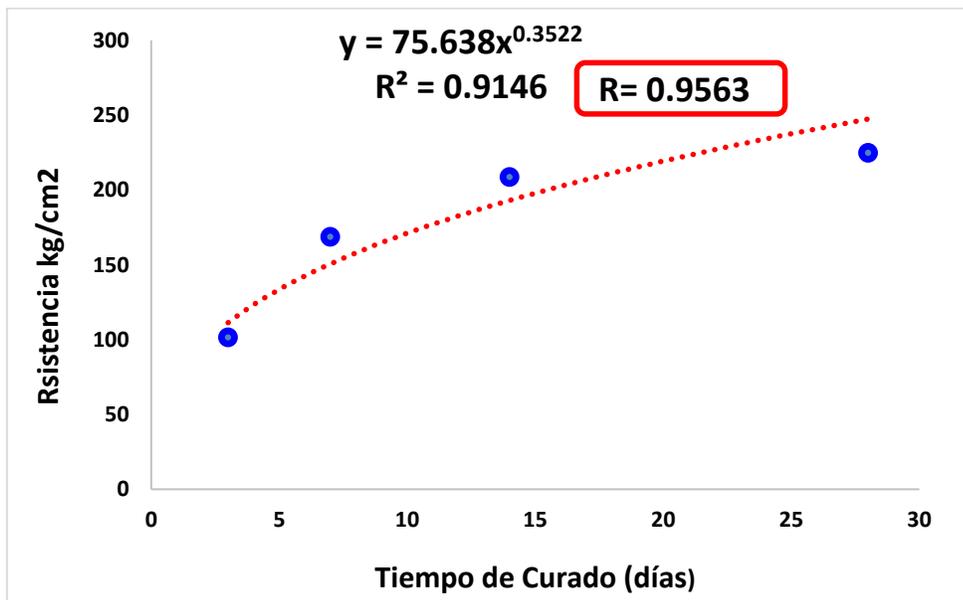
Para lo cual se realizó distintas probetas considerando una proporción de:

1 kg/m^3 , 3 kg/m^3 y 5 kg/m^3 y se conservando un Slump de 3".

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

TABLA 22 Promedios y desviación estándar Fibras de Tipo I proporción de 1kg/m3

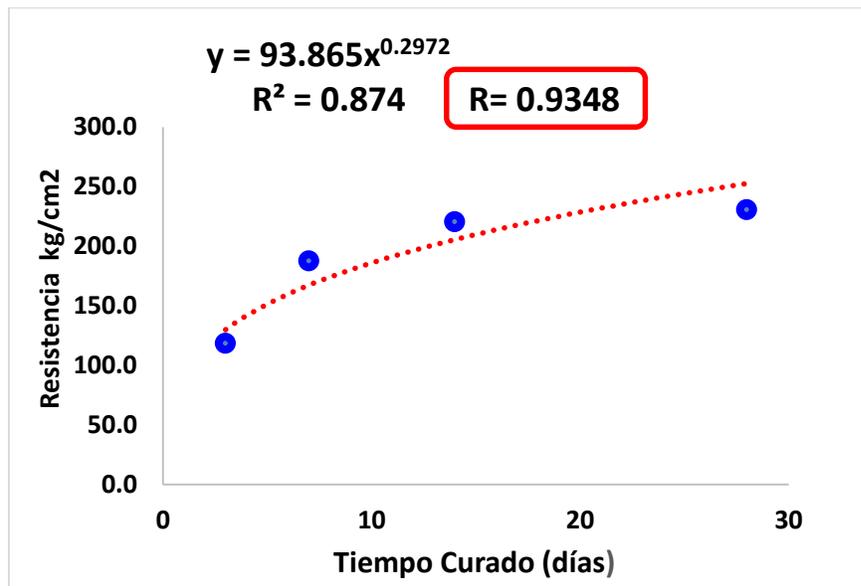
| Días Curado y Rotura | Dimensiones | | Esfuerzo Ultimo (kgf/cm2) | Promedio Esfuerzo (kgf/cm2) | % Resistencia | Desv. Standar | Promedio Desv. Standar |
|----------------------|-------------|--------|----------------------------|-----------------------------|---------------|---------------|------------------------|
| | Diámetro | Altura | | | | | |
| 3 | 15 | 30 | 100.8 | 101.20 | 48.19 | 0.4 | 0.6 |
| 3 | 15 | 30 | 101.2 | | | | |
| 3 | 15 | 30 | 101.6 | | | | |
| 7 | 15 | 30 | 167.9 | 168.60 | 80.29 | 0.7 | |
| 7 | 15 | 30 | 168.7 | | | | |
| 7 | 15 | 30 | 169.2 | | | | |
| 14 | 15 | 30 | 207.9 | 208.60 | 99.33 | 0.6 | |
| 14 | 15 | 30 | 208.8 | | | | |
| 14 | 15 | 30 | 209.1 | | | | |
| 28 | 15 | 30 | 223.9 | 224.67 | 106.98 | 0.8 | |
| 28 | 15 | 30 | 224.7 | | | | |
| 28 | 15 | 30 | 225.4 | | | | |



De la tabla y el gráfico, se indica que para el caso de la proporción de 1kg/m3 de fibra incorporada al concreto, presenta un coeficiente de correlación de 96%, es decir existe una relación buena entre las dos variables. La desviación estándar muestra que la rotura presenta una variación promedio de 0.6 kg/cm2.

TABLA 23 Promedios y desviación estándar Fibras de Tipo II proporción de 1kg/m3

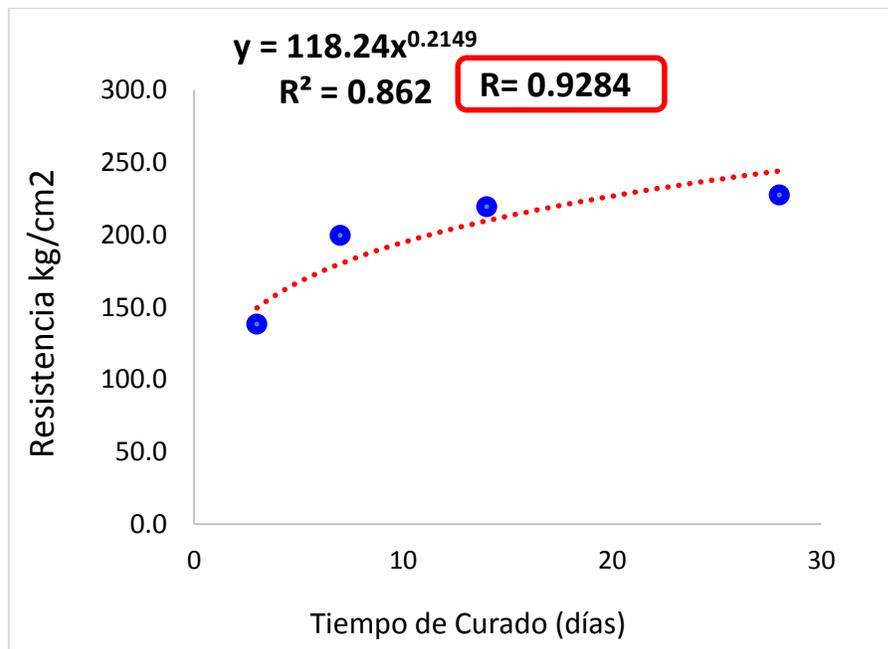
| Días Curado y Rotura | Dimensiones | | Esfuerzo Ultimo (kg/cm2) | Promedio Esfuerzo (kg/cm2) | % Resistencia | Desv. Standar | Promedio de Desv. Standar |
|----------------------|-------------|--------|---------------------------|----------------------------|---------------|---------------|---------------------------|
| | Diámetro | Altura | | | | | |
| 3 | 10 | 20 | 117.9 | 118.60 | 56.48 | 0.8 | 0.75 |
| 3 | 10 | 20 | 118.5 | | | | |
| 3 | 10 | 20 | 119.4 | | | | |
| 7 | 10 | 20 | 186.9 | 187.60 | 89.33 | 0.7 | |
| 7 | 10 | 20 | 187.6 | | | | |
| 7 | 10 | 20 | 188.3 | | | | |
| 14 | 10 | 20 | 219.8 | 220.53 | 105.02 | 0.7 | |
| 14 | 10 | 20 | 220.6 | | | | |
| 14 | 10 | 20 | 221.2 | | | | |
| 28 | 10 | 20 | 229.8 | 230.57 | 109.79 | 0.8 | |
| 28 | 10 | 20 | 230.5 | | | | |
| 28 | 10 | 20 | 231.4 | | | | |



En el caso de las fibras de Tipo II, incorporadas al concreto esta muestra un coeficiente de correlación de 93 %. La desviación estándar muestra que los ejemplares presentan una ligera variación promedio de 0.75 kg/cm2.

TABLA 24 Promedios y desviación estándar Fibras de Tipo I proporción 3 kg/m3

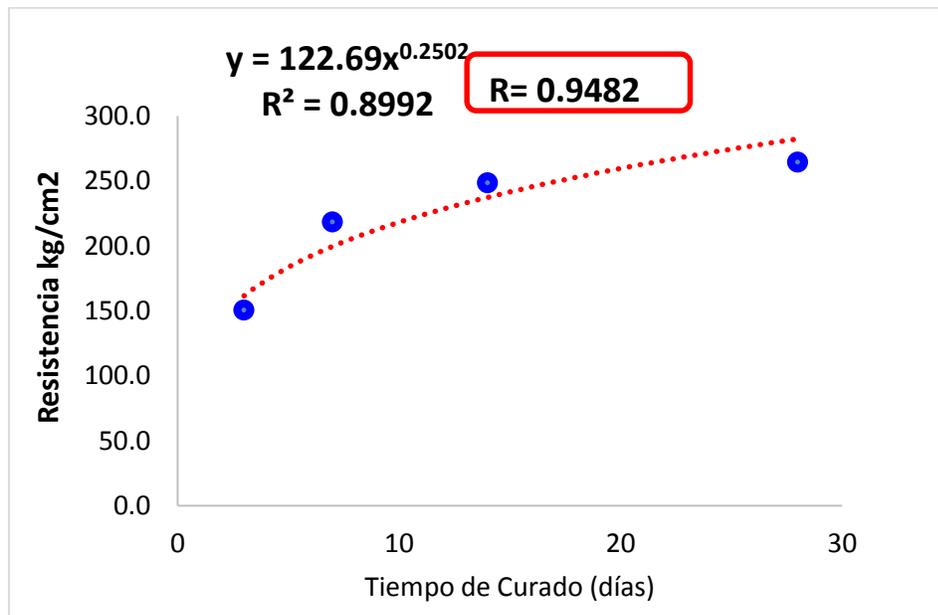
| Días Curado y Rotura | Dimensiones | | Esfuerzo Ultimo (kgf/cm2) | Promedio Esfuerzo (kgf/cm2) | % Resistencia | Desv. Standar | Promedio de Desv. Standar |
|----------------------|-------------|--------|----------------------------|-----------------------------|---------------|---------------|---------------------------|
| | Diámetro | Altura | | | | | |
| 3 | 15 | 30 | 137.5 | 138.33 | 65.87 | 0.74 | 0.7 |
| 3 | 15 | 30 | 138.6 | | | | |
| 3 | 15 | 30 | 138.9 | | | | |
| 7 | 15 | 30 | 198.9 | 199.53 | 95.02 | 0.71 | |
| 7 | 15 | 30 | 199.4 | | | | |
| 7 | 15 | 30 | 200.3 | | | | |
| 14 | 15 | 30 | 218.8 | 219.47 | 104.51 | 0.65 | |
| 14 | 15 | 30 | 219.5 | | | | |
| 14 | 15 | 30 | 220.1 | | | | |
| 28 | 15 | 30 | 226.9 | 227.63 | 108.40 | 0.75 | |
| 28 | 15 | 30 | 227.6 | | | | |
| 28 | 15 | 30 | 228.4 | | | | |



Para la proporción de 3 kg/m3, de las fibras de Tipo I, incorporadas al concreto esta muestra un coeficiente de correlación de 93 %, existe relación entre las dos variables. La desviación estándar muestra que los ejemplares presentan una variación promedio de 0.7 kg/cm2.

TABLA 25 Promedios y desviación estándar Fibras de Tipo II proporción de 3 kg/m³

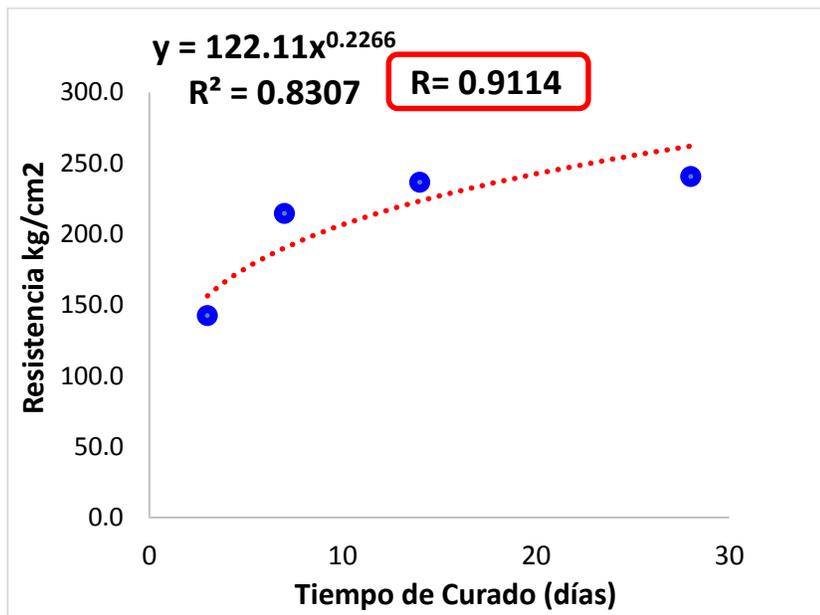
| Días Curado y Rotura | Dimensiones | | Esfuerzo Ultimo (kgf/cm ²) | Promedio Esfuerzo (kgf/cm ²) | % Resistencia | Desv. Standar | Promedio de Desv. Standar |
|----------------------|-------------|--------|---|--|---------------|---------------|---------------------------|
| | Diámetro | Altura | | | | | |
| 3 | 10 | 20 | 149.9 | 150.63 | 71.73 | 0.67 | 0.75 |
| 3 | 10 | 20 | 150.8 | | | | |
| 3 | 10 | 20 | 151.2 | | | | |
| 7 | 10 | 20 | 217.6 | 218.37 | 103.98 | 0.80 | |
| 7 | 10 | 20 | 218.3 | | | | |
| 7 | 10 | 20 | 219.2 | | | | |
| 14 | 10 | 20 | 247.8 | 248.57 | 118.37 | 0.75 | |
| 14 | 10 | 20 | 248.6 | | | | |
| 14 | 10 | 20 | 249.3 | | | | |
| 28 | 10 | 20 | 263.7 | 264.57 | 125.98 | 0.78 | |
| 28 | 10 | 20 | 264.8 | | | | |
| 28 | 10 | 20 | 265.2 | | | | |



En el caso de las fibras de Tipo II, incorporadas al concreto esta muestra un coeficiente de correlación de 95 %, existe relación entre las dos variables. La desviación estándar muestra que los ejemplares presentan una ligera variación promedio de 0.75 kg/cm².

