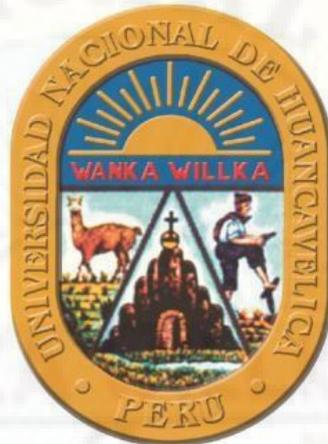


**UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCVELICA**

**(Creada por ley N° 25265)**

**FACULTAD DE CIENCIAS DE INGENIERÍA**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL - HUANCVELICA**



**TESIS**

**“PLÁSTICO PEAD RECICLADO MOLIDO COMO  
AGREGADO FINO PARA UN CONCRETO  $f'c = 210 \text{ Kg/cm}^2$ ”**

**LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:  
TECNOLOGÍA DE LOS MATERIALES**

**PRESENTADO POR:**  
Bach. RAMOS GONZALES, Isaí Denis  
Bach. SÁENZ ACOSTA, Hugo Raúl

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:  
INGENIERO CIVIL**

**HUANCVELICA, PERÚ**

**2021**



UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCAMELICA  
FACULTAD DE CIENCIAS DE INGENIERÍA



ACTA DE SUSTENTACIÓN VIRTUAL DE TESIS

En la ciudad de Huancavelica, a los veintitrés días (23) del mes de julio del año 2021, siendo las dieciséis horas (16:00), se reunieron los miembros del Jurado Calificador conformado por los docentes: Arq. Abdón Dante Olivera Quintanilla (Presidente), M.Sc. Hugo Rubén Lujan Jeri (Secretario), Mg. Jorge Luis Ortega Vargas (Vocal), designados con Resolución de Decano N° 159-2019-FCI-UNH, de fecha 03 de setiembre del 2019, a fin de proceder con la sustentación y calificación virtual mediante el aplicativo MEET del informe final de tesis titulado: "PLÁSTICO PEAD RECICLADO MOLIDO COMO AGREGADO FINO PARA UN CONCRETO  $f_c = 210 \text{ Kg/cm}^2$ ", presentado por los Bachilleres **Isai Denis RAMOS GONZALES** y **Hugo Raul SÁENZ ACOSTA**, con presencia del M.Sc. Marco Antonio López Barrantes, Asesor de la presente tesis a fin de optar el **Título Profesional de Ingeniero Civil**. Finalizada la sustentación virtual a horas 5:00pm; se comunicó a los sustentantes y al público en general que los Miembros del Jurado abandonará el aula virtual para deliberar el resultado:

**Isai Denis RAMOS GONZALES**

APROBADO  POR .....UNANIMIDAD

DESAPROBADO

**Hugo Raul SÁENZ ACOSTA**

APROBADO  POR .....UNANIMIDAD

DESAPROBADO

En señal de conformidad, firmamos a continuación:

Presidente

Secretario

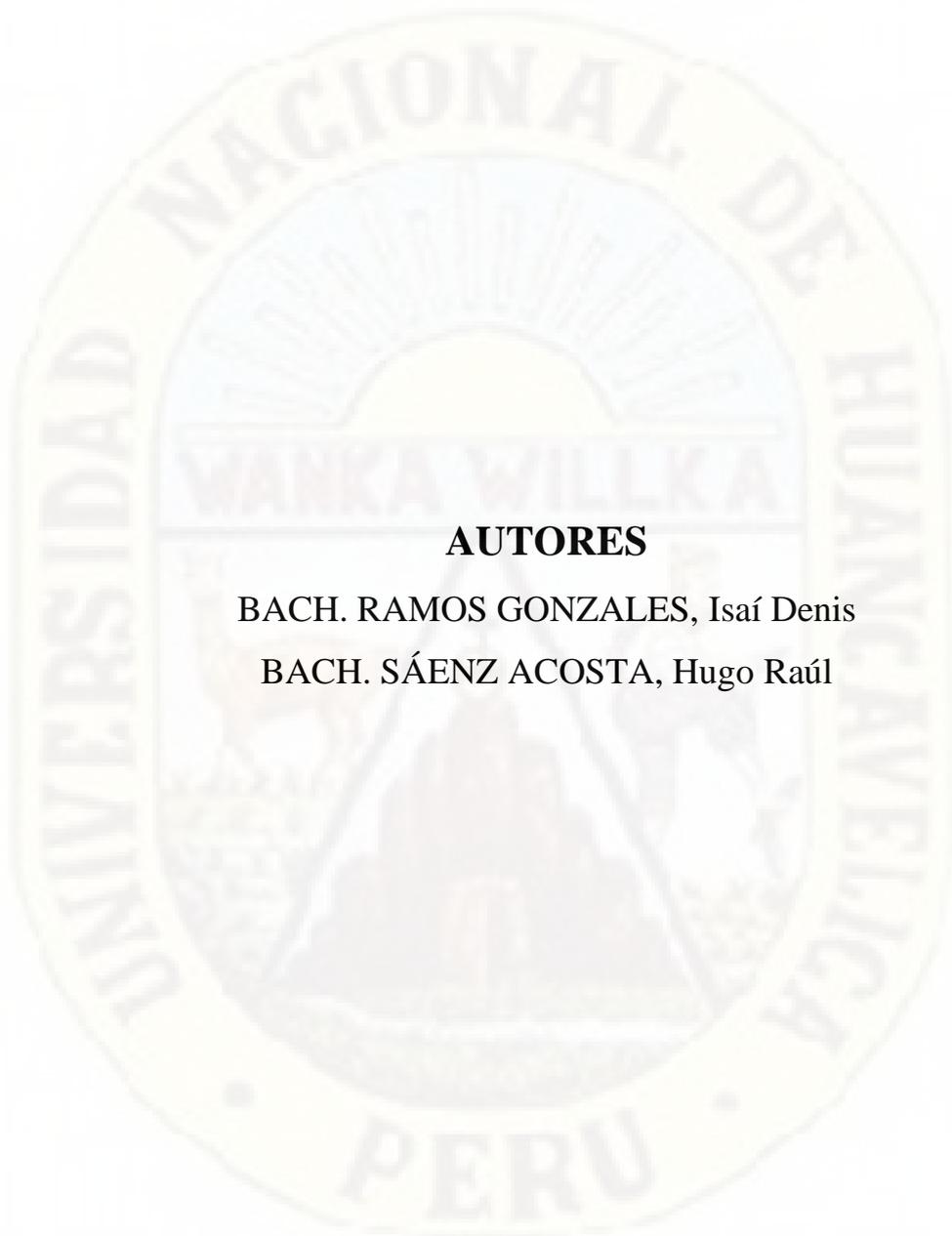
Vocal

Vº Bº Decano



## **TÍTULO**

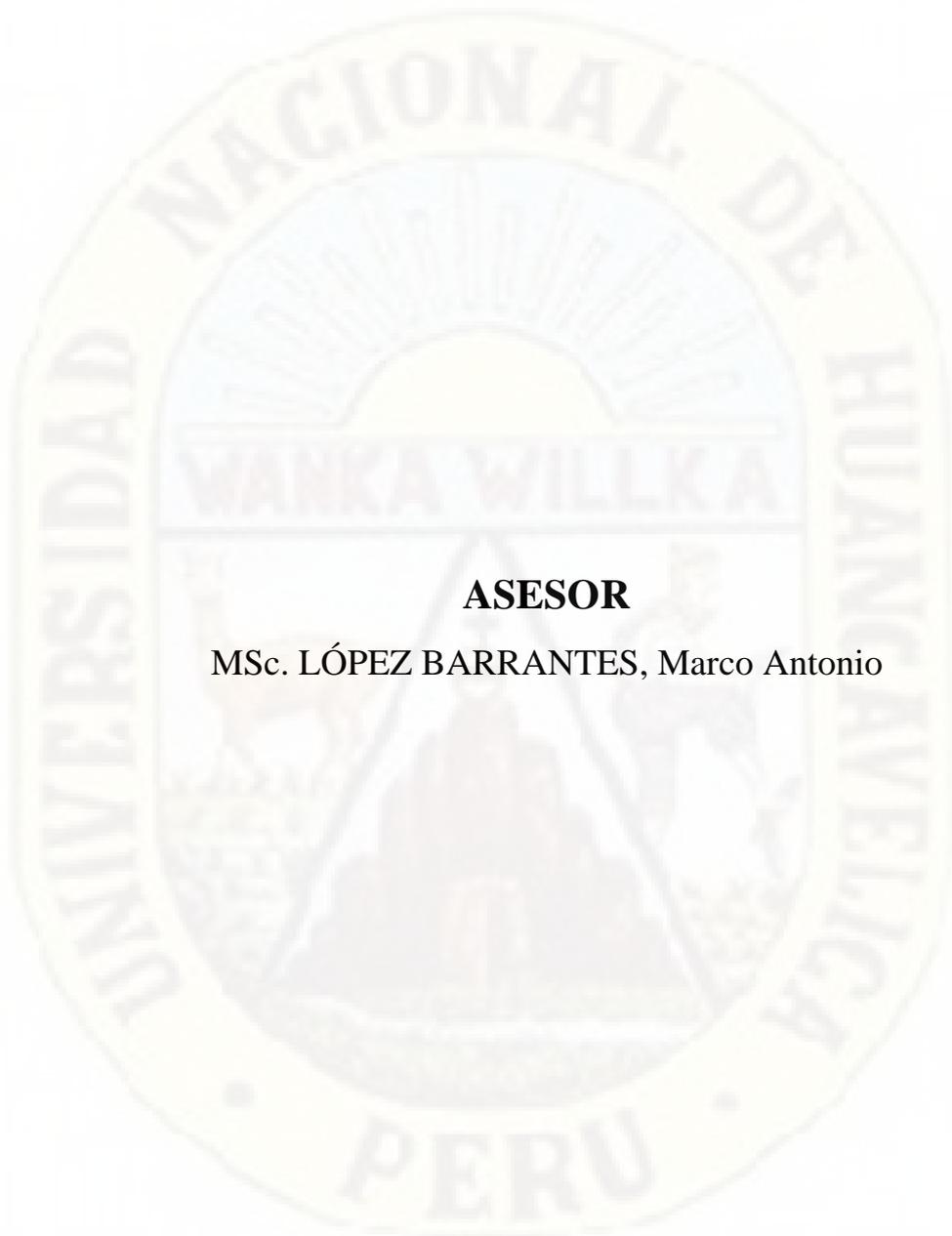
**“PLÁSTICO PEAD RECICLADO MOLIDO COMO AGREGADO  
FINO PARA UN CONCRETO  $f'_c = 210 \text{ Kg/cm}^2$ ”**



## **AUTORES**

BACH. RAMOS GONZALES, Isáí Denis

BACH. SÁENZ ACOSTA, Hugo Raúl



**ASESOR**

MSc. LÓPEZ BARRANTES, Marco Antonio

## DEDICATORIA

A Dios por bendecir e iluminar mi camino, a mis padres Hilda y Teófilo por ser el pilar fundamental en todo lo que soy, a mis hermanos Jaqueline, Diana, Jerson, Marisol, Loyda y Zaida por su apoyo incondicional, a mis sobrinos Almendra y Ronaldo por ser mi motivación

**Isaí Denis**

A mis padres Marcial y Maximiliana; hermanos, por ser mi mayor motivación, mi soporte e inspiración, mi fuerza, guía en este arduo camino que con su luz se convierte en sendero de satisfacción y felicidad porque cada paso que doy, sé que doy conjuntamente con ellos.