TABLA 26 Promedios y desviación estándar Fibras de Tipo I proporción de 5 kg/m³

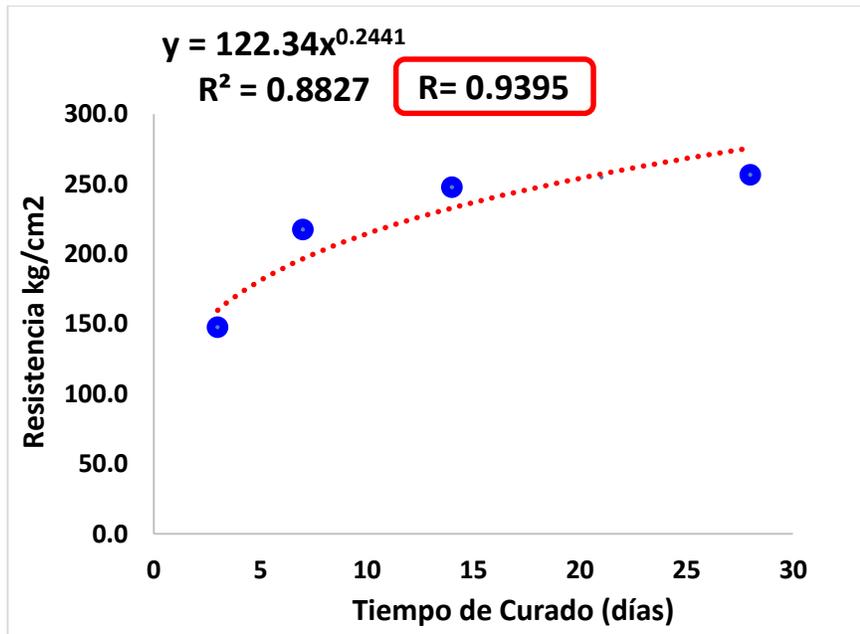
| Días Curado y Rotura | Dimensiones | | Esfuerzo Ultimo (kgf/cm ²) | Promedio Esfuerzo (kgf/cm ²) | % Resistencia | Desv. Standar | Promedio de Desv. Standar |
|----------------------|-------------|--------|---|--|---------------|---------------|---------------------------|
| | Diámetro | Altura | | | | | |
| 3 | 15 | 30 | 141.9 | 142.60 | 67.90 | 0.66 | 0.7 |
| 3 | 15 | 30 | 142.7 | | | | |
| 3 | 15 | 30 | 143.2 | | | | |
| 7 | 15 | 30 | 213.8 | 214.63 | 102.21 | 0.74 | |
| 7 | 15 | 30 | 214.9 | | | | |
| 7 | 15 | 30 | 215.2 | | | | |
| 14 | 15 | 30 | 235.9 | 236.67 | 112.70 | 0.71 | |
| 14 | 15 | 30 | 236.8 | | | | |
| 14 | 15 | 30 | 237.3 | | | | |
| 28 | 15 | 30 | 239.7 | 240.60 | 114.57 | 0.82 | |
| 28 | 15 | 30 | 240.8 | | | | |
| 28 | 15 | 30 | 241.3 | | | | |



Para la proporción de 5 kg/m³, de las fibras de Tipo I, incorporadas al concreto esta muestra un coeficiente de correlación de 91 %, existe relación entre las dos variables. La desviación estándar muestra que los ejemplares son similares presenta una variación promedio de 0.7 kg/cm².

TABLA 27 Promedios y desviación estándar Fibras de Tipo II proporción de 5 kg/m3

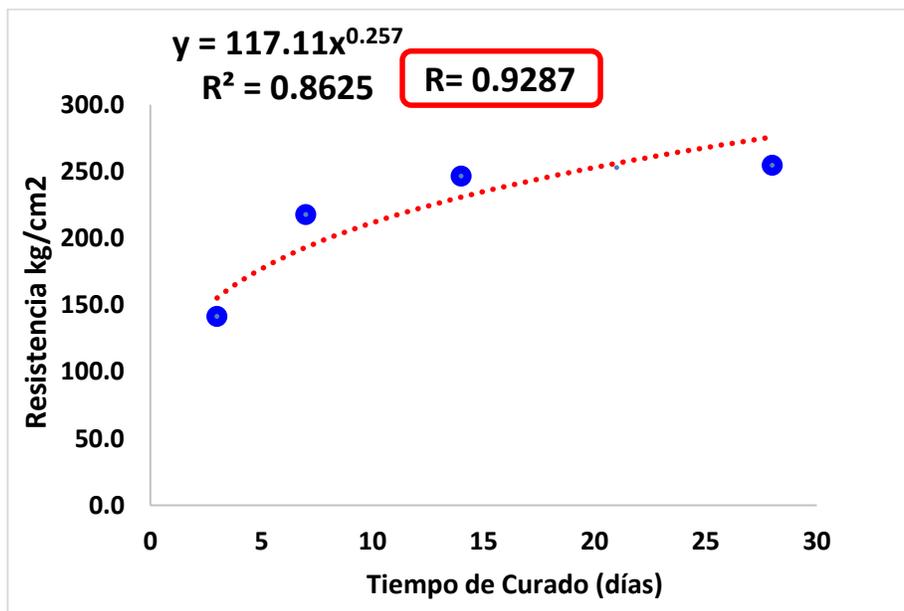
| Días Curado y Rotura | Dimensiones | | Esfuerzo Ultimo (kgf/cm2) | Promedio Esfuerzo (kgf/cm2) | % Resistencia | Desv. Standar | Promedio de Desv. Standar |
|----------------------|-------------|--------|----------------------------|-----------------------------|---------------|---------------|---------------------------|
| | Diámetro | Altura | | | | | |
| 3 | 10 | 20 | 146.9 | 147.63 | 70.30 | 0.70 | 0.7 |
| 3 | 10 | 20 | 147.7 | | | | |
| 3 | 10 | 20 | 148.3 | | | | |
| 7 | 10 | 20 | 216.8 | 217.50 | 103.57 | 0.66 | |
| 7 | 10 | 20 | 217.6 | | | | |
| 7 | 10 | 20 | 218.1 | | | | |
| 14 | 10 | 20 | 246.9 | 247.67 | 117.94 | 0.71 | |
| 14 | 10 | 20 | 247.8 | | | | |
| 14 | 10 | 20 | 248.3 | | | | |
| 28 | 10 | 20 | 255.8 | 256.53 | 122.16 | 0.75 | |
| 28 | 10 | 20 | 256.5 | | | | |
| 28 | 10 | 20 | 257.3 | | | | |



En el caso de las fibras de Tipo II, incorporadas al concreto esta muestra un coeficiente de correlación de 94 %, existe relación entre las dos variables. La desviación estándar muestra que los ejemplares presentan variación promedio de 0.7 kg/cm2.

TABLA 28 Promedios y desviación estándar Testigo

| Días Curado y Rotura | Dimensiones | | Esfuerzo Ultimo (kgf/cm2) | Promedio Esfuerzo (kgf/cm2) | % Resistencia | Desv. Standar | Promedio de Desv. Standar |
|----------------------|-------------|--------|----------------------------|-----------------------------|---------------|---------------|---------------------------|
| | Diámetro | Altura | | | | | |
| 3 | 10 | 20 | 140.9 | 141.47 | 67.37 | 0.60 | 0.66 |
| 3 | 10 | 20 | 141.4 | | | | |
| 3 | 10 | 20 | 142.1 | | | | |
| 7 | 10 | 20 | 217.1 | 217.73 | 103.68 | 0.57 | |
| 7 | 10 | 20 | 217.9 | | | | |
| 7 | 10 | 20 | 218.2 | | | | |
| 14 | 10 | 20 | 245.9 | 246.57 | 117.41 | 0.65 | |
| 14 | 10 | 20 | 246.6 | | | | |
| 14 | 10 | 20 | 247.2 | | | | |
| 28 | 10 | 20 | 253.8 | 254.47 | 121.17 | 0.83 | |
| 28 | 10 | 20 | 254.2 | | | | |
| 28 | 10 | 20 | 255.4 | | | | |

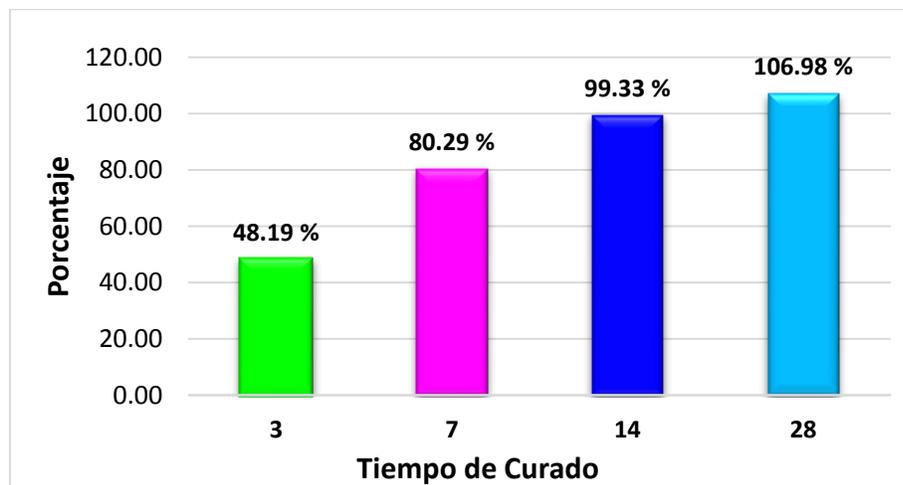


Para el caso de las briquetas testigo, esta muestra un coeficiente de correlación de 93 %, existe relación entre las dos variables. La desviación estándar muestra que los ejemplares presentan variación promedio de 0.66 kg/cm2

7.3. Resultados del porcentaje de resistencia alcanzada durante el tiempo de curado

TABLA 29 Briquetas con incorporación de fibras de PET de 1 kg/m³ Tipo I

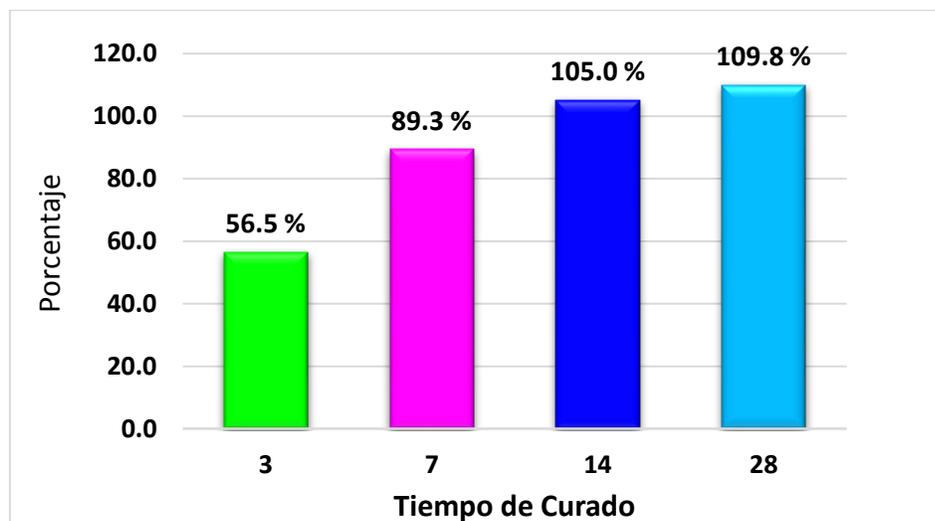
| Días Curado y Rotura | Dimensiones | | Esfuerzo Ultimo (kgf/cm2) | Promedio Esfuerzo (kgf/cm2) | % Resistencia |
|----------------------|-------------|--------|----------------------------|-----------------------------|---------------|
| | Diámetro | Altura | | | |
| 3 | 15 | 30 | 100.8 | 101.20 | 48.19 |
| 3 | 15 | 30 | 101.2 | | |
| 3 | 15 | 30 | 101.6 | | |
| 7 | 15 | 30 | 167.9 | 168.60 | 80.29 |
| 7 | 15 | 30 | 168.7 | | |
| 7 | 15 | 30 | 169.2 | | |
| 14 | 15 | 30 | 207.9 | 208.60 | 99.33 |
| 14 | 15 | 30 | 208.8 | | |
| 14 | 15 | 30 | 209.1 | | |
| 28 | 15 | 30 | 223.9 | 224.67 | 106.98 |
| 28 | 15 | 30 | 224.7 | | |
| 28 | 15 | 30 | 225.4 | | |



Para las Fibras de Tipo I con la incorporación de fibras en la proporción de 1kg/m³; promedio de las resistencias alcanzadas por las briquetas, a los 3 días fue de 101.20 kg/cm² correspondiente a un porcentaje de 48.19 %, presentando un crecimiento exponencial a los 28 días alcanzo una resistencia promedio de 224.67 kg/cm² equivalente a un porcentaje de 106.98 %.

TABLA 30 Briquetas con incorporación de fibras de PET de 1 kg/m^3 Tipo II

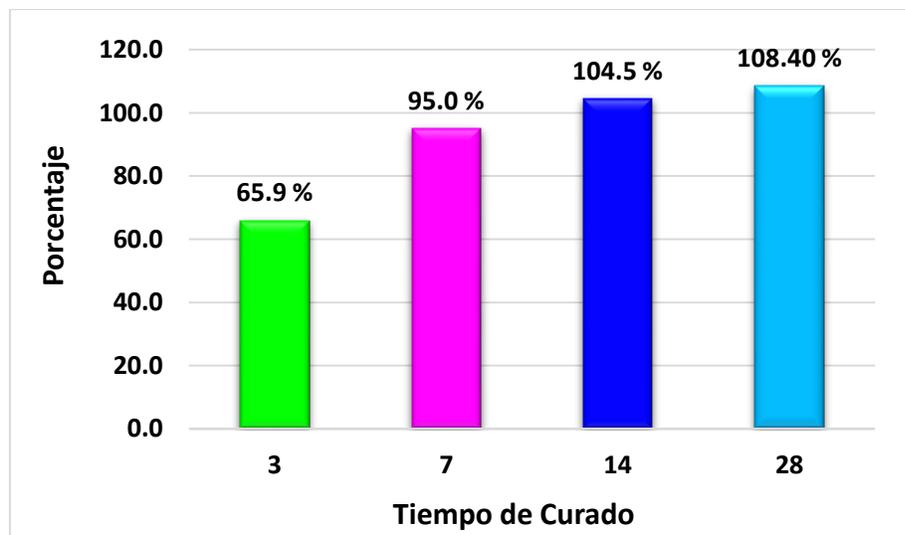
| Días Curado y Rotura | Dimensiones | | Esfuerzo Ultimo (kg/cm2) | Promedio Esfuerzo (kg/cm2) | % Resistencia |
|----------------------|-------------|--------|---------------------------|----------------------------|---------------|
| | Diámetro | Altura | | | |
| 3 | 10 | 20 | 117.9 | 118.60 | 56.48 |
| 3 | 10 | 20 | 118.5 | | |
| 3 | 10 | 20 | 119.4 | | |
| 7 | 10 | 20 | 186.9 | 187.60 | 89.33 |
| 7 | 10 | 20 | 187.6 | | |
| 7 | 10 | 20 | 188.3 | | |
| 14 | 10 | 20 | 219.8 | 220.53 | 105.02 |
| 14 | 10 | 20 | 220.6 | | |
| 14 | 10 | 20 | 221.2 | | |
| 28 | 10 | 20 | 229.8 | 230.57 | 109.79 |
| 28 | 10 | 20 | 230.5 | | |
| 28 | 10 | 20 | 231.4 | | |



Las fibras de Tipo II, la resistencia alcanzada a los 3 días fue de 118.60 kg/cm² correspondiente a un porcentaje de 56.48 %, el incremento de la resistencia en función a los días de curado presenta un crecimiento exponencial, alcanzando a los 28 días una resistencia de 230.57 kg/cm² correspondiente a un porcentaje de 109.79.

TABLA 31 Briquetas con incorporación de fibras de PET de 3 kg/m^3 Tipo I

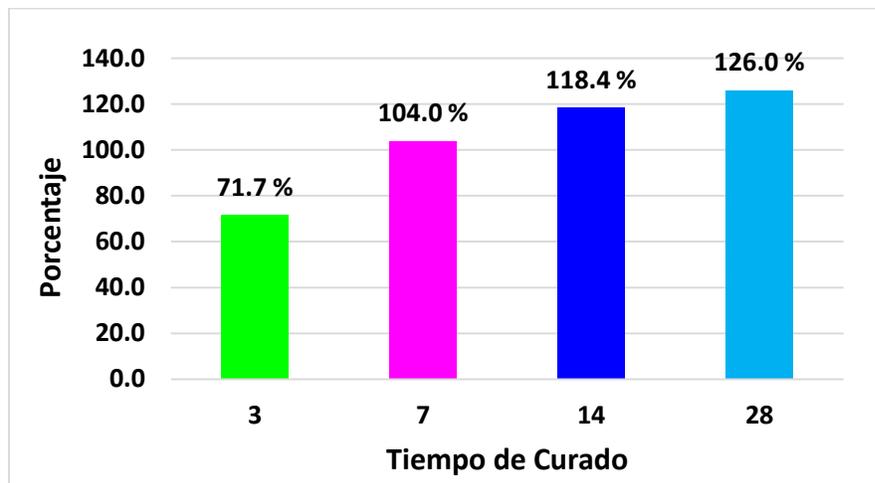
| Días Curado y Rotura | Dimensiones | | Esfuerzo Ultimo (kgf/cm2) | Promedio Esfuerzo (kgf/cm2) | % Resistencia |
|----------------------|-------------|--------|----------------------------|-----------------------------|---------------|
| | Diámetro | Altura | | | |
| 3 | 15 | 30 | 137.5 | 138.33 | 65.87 |
| 3 | 15 | 30 | 138.6 | | |
| 3 | 15 | 30 | 138.9 | | |
| 7 | 15 | 30 | 198.9 | 199.53 | 95.02 |
| 7 | 15 | 30 | 199.4 | | |
| 7 | 15 | 30 | 200.3 | | |
| 14 | 15 | 30 | 218.8 | 219.47 | 104.51 |
| 14 | 15 | 30 | 219.5 | | |
| 14 | 15 | 30 | 220.1 | | |
| 28 | 15 | 30 | 226.9 | 227.63 | 108.40 |
| 28 | 15 | 30 | 227.6 | | |
| 28 | 15 | 30 | 228.4 | | |



Para las Fibras de Tipo I con la incorporación de fibras en la proporción de 3kg/m³; a los 3 días alcanzo una resistencia de 138.33 kg/cm² correspondientes a un porcentaje de 65.87 %, incrementándose con el transcurso de los días de curado, llegando a los 28 días a una resistencia promedio de 227.63 kg/cm² correspondiente a un porcentaje de 108.4.

TABLA 32 Briquetas con incorporación de fibras de PET de 3 kg/m^3 Tipo II

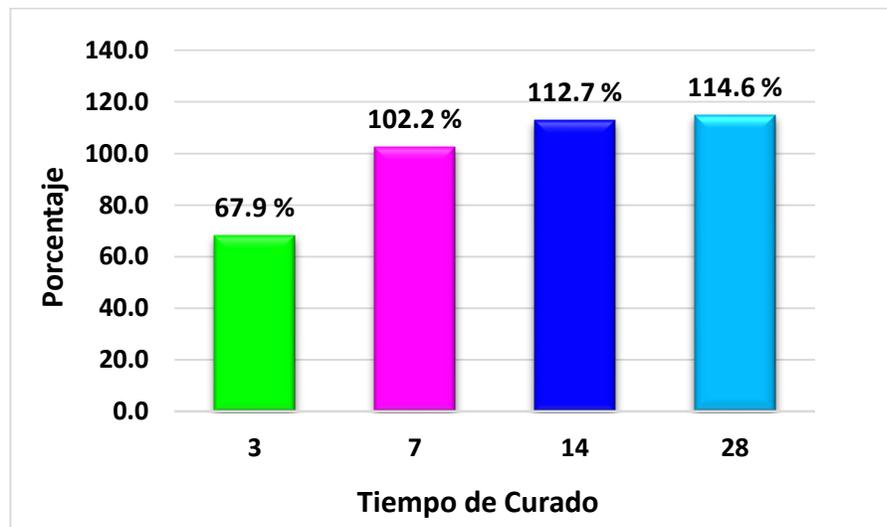
| Días Curado y Rotura | Dimensiones | | Esfuerzo Ultimo (kgf/cm2) | Promedio Esfuerzo (kgf/cm2) | % Resistencia |
|----------------------|-------------|--------|----------------------------|-----------------------------|---------------|
| | Diámetro | Altura | | | |
| 3 | 10 | 20 | 149.9 | 150.63 | 71.73 |
| 3 | 10 | 20 | 150.8 | | |
| 3 | 10 | 20 | 151.2 | | |
| 7 | 10 | 20 | 217.6 | 218.37 | 103.98 |
| 7 | 10 | 20 | 218.3 | | |
| 7 | 10 | 20 | 219.2 | | |
| 14 | 10 | 20 | 247.8 | 248.57 | 118.37 |
| 14 | 10 | 20 | 248.6 | | |
| 14 | 10 | 20 | 249.3 | | |
| 28 | 10 | 20 | 263.7 | 264.57 | 125.98 |
| 28 | 10 | 20 | 264.8 | | |
| 28 | 10 | 20 | 265.2 | | |



Las fibras de Tipo II, obtuvieron una resistencia a los de días de 150.63 kg/cm² correspondiente a un porcentaje de 71.73 %; al igual que en todos los casos anteriores este va incrementándose con el transcurrir de los días, llegando a alcanzar una resistencia a los 28 días de 264.57 kg/cm² correspondientes a un porcentaje de 125.98 %.

TABLA 33 Briquetas con incorporación de fibras de PET de 5 kg/m^3 Tipo I

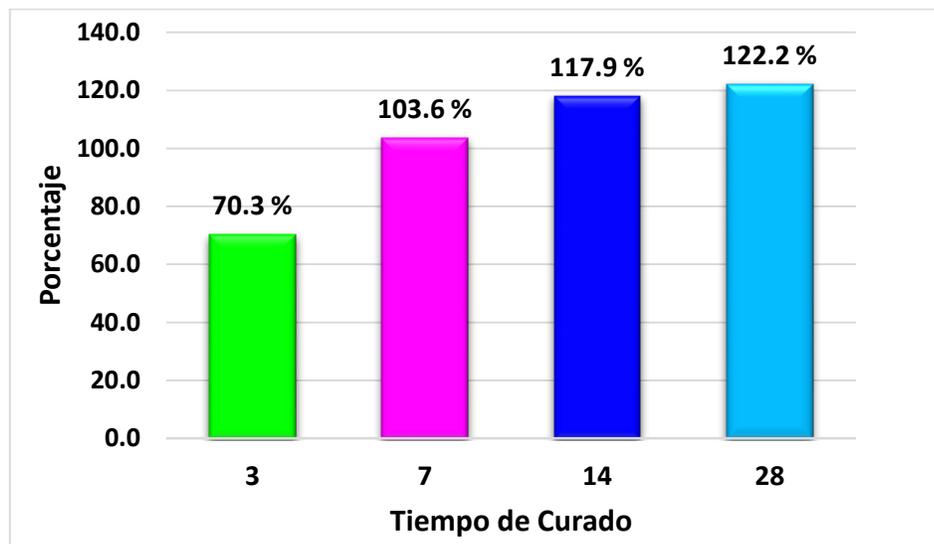
| Días Curado y Rotura | Dimensiones | | Esfuerzo Ultimo (kgf/cm2) | Promedio Esfuerzo (kgf/cm2) | % Resistencia |
|----------------------|-------------|--------|----------------------------|-----------------------------|---------------|
| | Diámetro | Altura | | | |
| 3 | 15 | 30 | 141.9 | 142.60 | 67.90 |
| 3 | 15 | 30 | 142.7 | | |
| 3 | 15 | 30 | 143.2 | | |
| 7 | 15 | 30 | 213.8 | 214.63 | 102.21 |
| 7 | 15 | 30 | 214.9 | | |
| 7 | 15 | 30 | 215.2 | | |
| 14 | 15 | 30 | 235.9 | 236.67 | 112.70 |
| 14 | 15 | 30 | 236.8 | | |
| 14 | 15 | 30 | 237.3 | | |
| 28 | 15 | 30 | 239.7 | 240.60 | 114.57 |
| 28 | 15 | 30 | 240.8 | | |
| 28 | 15 | 30 | 241.3 | | |



Las fibras de Tipo I con la incorporación de 5kg/m³; llegaron a alcanzar los 3 días una resistencia 142.60 kg/cm² correspondiente a un porcentaje de 67.9 %, incrementándose durante los días de curado llegando a alcanzar a los 28 días un resistencia promedio de 240.60 kg/cm² correspondiente a un porcentaje de 114.6.

TABLA 34 Briquetas con incorporación de fibras de PET de 5 kg/m^3 Tipo II

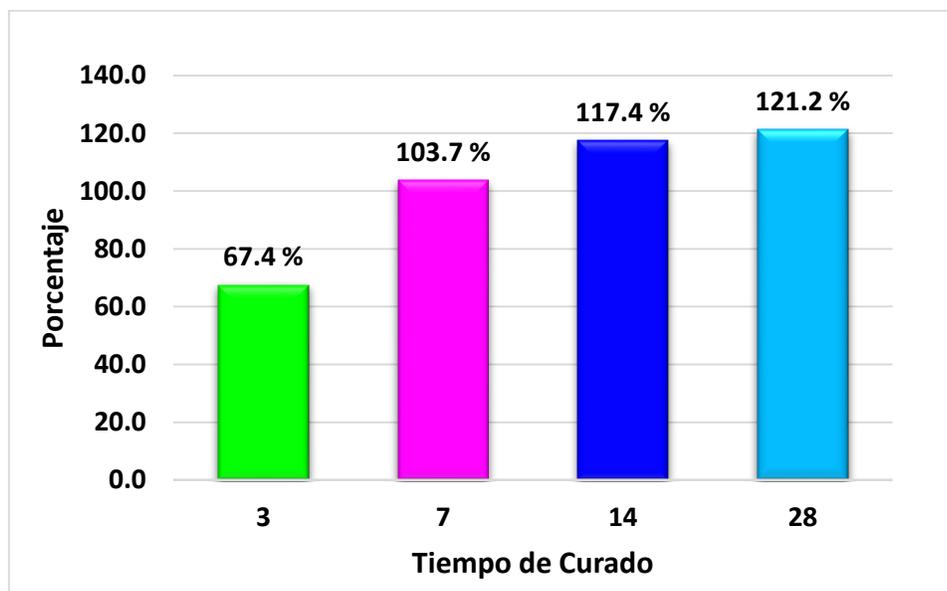
| Días Curado y Rotura | Dimensiones | | Esfuerzo Ultimo (kgf/cm2) | Promedio Esfuerzo (kgf/cm2) | % Resistencia |
|----------------------|-------------|--------|----------------------------|-----------------------------|---------------|
| | Diámetro | Altura | | | |
| 3 | 10 | 20 | 146.9 | 147.63 | 70.30 |
| 3 | 10 | 20 | 147.7 | | |
| 3 | 10 | 20 | 148.3 | | |
| 7 | 10 | 20 | 216.8 | 217.50 | 103.57 |
| 7 | 10 | 20 | 217.6 | | |
| 7 | 10 | 20 | 218.1 | | |
| 14 | 10 | 20 | 246.9 | 247.67 | 117.94 |
| 14 | 10 | 20 | 247.8 | | |
| 14 | 10 | 20 | 248.3 | | |
| 28 | 10 | 20 | 255.8 | 256.53 | 122.16 |
| 28 | 10 | 20 | 256.5 | | |
| 28 | 10 | 20 | 257.3 | | |



Las fibras de Tipo II, presentaron una resistencia promedio a los 3 días de 146.63 kg/cm2 correspondiente a un porcentaje de 70.3 %, incrementándose hasta alcanzar a los 28 días una resistencia de 256.53 kg/cm2 equivalente a un porcentaje de 122.16 %.

TABLA 35 Resultados de compresión simple para probetas Sin Fibras

| Días Curado y Rotura | Dimensiones | | Esfuerzo Ultimo (kgf/cm2) | Promedio Esfuerzo (kgf/cm2) | % Resistencia |
|----------------------|-------------|--------|----------------------------|-----------------------------|---------------|
| | Diámetro | Altura | | | |
| 3 | 10 | 20 | 140.9 | 141.47 | 67.37 |
| 3 | 10 | 20 | 141.4 | | |
| 3 | 10 | 20 | 142.1 | | |
| 7 | 10 | 20 | 217.1 | 217.73 | 103.68 |
| 7 | 10 | 20 | 217.9 | | |
| 7 | 10 | 20 | 218.2 | | |
| 14 | 10 | 20 | 245.9 | 246.57 | 117.41 |
| 14 | 10 | 20 | 246.6 | | |
| 14 | 10 | 20 | 247.2 | | |
| 28 | 10 | 20 | 253.8 | 254.47 | 121.17 |
| 28 | 10 | 20 | 254.2 | | |
| 28 | 10 | 20 | 255.4 | | |

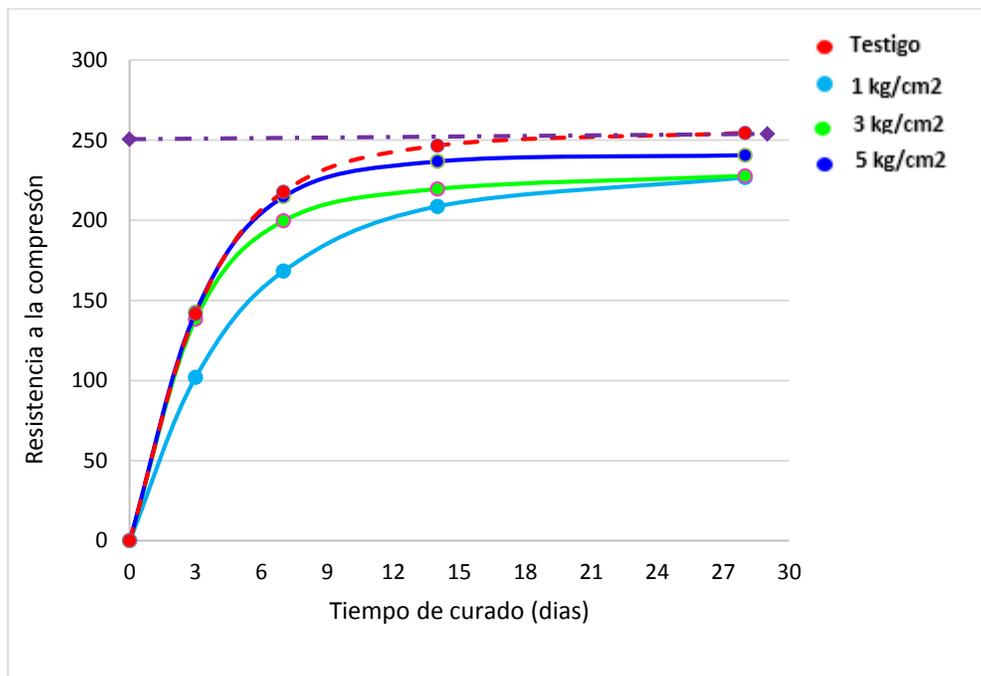


Las briquetas sin incorporación de fibra llegaron a alcanzar una resistencia promedio a los 3 días de 141.47 kg/cm² correspondientes a un porcentaje de 67.4 %, incrementándose hasta alcanzar a los 28 días una resistencia de 254.47 kg/cm² correspondiente a un porcentaje de 121.17 %

7.4. Resumen del promedio de las resistencias obtenidas en cada caso.

TABLA 36 Promedio de la Resistencia a compresión de la diferentes mezclas realizadas (Fibras Tipo – I)

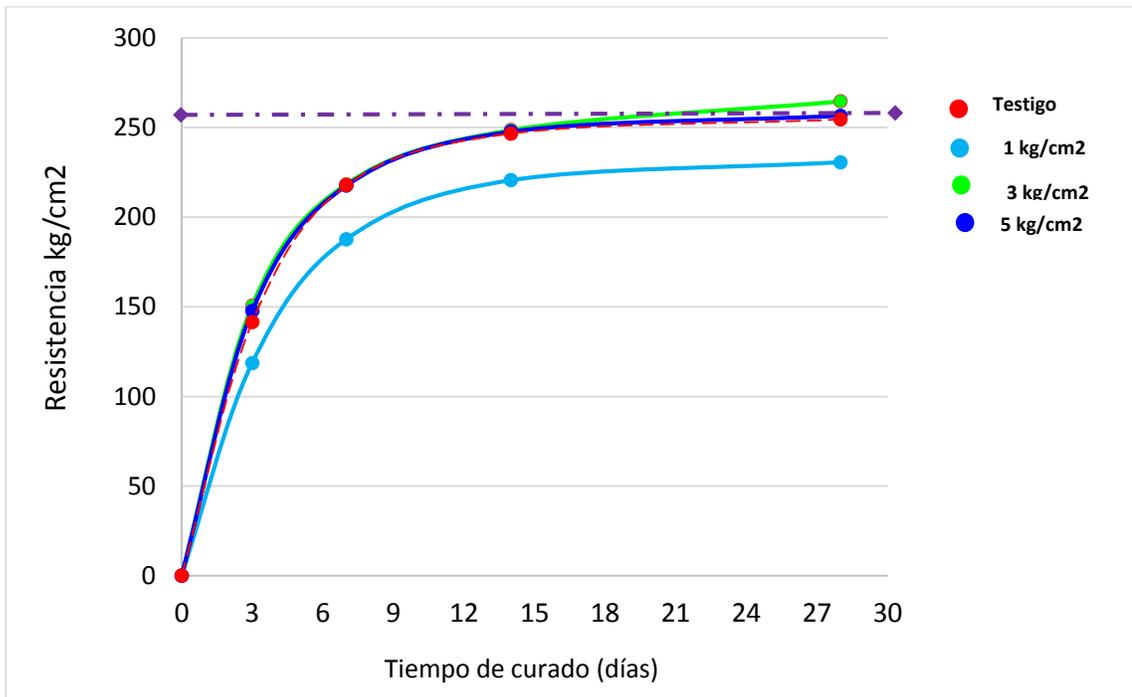
| Días Curado y Rotura | Incorporación de Fibras de PET | | | Testigo |
|----------------------|--------------------------------|---------------------|---------------------|---------|
| | 1 kg/m ³ | 3 kg/m ³ | 5 kg/m ³ | |
| 3 | 102.0 | 138.33 | 142.60 | 141.47 |
| 7 | 168.20 | 199.53 | 214.63 | 217.73 |
| 14 | 208.60 | 219.47 | 236.67 | 246.57 |
| 28 | 226.67 | 227.63 | 240.6 | 254.47 |



Del cuadro se observa que las Fibras de Tipo I, no llegaron a alcanzar la resistencia promedio requerida con la cual se realizó el diseño de mezcla, estando por debajo del testigo. La proporción de 1kg/m³ de fibra es la que presenta menor resistencia; la proporción de 5 kg/m³ inicialmente tiene el mismo comportamiento que el testigo pero a los 28 días el testigo supero a todas las muestras.

TABLA 37 Promedio de la Resistencia a compresión de la diferentes mezclas realizadas (Fibras Tipo – II)

| Días Curado y Rotura | Incorporación de Fibras de PET | | | Testigo |
|----------------------|--------------------------------|---------|---------|---------|
| | 1 kg/m3 | 3 kg/m3 | 5 kg/m3 | |
| 3 | 118.60 | 150.63 | 142.60 | 141.47 |
| 7 | 187.60 | 218.37 | 217.50 | 217.73 |
| 14 | 220.53 | 248.57 | 247.67 | 246.57 |
| 28 | 230.57 | 264.57 | 256.53 | 254.47 |

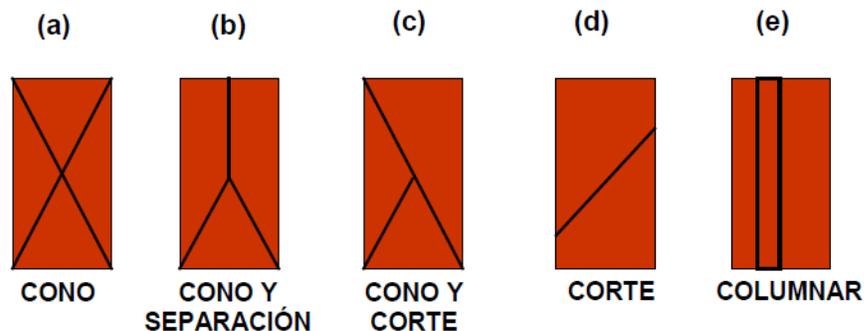


Las fibras de Tipo II, llegaron a alcanzar el promedio de la resistencia requerida, la proporción que mayor éxito tuvo fue la de 3 kg/m3, seguida de la proporción de 5 kg/m3. Llegando a mejorar la resistencia del concreto a compresión simple.

7.5. Tipos de fallas Producidas en las Briquetas de Prueba

Para determinar el tipo de falla producida al momento de la rotura de la concreto, comprara con el gráfico N° 6. Se realizó la comparación de cada uno de los ejemplares sometidos a compresión.

GRAFICO 7 Tipos de fallas



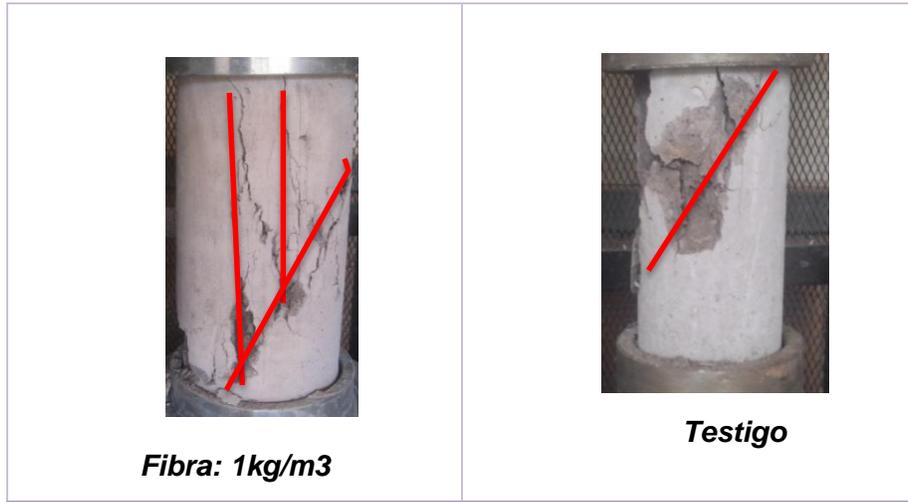
Fuente: DINO

1.5.1. Fallas producidas en las briquetas incorporadas con fibras de Tipo I

El análisis de las fallas producidas en las briquetas incorporadas con fibras de PET, se realizó, en cada rotura desde; los 3, 7 y 14 días no existía mucha diferencia de la rotura debido a que todas solo presentaban falla superficial.

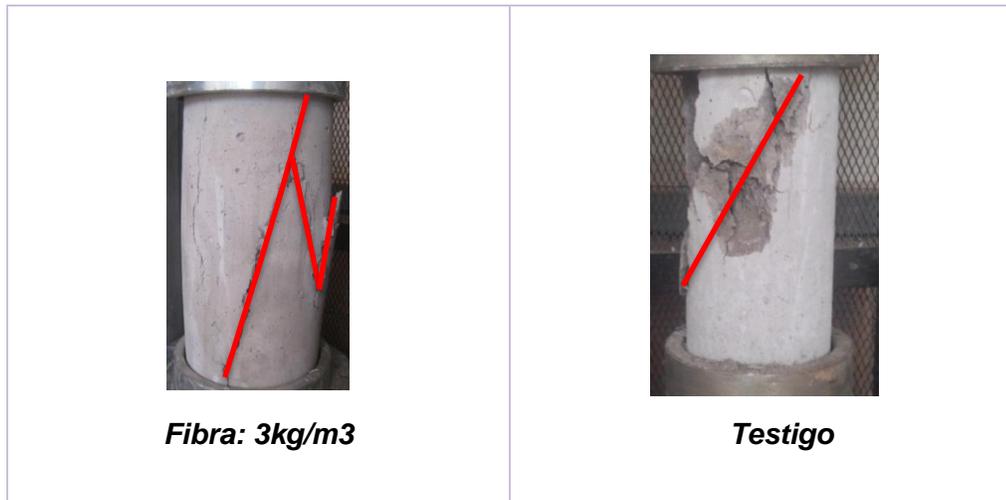
El análisis del tipo de falla y el sonido que producen se realizó a los 28 días de curado; las briquetas testigo al igual que cualquier briqueta sin incorporación de fibras presenta falla con acomodamiento de un sonido fuerte que simula el sonido de una explosión produciéndose la expulsión de pequeños trozos que salen disparados en sentido indistinto que son peligroso para el personal que está operando la maquina es por eso que estos equipos presentan un reja de protección al momento de la rotura de las briquetas; las briquetas que presentan fibra incorporada presentan un sonido distinto y no presentan el sonido explosivo con la expulsión de pedazos solo fallas y los trozos son escasos.

GRAFICO 8 Análisis de fallas producidas en briquetas con incorporación de fibra Tipo I, comparado con el testigo.



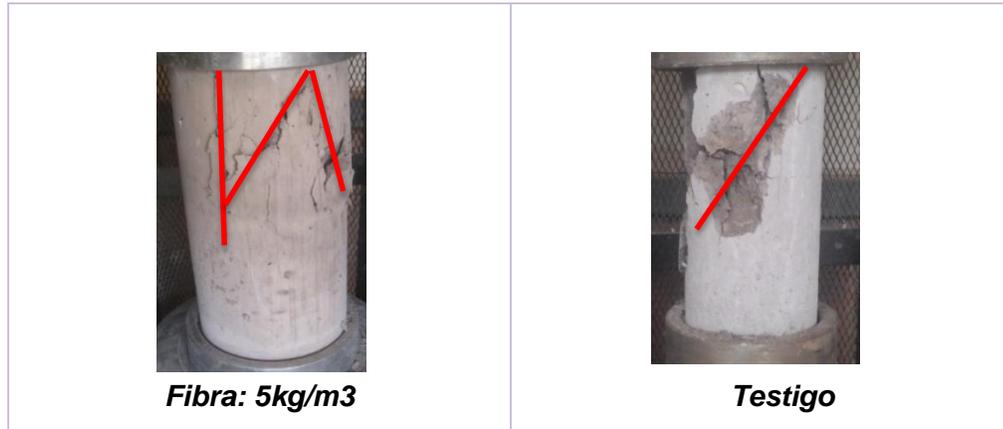
Según el grafico la briqueta de 1kg/m³ presenta falla de tipo cono y corte, pero no destruyéndose por completo en comparación con el testigo.

GRAFICO 9 Análisis de fallas producidas en briquetas con incorporación de fibra Tipo I, comparado con el testigo.



El grafico, muestra que las briquetas con incorporación de fibras presentan falla de corte y cono, se destruye parcialmente a comparación del testigo que presento falla de corte y se destruye totalmente.

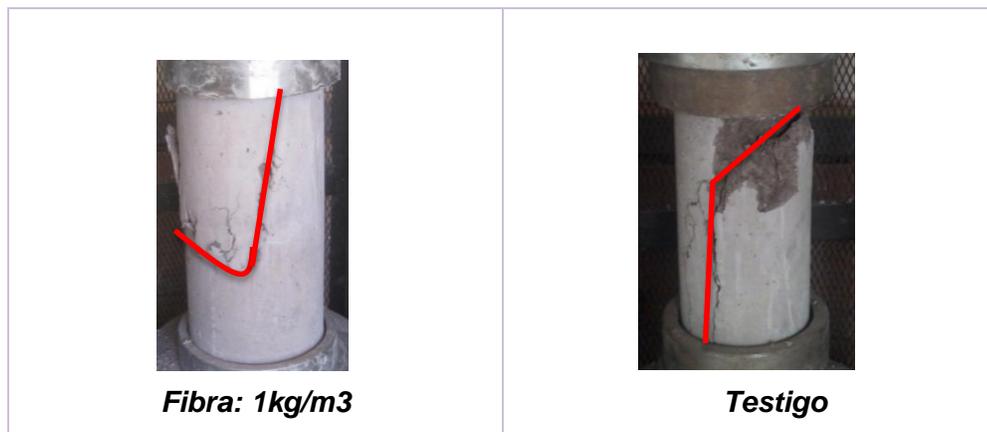
GRAFICO 10 Análisis de fallas producidas en briquetas con incorporación de fibra Tipo I, comparado con el testigo



El grafico muestra que las briquetas con incorporación de fibra de 5 kg/m³ solo presentan falla en la parte superior del cilindro siendo falla de corte superficial, el cilindro no llega a destrozarse por completo a comparación del testigo.

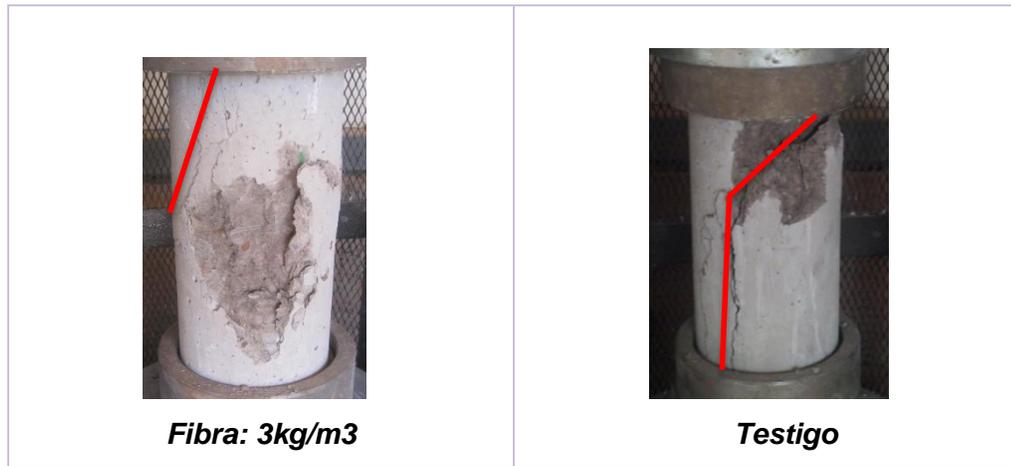
1.5.2. Fallas producidas en las briquetas incorporadas con fibras de Tipo II

GRAFICO 11 Análisis de fallas producidas en briquetas con incorporación de fibra Tipo II, comparado con el testigo



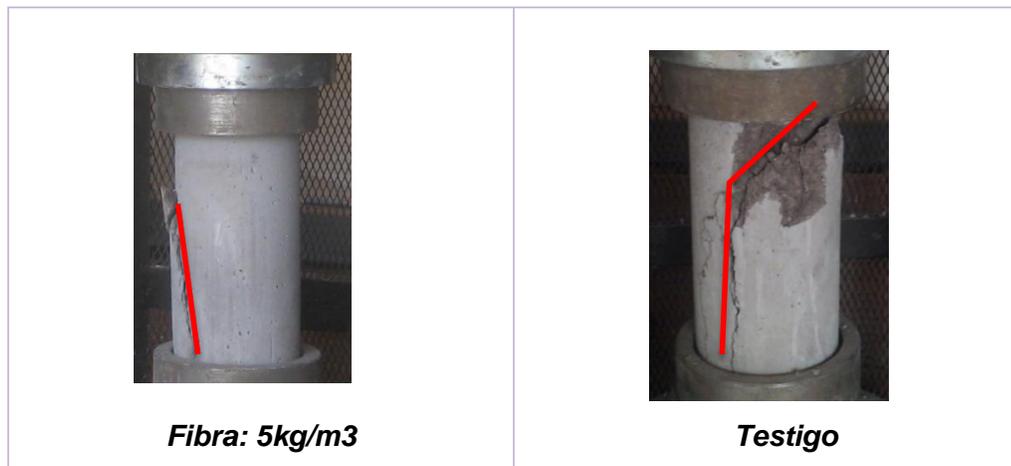
Para las fibras de Tipo II, estas presentan falla de corte superficial, en la parte media superior no llegando de destruirse con completo, a diferencia de los testigos que presentan falla de corte y se destruyen totalmente al momento de retirar de la máquina.

GRAFICO 12 Análisis de fallas producidas en briquetas con incorporación de fibra Tipo II, comparado con el testigo



Para el caso de las briquetas con incorporación de fibras de 3 kg/m³ estas presentan falla de corte superficial, presentan falla parcial en comparación de las briquetas testigo que se destruyen por completo.

GRAFICO 13 Análisis de fallas producidas en briquetas con incorporación de fibra Tipo II, comparado con el testigo



Para el caso de las briquetas con incorporación de fibras de 3 kg/m³ estas presentan falla de corte superficial, presentan falla parcial en comparación de las briquetas testigo que se destruyen por completo

CAPITULO VIII

DISCUSIONES Y CONCLUSIONES

El trabajo de investigación tuvo como propósito determinar si las si las fibras de tereftalato de polietileno (PET) mejoran la resistencia a compresión del concreto $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$; cual es la resistencia máxima alcanzada de las briquetas con la incorporación de fibras PET, cual es la mejor proporción de fibras de PET incorporadas que mejorar la resistencia y cuál es la característica más común que ofrece la rotura de briquetas con la incorporación de fibras de PET.

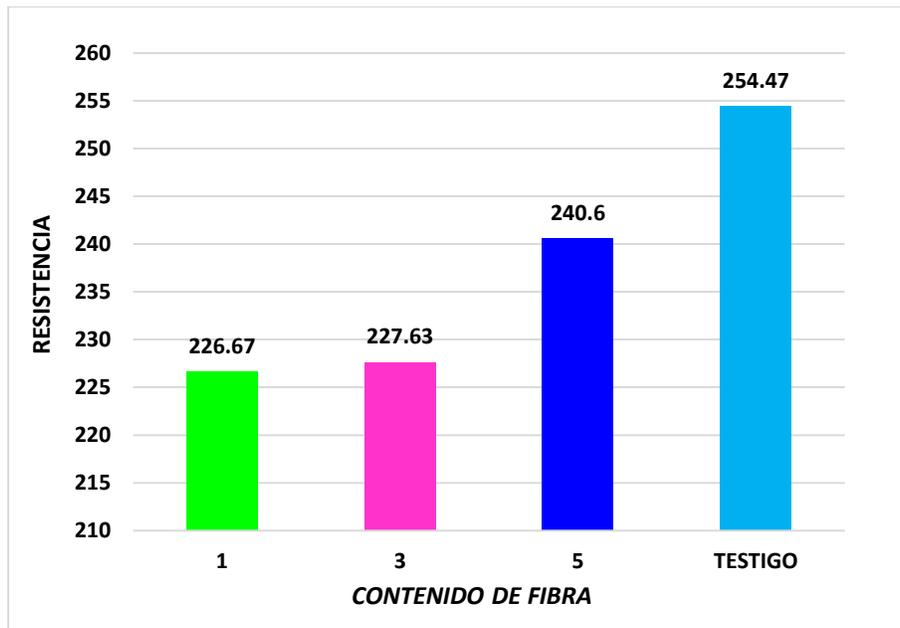
- Según **Rodríguez J. 2013**, explica que las fibras son elementos de corta longitud y pequeña sección que se incorporan a la masa del hormigón a fin de conferirle ciertas propiedades específicas. Se pueden clasificar como fibras estructurales, aquellas que proporcionan una mayor energía de rotura al hormigón en masa o fibras no estructurales, a aquellas que sin considerar en el cálculo esta energía suponen una mejora ante determinadas propiedades como por ejemplo el control de la fisuración por retracción, incremento de la resistencia al fuego, abrasión, impacto y otros.

De la investigación realizada de puede concluir que las fibras tienen que ofrecer ciertas características para poder mejorar la resistencia del concreto, en la investigación se utilizó dos tipos de fibras a continuación se describe el comportamiento de cada una de estas:

A. Para el caso de las fibras de Tipo I:

| Días Curado y Rotura | INCORPORACIÓN DE FIBRAS DE PET A LA MEZCLA DE CONCRETO $f'c 210 \text{ kg/cm}^2$ | | | |
|----------------------------|---|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|
| | <i>1 kg/m3</i> | <i>3 kg/m3</i> | <i>5 kg/m3</i> | <i>Testigo</i> |
| | Esfuerzo (kg/cm ²) | Esfuerzo (kg/cm ²) | Esfuerzo (kg/cm ²) | Esfuerzo (kg/cm ²) |
| 28 | 224.67 | 227.63 | 240.60 | 254.47 |

GRAFICO 14 Resistencia a la compresión del concreto alcanzado para el caso del Tipo I

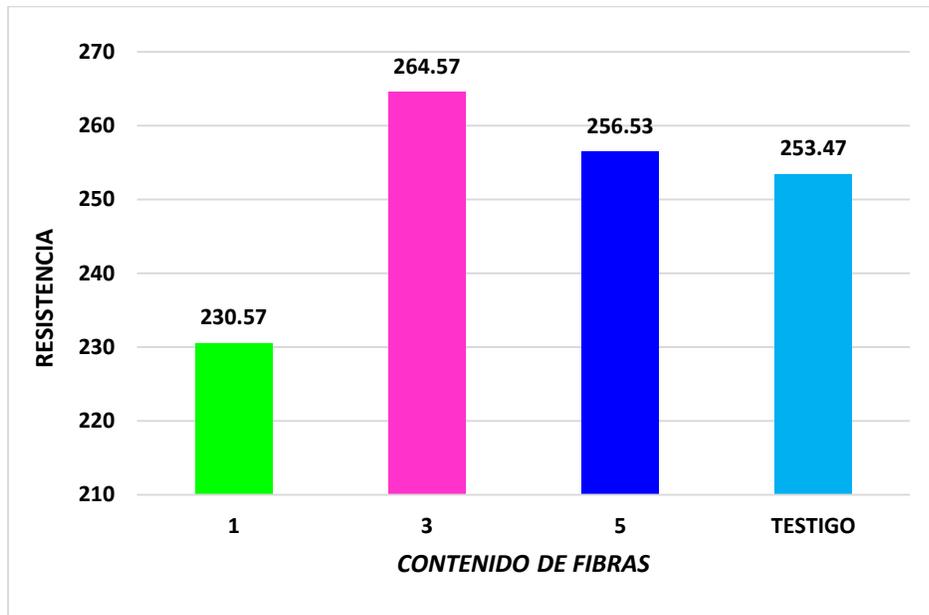


El Grafico 14 muestra que el concreto incorporado con fibras de Tipo I presentan un esfuerzo menor en comparación con el testigo. Por lo cual se concluye que estas no mejoran la resistencia del concreto.

B. Para el caso de las fibras de Tipo II:

| Días Curado y Rotura | INCORPORACIÓN DE FIBRAS DE PET A LA MEZCLA DE CONCRETO $f'c$ 210 kg/cm ² | | | |
|----------------------------|--|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|
| | 1 kg/m ³ | 3 kg/m ³ | 5 kg/m ³ | Testigo |
| | Esfuerzo (kg/cm ²) | Esfuerzo (kg/cm ²) | Esfuerzo (kg/cm ²) | Esfuerzo (kg/cm ²) |
| 28 | 230.57 | 264.57 | 256.53 | 253.47 |

GRAFICO 15 Resistencia a la compresión del concreto alcanzado para el caso del Tipo II



El gráfico 15 se aprecia el concreto reforzado con fibras de Tipo II, supero al testigo en la proporción de 3 kg/m³. Por lo cual se concluye que si mojará la resistencia en 4 %.

Con respecto a la afirmación de Rodríguez J; se está de acuerdo que las fibras trabajando estructuralmente siempre en cuando tengan la proporción adecuada y presenten ciertas características que permitan distribuir la fuerza aplicadas sobre ellas.

- Para **Zavala G. 2015**, el diseño de mortero hidráulico para construcción, con la mezcla de cemento portland, arena, agua y PET (tereftalato de polietileno, plástico con la que se elaboran los envases plásticos de las botellas de jugos, agua y gaseosa), dicha mezcla pretende ser un modelo para implementarlo como un nueva tendencia en la construcción Los elementos creados con cemento y PET en proporción 1.0:0.50, tiene un peso específico de 1.22gr/cm³; que es entre un 15% y 20%, menor que los creados con cemento y arena;

Los elementos creados con cemento y PET en proporción 1.0:0.50, tiene una resistencia a la compresión de 62.66kg/cm²; que equivale a un promedio del 40% menos que la que tienen los creados con cemento y arena; por lo que su uso se limita a espacios de circulación peatonal.

De la rotura de briquetas a los 28 días se ha obtenido en la investigación los siguientes resultados:

TABLA 38 Máxima resistencia alcanzada con incorporación de fibra

| Días Curado y Rotura | Esfuerzo Ultimo (kgf/cm2) | Promedio Esfuerzo (kgf/cm2) |
|----------------------|----------------------------|-----------------------------|
| 3 | 149.9 | 150.63 |
| 3 | 150.8 | |
| 3 | 151.2 | |
| 7 | 217.6 | 218.37 |
| 7 | 218.3 | |
| 7 | 219.2 | |
| 14 | 247.8 | 248.57 |
| 14 | 248.6 | |
| 14 | 249.3 | |
| 28 | 263.7 | 264.57 |
| 28 | 264.8 | |
| 28 | 265.2 | |

La resistencia máxima a compresión alcanzada del concreto f'c 210 kg/cm² con incorporación de fibras de PET, fue de 265.2 kgf/cm².

Con respecto a Zavala G. indica que el concreto se restringe solo a estructuras de uso peatonal, con los resultados obtenidos en la investigación se amplía el uso del concreto reforzado con fibras de PET no solo a estructuras peatonales ino también a pavimentos y estructuras como canales, muros de contención, cimentaciones, sobre cimientos, etc.

- **Cahuinca C. 2016**, sustenta que, el comportamiento que puede tener el Tereftalato de polietileno (PET) al usarla como aditivo para estabilizar y mejorar los suelos frente a las solicitaciones de carga presentes en la estructura del pavimento como es la Sub base, que es la capa en la que se enfocaron los diferentes ensayos realizados a los suelos de nuestra de las canteras de Anhuarque (Saylla) y Patapata (San Jerónimo) en Cusco.

Se realizó ensayos agregando filamentos de PET en las proporciones de 0.25, 0.30, 0.40, 0.45, y 0.50 %, en los cuales se controlaron y calcularon las variaciones en la densidad seca, que es la máxima y el índice de resistencia CBR. Concluyendo que, el incremento del CBR es directamente proporcional a la dosificación de 0.25, 0.30 y 0.35% de PET.

Con respecto al trabajo realizado por Cahuinca C, se observa que las fibras de PET reciclado están siendo usadas en otros campos de la ingeniería para mejorar las propiedades mecánicas de dichos elementos que cumplen función estructural.
- La característica más común que ofrece la rotura de briquetas reforzadas con fibras de PET es la ductilidad, porque a pesar de que fallaron, estos no se fracturaron completamente como sucedió con el concreto simple sin fibras.
- Con el uso de las botellas de plástico reciclado como fibras incorporadas al concreto simple se reduciría el impacto negativo que genera la contaminación del plástico (botellas), las cuales no siempre son recicladas en su totalidad teniendo como destino final ríos y quebradas generando contaminación ambiental.
- Todas las obras de concreto simple (veredas, canales, cimientos, sobre cimientos, muros de contención y otros) pueden ser mejoradas en 4 % aproximadamente de su resistencia inicial con la incorporación de Tereftalato de Polietileno.

RECOMENDACIONES

- Continuar con esta investigación elaborando vigas de prueba que permitan determinar resistencia a la tensión y compresión al concreto incorporando fibras de PET reciclado.
- Realizar estudios de investigación sobre el comportamiento del concreto con la incorporación de fibras de PET a diferentes proporciones con otras canteras de Cusco.
- Evaluar comportamiento del concreto adicionando otros tipo de fibras (recicladas), existentes en nuestro medio.

REFERENCIA BIBLIOGRAFICA

- Abanto F. (1998), "TECNOLOGIA DEL CONCRETO" (TEORIA Y PRACTICA), EDITORIAL: SAN MARCOS, LIMA, PERU.
- Fernández, C. M. (2003). "Hormigones con fibras: tecnología y propiedades generales". Hormigón y Acero (228-229), 167-176.
- Gutiérrez de L. L. (2003), "EL CONCRETO Y OTROS MATERIALES PARA LA CONSTRUCCION", EDITOR: UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA, EDICION: SEGUNDA, Manizales, Colombia.
- Gonzáles B. y Mongue A. (2011), "RECOMENDACIONES PARA OBTENER RESULTADOS CONFIABLES DE RESISTENCIA DE CILINDROS DE CONCRETO".
- Irías Pinedo Ana S. (2013). "REFUERZO DE ELEMENTOS ESTRUCTURALES CON HORMIGONES CON FIBRAS O SOLO FIBRAS", Universidad Politécnica de Madrid.
- López J. (2015) "ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES DEL CONCRETO REFORZADO CON FIBRAS CORTAS DE ACERO Y MACROFIBRAS DE POLIPROPILENO: INFLUENCIA DEL TIPO Y CONSUMO DE FIBRA ADICIONAD", Universidad Nacional Autónoma de México.
- Laura S. (2006), "DISEÑO DE MEZCLAS DE CONCRETO"
- Maronese A. (2012). "DEL DESECHO AL HECHO, UN PABELLÓN A PARTIR DE BOTELLAS DE PLÁSTICO RECICLADO". Universidad Simón Bolívar.
- Morales S. (2008). "FIBRA DE VIDRIO, PRUEBAS Y APLICACIONES", Instituto Politécnico Nacional, México.
- Rodríguez L. F. & Prado P-S. D. (1984). "Hormigón con la incorporación de fibras". Revista de Obras Públicas (3154), 79-96.
- Rodríguez J. y Segura E. (2013), "ANÁLISIS COMPARATIVO DEL EFECTO DE LOS DISTINTOS TIPOS DE FIBRAS EN EL COMPORTAMIENTO POST FISURA DEL HORMIGÓN REFORZADO CON FIBRAS", Universidad Politécnica de Valencia.

- Sanchez F. y Tapia R. (2015), “RELACION DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESION DE CILINDROS DE CONCRETO A EDADES DE 3, 7, 14, 28 Y 56 DIAS RESPECTO A LA RESISTENCIA A LA COMPRESION DE CILINDROS DE CONCRETO A EDAD DE 28 DIAS”, Universidad Privada Antenor Orrego.
- SIKA SAC. (2014). “CONCRETO REFORZADO CON FIBRAS”, de per.sika.com/dms/...get/.../Concreto%20Reforzado%20con%20Fibras_Brochure.pdf.
- Universidad San Pedro (2004). “Tecnología del Concreto”, recuperado de: <https://es.scribd.com/doc/187691568/Segregacion-y-Exudacion>.
- CEMEX (2014), “CONCRETO CON FIBRAS SINTETICAS”, recuperado de <http://www.cemexcolombia.com/SolucionesConstructor/files/FibrasSinteticas.pdf>.
- Causas, Evaluación y Reparación de Fisuras en Estructuras de Hormigón, recuperado de http://www.inti.gob.ar/cirsoc/pdf/publicom/Causas_evaluacion_reparacion.pdf
- (1) El concreto Capítulo I, recuperado de: [\(www.biblioteca.udep.edu.pe/bibvirudep/tesis/\)](http://www.biblioteca.udep.edu.pe/bibvirudep/tesis/).
- INTRODUCCION A LA QUIMICA DE LOS POLIMEROS, recuperado de <http://www6.uniovi.es/usr/fblanco/Tema1.EstructuraPOLIMEROS.2007.pdf>
- (3) TIPO DE CEMENTO, recuperado de www.dino.com.pe/download/?file=100611_Cemento_y_sus_aplicaciones.pdf
- INDUSTRIAS JQ, PLASTICO DE INGENIERIA, recuperado de <http://www.jq.com.ar/Imagenes/Productos/PET/dtecnicos/dtecnicos.htm>
- INDUSTRIAS JQ, PLASTICO DE INGENIERIA, recuperado de <http://www.jq.com.ar/Imagenes/Productos/PET/dtecnicos/dtecnicos.htm>
- (2) INDUSTRIA DE PLASTICO EN PERÚ, recuperado de: http://www.biblioteca.udep.edu.pe/bibvirudep/tesis/pdf/1_63_186_28_557.pdf
- Método de Comité 211 del ACI, recuperado de <http://es.slideshare.net/JoseCarlosOnofre/diseo-de-mezclas>
- (3) Plástico en el Perú recuperado de

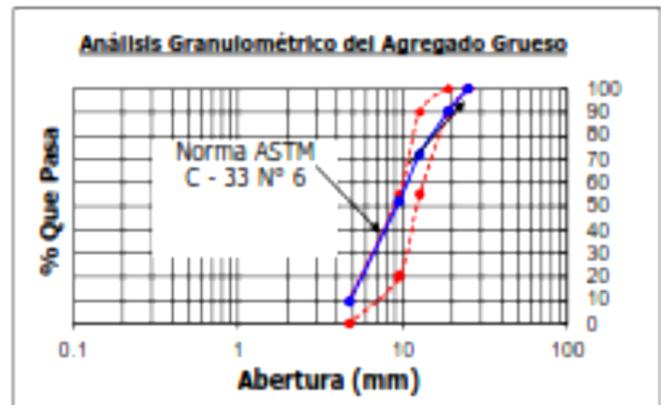
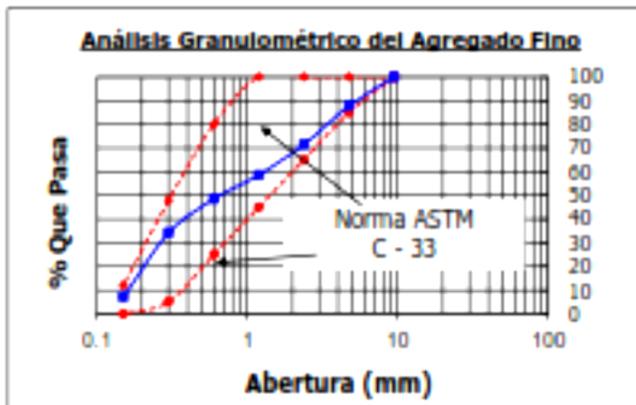
<http://www6.uniovi.es/usr/fblanco/Tema1.EstructuraPOLIMEROS.2007.pdf>

- Método de Comité 211 del ACI, recuperado de <http://es.slideshare.net/JoseCarlosOnofre/diseo-de-mezclas>

ANEXO

ANEXO TABLA 1 Resumen de las características de los Agregados

| | Agregado Fino Cantera de Hatun Rumioc II | Agregado Grueso Cantera de Córdoba |
|--|---|---|
| Módulo de Finura | 4.97 | |
| Tamaño Máximo Nominal | | 1/2" |
| Peso Unitario Seco y Suelto | 2646 | 2548 |
| Peso Específico de los Sólidos | 2.598 | 2.509 |
| Contenido Natural de Humedad (w%) | 4.74 | 0.42 |
| Porcentaje de Absorción (%) | 1.833 | 1.351 |

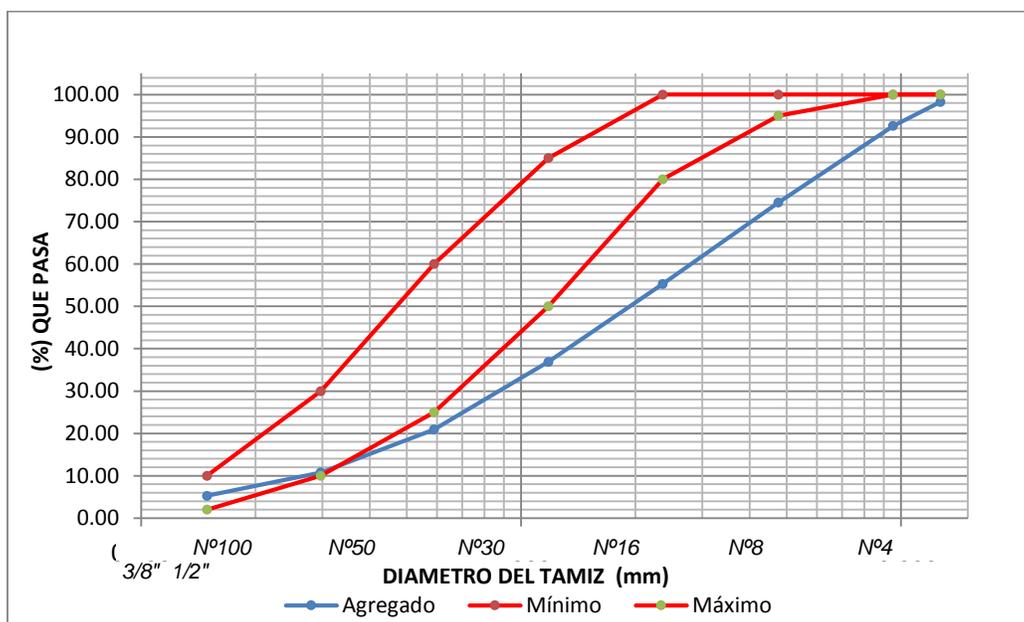


ANEXO TABLA 2 Análisis Granulométrico por Tamizado para el Agregado Fino (NTP 339.128)

| TAMIZ | DIAMETRO DEL TAMIZ | PESO RETENIDO (gr) | (%) RETENIDO | (%) RET. ACUM. | (%) Q' PASA | MINIMO | MAXIMO |
|--------|--------------------|--------------------|--------------|----------------|-------------|--------|--------|
| 1/2" | 12.700 | 30 | 1.73 | 1.73 | 98.27 | 100 | 100 |
| 3/8" | 9.525 | 98 | 5.65 | 7.38 | 92.62 | 100 | 100 |
| N° 4 | 4.75 | 314 | 18.11 | 25.49 | 74.51 | 100 | 95 |
| N° 8 | 2.36 | 333 | 19.20 | 44.69 | 55.31 | 100 | 80 |
| N° 16 | 1.18 | 319 | 18.40 | 63.09 | 36.91 | 85 | 50 |
| N° 30 | 0.59 | 277 | 15.97 | 79.07 | 20.93 | 60 | 25 |
| N° 50 | 0.297 | 176 | 10.15 | 89.22 | 10.78 | 30 | 10 |
| N° 100 | 0.149 | 96 | 5.54 | 94.75 | 5.25 | 10 | 2 |
| FONDO | 0.000 | 91 | 5.25 | 100.00 | 0.00 | | |
| | SUMA | 1734.00 | 98.27 | | | | |

Módulo de fineza= **4.04**

Curva Granulométrica del Agregado Fino

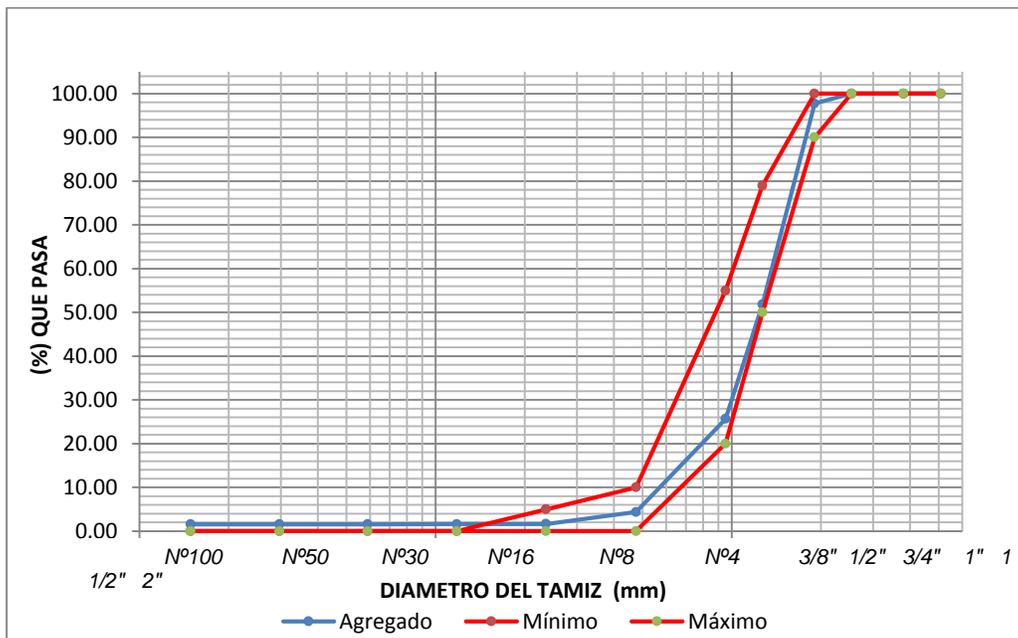


ANEXO TABLA 3 Análisis Granulométrico por Tamizado para el Agregado Grueso (NTP 339.128)

| TAMIZ | DIAMETRO DEL TAMIZ | PESO RETENIDO (gr) | (%) RETENIDO | (%) RET. ACUM. | (%) Q' PASA | MINIMO | MAXIMO |
|--------|--------------------|--------------------|--------------|----------------|-------------|--------|--------|
| 2" | 50.800 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 100.00 | 100 | 100 |
| 1 1/2" | 38.1 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 100.00 | 100 | 100 |
| 1" | 25.4 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 100.00 | 100 | 100 |
| 3/4" | 19.05 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 100.00 | 100 | 90 |
| 1/2" | 12.700 | 6921.00 | 49.38 | 49.38 | 50.62 | 79 | 50 |
| 3/8" | 9.525 | 3678.00 | 26.24 | 75.62 | 24.38 | 55 | 20 |
| N° 4 | 4.75 | 3204.00 | 22.86 | 98.48 | 1.52 | 10 | 0 |
| N° 8 | 2.36 | 82.00 | 0.59 | 99.07 | 0.93 | 5 | 0 |
| N° 16 | 1.18 | 7.00 | 0.05 | 99.12 | 0.88 | 0 | 0 |
| N° 30 | 0.59 | 0.00 | 0.00 | 99.12 | 0.88 | 0 | 0 |
| N° 50 | 0.297 | 0.00 | 0.00 | 99.12 | 0.88 | 0 | 0 |
| N° 100 | 0.149 | 0.00 | 0.00 | 99.12 | 0.88 | 0 | 0 |
| FONDO | 0.000 | 124.00 | 0.88 | 100.00 | 0.00 | | |
| | SUMA | 14016.00 | 100.00 | | | | |

Módulo de fineza= **6.64**

Curva Granulométrica del Agregado Grueso



ANEXO TABLA 4 Peso Específico de los Agregados

| PROPIEDADES FISICAS DEL AGREGADO FINO | | | |
|---------------------------------------|---------------------------------|----------------------------|---------------------------------|
| PESO ESPECIFICO FINO | | PESO ESPECIFICO GRUESO | |
| P. muestra s.s.s = | 500 gr | P. muestra s.s.s = | 350 gr |
| Peso fiola + agua | 654 gr | Volumen inicial en probeta | 350 cm ³ |
| P. fiola + P.sss + Agua | 965 gr | Volumen final en probeta | 487.5 cm ³ |
| Volumen sss | 189 cm ³ | Volumen desplazado | 137.5 gr |
| P muestra seca = | 491 gr | P. muestra seca | 345 gr |
| P.E m = | 2.598 gr/cm ³ | P.E m = | 2.509 gr/cm ³ |
| P.E sss = | 2.646 gr/cm ³ | P.E sss = | 2.545 gr/cm ³ |
| Absorción = | 1.833 % | Absorción = | 1.449 % |

ANEXO TABLA 5 Contenido de Humedad

| CONTENIDO DE HUMEDAD A. FINO | | |
|------------------------------|-------------|-----|
| Arena Húmeda = | 420.00 | gr |
| Arena seca = | 401.00 | gr |
| Humedad = | 4.74 | % |
| Factor de humedad = | 2.91 | % |
| MALLA 200 | | |
| Arena Seca = | 598 | gr. |
| Arena lavada seca = | 547 | gr. |

| CONTENIDO DE HUMEDADVA. GRUESO | | |
|--------------------------------|--------------|----|
| Piedra Húmeda = | 483.00 | gr |
| Piedra seca = | 481.00 | gr |
| Humedad = | 0.42 | % |
| Factor de humedad = | -1.03 | % |

ANEXO TABLA 6 Hoja Excel para el diseño de mezcla para las briquetas testigos sin fibra

| | | | | | | | | | | | | |
|------------------------------|-------------------------------|---------------------------------|--|---|---------------------------|---|--|--------|-----|-------|------|------|
| Código de ensayo : 01 | | | | | | | | | | | | |
| | | | | A/C = 0.7 | | | | % | M.F | %ABS. | %HUM | |
| CEMENTO | | | | | | | | ARENA | 65 | 4.04 | 1.83 | 4.74 |
| MARCA y TIPO | | | | | | | | PIEDRA | 35 | 6.70 | 1.45 | 0.42 |
| YURA HE | | | | | | | | GLOBAL | 100 | 4.97 | | |
| Materiales | P.E (kg/m³) | Volume n (m³) | Diseño seco para 1m³ | Diseño s.s.s para 1m³ | Correc. por humed. | Diseño correg. para 1m³ | Diseño corregido para Laboratorio | | | | | |
| Cemento | 3150 | 0.1048 | 330 kg | 330 kg | | 330 kg | 9.24 kg | | | | | |
| Agua | 1000 | 0.2310 | 260 L | 231 kg | | 205 L | 5.74 kg | | | | | |
| Arena | 2646 | 0.4253 | 1105 kg | 1125 kg | 32 | 1157 kg | 32.40 kg | | | | | |
| Piedra | 2545 | 0.2290 | 575 kg | 583 kg | -6 | 577 kg | 16.15 kg | | | | | |
| Aire | 100 | 0.0100 | 1.0 % | 1.00 % | | 1.0 % | 0.03 % | | | | | |
| Total | | 1.0000 | 2269 | 2269 | | 2269 | | | | | | |

ANEXO TABLA 7 Hoja Excel para el diseño de mezcla para la proporción de 1 kg fibra incrementada

| | | | | | | | | | | | | |
|------------------------------|-------------------------------|--------------------------------|--|---|---------------------------|---|--|--------|-----|-------|-------|------|
| Código de ensayo : 02 | | | | | | | | | | | | |
| | | | | A/C = 0.7 | | | | % | M.F | %ABS. | %HUM. | |
| CEMENTO | | | | | | | | ARENA | 65 | 4.04 | 1.83 | 4.74 |
| MARCA y TIPO | | | | | | | | PIEDRA | 35 | 6.64 | 1.45 | 0.42 |
| YURA HE | | | | | | | | GLOBAL | 100 | 4.95 | | |
| Materiales | P.E (kg/m³) | Volumen (m³) | Diseño seco para 1m³ | Diseño s.s.s para 1m³ | Correc. por humed. | Diseño correg. para 1m³ | Diseño corregido para Laboratorio | | | | | |
| Cemento | 3150 | 0.1048 | 330 kg | 330 kg | | 330 kg | 9.24 kg | | | | | |
| Agua | 1000 | 0.2310 | 260 L | 231 kg | | 205 L | 5.74 kg | | | | | |
| Arena | 2646 | 0.4253 | 1105 kg | 1125 kg | 32 | 1157 kg | 32.40 kg | | | | | |
| Piedra | 2545 | 0.2290 | 575 kg | 583 kg | -6 | 577 kg | 16.15 kg | | | | | |
| Plástico | 1390 | 0.00071 | 1 kg | 1 kg | | 1.0 kg | 0.03 kg | | | | | |
| Aire | 100 | 0.0100 | 1.0 % | 1.00 % | | 1.0 % | 1.00 % | | | | | |
| Total | | 1.0000 | 2270 | 2270 | | 2270 | | | | | | |

ANEXO TABLA 8 Hoja Excel para el diseño de mezcla para la proporción de 3 kg fibra incrementada

| Código de ensayo : | | 03 | | | | % | M.F | %ABS. | %HUM. | |
|--------------------|--------------------------|---------------------------|----------------------------------|-----------------------------------|--------------------|-------------------------------------|-----------------------------------|-------|-------|------|
| CEMENTO | | | | A/C = | 0.7 | ARENA | 65 | 4.04 | 1.83 | 4.74 |
| MARCA y TIPO | | | | | | PIEDRA | 35 | 6.64 | 1.45 | 0.42 |
| YURA HE | | | | | | GLOBAL | 100 | 4.95 | | |
| Materiales | P.E (kg/m ³) | Volumen (m ³) | Diseño seco para 1m ³ | Diseño s.s.s para 1m ³ | Correc. por humed. | Diseño correg. para 1m ³ | Diseño corregido para Laboratorio | | | |
| Cemento | 3150 | 0.1048 | 330 kg | 330 kg | | 330 kg | 9.24 kg | | | |
| Agua | 1000 | 0.2310 | 260 L | 231 kg | | 205 L | 5.74 kg | | | |
| Arena | 2646 | 0.4253 | 1105 kg | 1125 kg | 32 | 1157 kg | 32.40 kg | | | |
| Piedra | 2545 | 0.2290 | 575 kg | 583 kg | -6 | 577 kg | 16.15 kg | | | |
| F. Plástico | 1390 | 0.00215 | 3 kg | 3 kg | | 3.0 kg | 0.08 kg | | | |
| Aire | 100 | 0.0100 | 1.0 % | 1.00 % | | 1.0 % | 1.00 % | | | |
| Total | | 1.0000 | 2272 | 2272 | | 2272 | | | | |

ANEXO TABLA 9 Hoja Excel para el diseño de mezcla para la proporción de 3 kg fibra incrementada

| Código de ensayo : | | 04 | | | | % | M.F | %ABS. | %HUM. | |
|--------------------|--------------------------|---------------------------|----------------------------------|-----------------------------------|--------------------|-------------------------------------|-----------------------------------|-------|-------|------|
| CEMENTO | | | | A/C = | 0.7 | ARENA | 65 | 4.04 | 1.83 | 4.74 |
| MARCA y TIPO | | | | | | PIEDRA | 35 | 6.70 | 1.45 | 0.42 |
| YURA HE | | | | | | GLOBAL | 100 | 4.97 | | |
| Materiales | P.E (kg/m ³) | Volumen (m ³) | Diseño seco para 1m ³ | Diseño s.s.s para 1m ³ | Correc. por humed. | Diseño correg. para 1m ³ | Diseño corregido para Laboratorio | | | |
| Cemento | 3150 | 0.1048 | 330 kg | 330 kg | | 330 kg | 9.24 kg | | | |
| Agua | 1000 | 0.2310 | 260 L | 231 kg | | 205 L | 5.74 kg | | | |
| Arena | 2646 | 0.4253 | 1105 kg | 1125 kg | 32 | 1157 kg | 32.40 kg | | | |
| Piedra | 2545 | 0.2290 | 575 kg | 583 kg | -6 | 577 kg | 16.15 kg | | | |
| F. Plastico | 1390 | 0.00359 | 5 kg | 5 kg | | 5.0 kg | 0.14 kg | | | |
| Aire | 100 | 0.0100 | 1.0 % | 1.00 % | | 1.0 % | 0.03 % | | | |
| Total | | 1.0000 | 2269 | 2269 | | 2269 | | | | |

ANEXO TABLA 10 Fichas de registro de roturas

| REGISTRO DE ROTURAS DE BRIQUETAS | | | | | | | | | | |
|----------------------------------|----------------------|------------|--------|-------|-------|-------|-----------|--------|--------|-----------|
| Tipo de Briqueta | Testigo | | | | | | | | | |
| Lugar | Planta e Mixer Cusco | | | | | | | | | |
| Fecha de Moldeo | Fecha ensayo | Hora | Edad | H | D | Area | Carga | | F'c | F'c prom. |
| | | | (dias) | (cm) | (cm) | (cm2) | Fuerza | (unid) | kg/cm2 | kg/cm2 |
| 29/08/2016 | 01/09/2016 | 10:30 a.m. | 3 | 20.00 | 10.00 | 78.54 | 11066.286 | kg | 140.9 | 141.5 |
| | | | | 20.00 | 10.00 | 78.54 | 11105.556 | kg | 141.4 | |
| | | | | 20.00 | 10.00 | 78.54 | 11160.534 | kg | 142.1 | |
| 29/08/2016 | 05/09/2016 | 10:30 a.m. | 7 | 20.00 | 10.00 | 78.54 | 17051.034 | kg | 217.1 | 217.7 |
| | | | | 20.00 | 10.00 | 78.54 | 17113.866 | kg | 217.9 | |
| | | | | 20.00 | 10.00 | 78.54 | 17137.428 | kg | 218.2 | |
| 29/08/2016 | 12/09/2016 | 11:00 a.m. | 14 | 20.00 | 10.00 | 78.54 | 19312.986 | kg | 245.9 | 246.6 |
| | | | | 20.00 | 10.00 | 78.54 | 19367.964 | kg | 246.6 | |
| | | | | 20.00 | 10.00 | 78.54 | 19415.088 | kg | 247.2 | |
| 29/08/2016 | 26/09/2016 | 10:00 a.m. | 28 | 20.00 | 10.00 | 78.54 | 19933.452 | kg | 253.8 | 254.5 |
| | | | | 20.00 | 10.00 | 78.54 | 19964.868 | kg | 254.2 | |
| | | | | 20.00 | 10.00 | 78.54 | 20059.116 | kg | 255.4 | |
| Observaciones: | | | | | | | | | | |

| REGISTRO DE ROTURAS DE BRIQUETAS | | | | | | | | | | |
|---|--|-------------|---------------|-------------|-------------|--------------|---------------|---------------|---------------|------------------|
| Tipo de Briqueta | Incorporacion de fibras de PET Tipo I - 1kg/ m3 | | | | | | | | | |
| Lugar | Planta e Mixer Cusco | | | | | | | | | |
| Fecha de Moldeo | Fecha ensayo | Hora | Edad | H | D | Area | Carga | | F'c | F'c prom. |
| | | | (dias) | (cm) | (cm) | (cm2) | Fuerza | (unid) | kg/cm2 | kg/cm2 |
| 29/08/2016 | 01/09/2016 | 10:30 a.m. | 3 | 20.00 | 10.00 | 78.54 | 7916.832 | kg | 100.8 | 101.2 |
| | | | | 20.00 | 10.00 | 78.54 | 7948.248 | kg | 101.2 | |
| | | | | 20.00 | 10.00 | 78.54 | 7979.664 | kg | 101.6 | |
| 29/08/2016 | 05/09/2016 | 10:30 a.m. | 7 | 20.00 | 10.00 | 78.54 | 13186.866 | kg | 167.9 | 168.6 |
| | | | | 20.00 | 10.00 | 78.54 | 13249.698 | kg | 168.7 | |
| | | | | 20.00 | 10.00 | 78.54 | 13288.968 | kg | 169.2 | |
| 29/08/2016 | 12/09/2016 | 11:00 a.m. | 14 | 20.00 | 10.00 | 78.54 | 16328.466 | kg | 207.9 | 208.6 |
| | | | | 20.00 | 10.00 | 78.54 | 16399.152 | kg | 208.8 | |
| | | | | 20.00 | 10.00 | 78.54 | 16422.714 | kg | 209.1 | |
| 29/08/2016 | 26/09/2016 | 10:00 a.m. | 28 | 20.00 | 10.00 | 78.54 | 17585.106 | kg | 223.9 | 224.7 |
| | | | | 20.00 | 10.00 | 78.54 | 17647.938 | kg | 224.7 | |
| | | | | 20.00 | 10.00 | 78.54 | 17702.916 | kg | 225.4 | |
| Observaciones: | | | | | | | | | | |

| REGISTRO DE ROTURAS DE BRIQUETAS | | | | | | | | | | |
|---|---|-------------|---------------|-------------|-------------|--------------|---------------|---------------|---------------|------------------|
| Tipo de Briqueta | Incorporación de fibras de PET Tipo I - 3 kg/ m3 | | | | | | | | | |
| Lugar | Planta e Mixer Cusco | | | | | | | | | |
| Fecha de Moldeo | Fecha ensayo | Hora | Edad | H | D | Área | Carga | | F'c | F'c prom. |
| | | | (días) | (cm) | (cm) | (cm2) | Fuerza | (unid) | kg/cm2 | kg/cm2 |
| 29/08/2016 | 01/09/2016 | 10:30 a.m. | 3 | 20.00 | 10.00 | 78.54 | 10799.25 | kg | 137.5 | 138.3 |
| | | | | 20.00 | 10.00 | 78.54 | 10885.644 | kg | 138.6 | |
| | | | | 20.00 | 10.00 | 78.54 | 10909.206 | kg | 138.9 | |
| 29/08/2016 | 05/09/2016 | 10:30 a.m. | 7 | 20.00 | 10.00 | 78.54 | 15621.606 | kg | 198.9 | 199.5 |
| | | | | 20.00 | 10.00 | 78.54 | 15660.876 | kg | 199.4 | |
| | | | | 20.00 | 10.00 | 78.54 | 15731.562 | kg | 200.3 | |
| 29/08/2016 | 12/09/2016 | 11:00 a.m. | 14 | 20.00 | 10.00 | 78.54 | 17184.552 | kg | 218.8 | 219.5 |
| | | | | 20.00 | 10.00 | 78.54 | 17239.53 | kg | 219.5 | |
| | | | | 20.00 | 10.00 | 78.54 | 17286.654 | kg | 220.1 | |
| 29/08/2016 | 26/09/2016 | 10:00 a.m. | 28 | 20.00 | 10.00 | 78.54 | 17820.726 | kg | 226.9 | 227.6 |
| | | | | 20.00 | 10.00 | 78.54 | 17875.704 | kg | 227.6 | |
| | | | | 20.00 | 10.00 | 78.54 | 17938.536 | kg | 228.4 | |
| Observaciones: | | | | | | | | | | |

| REGISTRO DE ROTURAS DE BRIQUETAS | | | | | | | | | | |
|---|---|-------------|---------------|-------------|-------------|--------------|---------------|---------------|---------------|------------------|
| Tipo de Briqueta | Incorporacion de fibras de PET Tipo I - 5 kg/ m3 | | | | | | | | | |
| Lugar | Planta e Mixer Cusco | | | | | | | | | |
| Fecha de Moldeo | Fecha ensayo | Hora | Edad | H | D | Area | Carga | | F'c | F'c prom. |
| | | | (dias) | (cm) | (cm) | (cm2) | Fuerza | (unid) | kg/cm2 | kg/cm2 |
| 29/08/2016 | 01/09/2016 | 10:30 a.m. | 3 | 20.00 | 10.00 | 78.54 | 11144.826 | kg | 141.9 | 142.6 |
| | | | | 20.00 | 10.00 | 78.54 | 11207.658 | kg | 142.7 | |
| | | | | 20.00 | 10.00 | 78.54 | 11246.928 | kg | 143.2 | |
| 29/08/2016 | 05/09/2016 | 10:30 a.m. | 7 | 20.00 | 10.00 | 78.54 | 16791.852 | kg | 213.8 | 214.6 |
| | | | | 20.00 | 10.00 | 78.54 | 16878.246 | kg | 214.9 | |
| | | | | 20.00 | 10.00 | 78.54 | 16901.808 | kg | 215.2 | |
| 29/08/2016 | 12/09/2016 | 11:00 a.m. | 14 | 20.00 | 10.00 | 78.54 | 18527.586 | kg | 235.9 | 236.7 |
| | | | | 20.00 | 10.00 | 78.54 | 18598.272 | kg | 236.8 | |
| | | | | 20.00 | 10.00 | 78.54 | 18637.542 | kg | 237.3 | |
| 29/08/2016 | 26/09/2016 | 10:00 a.m. | 28 | 20.00 | 10.00 | 78.54 | 18826.038 | kg | 239.7 | 240.6 |
| | | | | 20.00 | 10.00 | 78.54 | 18912.432 | kg | 240.8 | |
| | | | | 20.00 | 10.00 | 78.54 | 18951.702 | kg | 241.3 | |
| Observaciones: | | | | | | | | | | |

| REGISTRO DE ROTURAS DE BRIQUETAS | | | | | | | | | | |
|---|---|-------------|---------------|-------------|-------------|--------------|---------------|---------------|---------------|------------------|
| Tipo de Briqueta | Incorporación de fibras de PET Tipo II - 1kg/ m3 | | | | | | | | | |
| Lugar | Planta e Mixer Cusco | | | | | | | | | |
| Fecha de Moldeo | Fecha ensayo | Hora | Edad | H | D | Área | Carga | | F'c | F'c prom. |
| | | | (días) | (cm) | (cm) | (cm2) | Fuerza | (unid) | kg/cm2 | kg/cm2 |
| 29/08/2016 | 01/09/2016 | 10:30 a.m. | 3 | 20.00 | 10.00 | 78.54 | 9259.866 | kg | 117.9 | 118.6 |
| | | | | 20.00 | 10.00 | 78.54 | 9306.99 | kg | 118.5 | |
| | | | | 20.00 | 10.00 | 78.54 | 9377.676 | kg | 119.4 | |
| 29/08/2016 | 05/09/2016 | 10:30 a.m. | 7 | 20.00 | 10.00 | 78.54 | 14679.126 | kg | 186.9 | 187.6 |
| | | | | 20.00 | 10.00 | 78.54 | 14734.104 | kg | 187.6 | |
| | | | | 20.00 | 10.00 | 78.54 | 14789.082 | kg | 188.3 | |
| 29/08/2016 | 12/09/2016 | 11:00 a.m. | 14 | 20.00 | 10.00 | 78.54 | 17263.092 | kg | 219.8 | 220.5 |
| | | | | 20.00 | 10.00 | 78.54 | 17325.924 | kg | 220.6 | |
| | | | | 20.00 | 10.00 | 78.54 | 17373.048 | kg | 221.2 | |
| 29/08/2016 | 26/09/2016 | 10:00 a.m. | 28 | 20.00 | 10.00 | 78.54 | 18048.492 | kg | 229.8 | 230.6 |
| | | | | 20.00 | 10.00 | 78.54 | 18103.47 | kg | 230.5 | |
| | | | | 20.00 | 10.00 | 78.54 | 18174.156 | kg | 231.4 | |
| Observaciones: | | | | | | | | | | |

| REGISTRO DE ROTURAS DE BRIQUETAS | | | | | | | | | | |
|---|---|-------------|---------------|-------------|-------------|--------------|---------------|---------------|---------------|------------------|
| Tipo de Briqueta | Incorporación de fibras de PET Tipo II - 3kg/ m3 | | | | | | | | | |
| Lugar | Planta e Mixer Cusco | | | | | | | | | |
| Fecha de Moldeo | Fecha ensayo | Hora | Edad | H | D | Área | Carga | | F'c | F'c prom. |
| | | | (días) | (cm) | (cm) | (cm2) | Fuerza | (unid) | kg/cm2 | kg/cm2 |
| 29/08/2016 | 01/09/2016 | 10:30 a.m. | 3 | 20.00 | 10.00 | 78.54 | 11773.146 | kg | 149.9 | 150.6 |
| | | | | 20.00 | 10.00 | 78.54 | 11843.832 | kg | 150.8 | |
| | | | | 20.00 | 10.00 | 78.54 | 11875.248 | kg | 151.2 | |
| 29/08/2016 | 05/09/2016 | 10:30 a.m. | 7 | 20.00 | 10.00 | 78.54 | 17090.304 | kg | 217.6 | 218.4 |
| | | | | 20.00 | 10.00 | 78.54 | 17145.282 | kg | 218.3 | |
| | | | | 20.00 | 10.00 | 78.54 | 17215.968 | kg | 219.2 | |
| 29/08/2016 | 12/09/2016 | 11:00 a.m. | 14 | 20.00 | 10.00 | 78.54 | 19462.212 | kg | 247.8 | 248.6 |
| | | | | 20.00 | 10.00 | 78.54 | 19525.044 | kg | 248.6 | |
| | | | | 20.00 | 10.00 | 78.54 | 19580.022 | kg | 249.3 | |
| 29/08/2016 | 26/09/2016 | 10:00 a.m. | 28 | 20.00 | 10.00 | 78.54 | 20710.998 | kg | 263.7 | 264.6 |
| | | | | 20.00 | 10.00 | 78.54 | 20797.392 | kg | 264.8 | |
| | | | | 20.00 | 10.00 | 78.54 | 20828.808 | kg | 265.2 | |
| Observaciones: | | | | | | | | | | |

| REGISTRO DE ROTURAS DE BRIQUETAS | | | | | | | | | | |
|----------------------------------|--|------------|-------------|--------|--------|------------|-----------|--------|------------|------------------|
| Tipo de Briqueta | Incorporación de fibras de PET Tipo II - 5kg/ m3 | | | | | | | | | |
| Lugar | Planta e Mixer Cusco | | | | | | | | | |
| Fecha de Moldeo | Fecha ensayo | Hora | Edad (días) | H (cm) | D (cm) | Área (cm2) | Carga | | F'c kg/cm2 | F'c prom. kg/cm2 |
| | | | | | | | Fuerza | (unid) | | |
| 29/08/2016 | 01/09/2016 | 10:30 a.m. | 3 | 20.00 | 10.00 | 78.54 | 11537.526 | kg | 146.9 | 147.6 |
| | | | | 20.00 | 10.00 | 78.54 | 11600.358 | kg | 147.7 | |
| | | | | 20.00 | 10.00 | 78.54 | 11647.482 | kg | 148.3 | |
| 29/08/2016 | 05/09/2016 | 10:30 a.m. | 7 | 20.00 | 10.00 | 78.54 | 17027.472 | kg | 216.8 | 217.5 |
| | | | | 20.00 | 10.00 | 78.54 | 17090.304 | kg | 217.6 | |
| | | | | 20.00 | 10.00 | 78.54 | 17129.574 | kg | 218.1 | |
| 29/08/2016 | 12/09/2016 | 11:00 a.m. | 14 | 20.00 | 10.00 | 78.54 | 19391.526 | kg | 246.9 | 247.7 |
| | | | | 20.00 | 10.00 | 78.54 | 19462.212 | kg | 247.8 | |
| | | | | 20.00 | 10.00 | 78.54 | 19501.482 | kg | 248.3 | |
| 29/08/2016 | 26/09/2016 | 10:00 a.m. | 28 | 20.00 | 10.00 | 78.54 | 20090.532 | kg | 255.8 | 256.5 |
| | | | | 20.00 | 10.00 | 78.54 | 20145.51 | kg | 256.5 | |
| | | | | 20.00 | 10.00 | 78.54 | 20208.342 | kg | 257.3 | |
| Observaciones: | | | | | | | | | | |

PANEL FOTOGRAFICO

FOTO 1 *Fibras de PET sometidas a 220 °C y 0 °C.*



FOTO 2 *Tara de Agregado Fino.*



FOTO 3 *Tara de Agregado Grueso.*



FOTO 4 Tara de Cemento.



FOTO 5 Tara de Agua.



FOTO 6 Tara de Fibras de PET Tipo I.



FOTO 7 Tara de fibras de PET Tipo II.



FOTO 8 Incorporar Fibras de PET.



FOTO 9 Mezcla de los componentes.



FOTO 10 Mezcla Obtenida con fibras incorporadas.



FOTO 11 Slump de 3 cm; Obtenido en todas la mezclas



FOTO 12 Moldes de 10X20 cm.



FOTO 13 Rotulado de las briquetas



FOTO 14 Curado de las briquetas durante 28 días.



FOTO 15 Briquetas húmedas retiradas del agua.



FOTO 16 Briquetas listas para rotura



FOTO 17 Colocado de briqueta.



FOTO 18 Equipo de rotura.



FOTO 19 Lectura de resultados.



FOTO 20 Registro de datos.



FOTO 21 Retiro de briquetas de prueba.



FOTO 22 Observación directa de las rotura y fallas producidas.



FOTO 23 Fallas de briquetas con fibra



FOTO 24 Falla de briquetas sin fibra.



FOTO 25 Supervisión de las roturas.