**Hugo Raúl.**

## **AGRADECIMIENTO**

- En primer lugar, a Dios por darnos la vida y salud y luego a nuestros padres, por darnos los cimientos y la base necesaria para el desarrollo pleno de nuestras metas y objetivos trazados:
- A la Universidad Nacional de Huancavelica, nuestra casa de estudios, donde se compartió momentos gratos llenos conocimientos.
- A todos los docentes y compañeros de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil, por brindarnos su apoyo, conocimiento y despertar en nosotros inquietudes de desempeño en el campo profesional de la ingeniería civil.
- A nuestro asesor: M.Sc. Ing. Marco Antonio López Barrantes y la Ing. Edith Huamani Serpa, quienes nos inculcó y nos brindó su valioso tiempo en el desarrollo de nuestro trabajo de investigación.
- Al personal del laboratorio de ensayo de materiales y concreto de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil, Tec. Alfredo Mendoza y practicantes por su apoyo y colaboración en la etapa de laboratorio de este proyecto de tesis
- A todos(as) nuestros(as) amigos(as) y todas las personas que nos guiaron e inquietaron a seguir desarrollándonos y a no rendirnos.

LOS TESISTAS

## TABLA DE CONTENIDO

PORTADA.....	i
ACTA DE SUSTENTACIÓN .....	ii
TÍTULO .....	iii
AUTORES .....	iv
ASESOR .....	v
DEDICATORIA .....	vi
AGRADECIMIENTO .....	vii
TABLA DE CONTENIDO.....	viii
TABLA DE CONTENIDOS DE CUADROS .....	x
TABLA DE CONTENIDOS DE FIGURAS .....	xiii
RESUMEN.....	xv
ABSTRAC .....	xvi
INTRODUCCIÓN .....	xvii
CAPÍTULO I.....	19
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	19
1.1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA .....	19
1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	20
1.3 OBJETIVO.....	20
1.4 JUSTIFICACIÓN .....	21
1.5 LIMITACIONES .....	21
CAPÍTULO II .....	22
MARCO TEÓRICO.....	22
2.1 ANTECEDENTES.....	22
2.2 BASES TEÓRICAS.....	24
2.3 BASES CONCEPTUALES .....	72
2.4 DEFINICIÓN DE TÉRMINOS .....	107
2.5 HIPÓTESIS.....	110
2.6 VARIABLES .....	110
2.7 OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES .....	110
CAPÍTULO III.....	112
METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN .....	112

3.1 ÁMBITO TEMPORAL Y ESPACIAL .....	112
3.2 TIPO DE INVESTIGACIÓN .....	112
3.3 NIVEL DE INVESTIGACIÓN .....	112
3.4 POBLACIÓN, MUESTRA Y MUESTREO .....	113
3.5 TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS. 114	
3.6 TÉCNICAS Y PROCESAMIENTO DE ANÁLISIS DE DATOS .....	115
CAPÍTULO IV .....	116
PRESENTACIÓN DE RESULTADOS .....	116
4.1 ANÁLISIS DE INFORMACIÓN .....	116
4.2. DISCUSIÓN DE RESULTADOS .....	138
CONCLUSIONES .....	139
RECOMENDACIONES .....	140
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	141
APÉNDICE .....	143

## TABLA DE CONTENIDOS DE CUADROS

<b>Tabla 1.</b> Límites de composición aproximados para cemento Pórtland.....	28
<b>Tabla 2.</b> Compuestos químicos que constituyen el cemento pórtland. ....	28
<b>Tabla 3.</b> Clasificación de los agregados según su origen natral.....	34
<b>Tabla 4.</b> Clasificación de los agregados según su tamaño. ....	37
<b>Tabla 5.</b> Valores de módulos elásticos según el tipo de agregado. ....	43
<b>Tabla 6.</b> Tamices estándar normalizados por la norma ASTM.....	47
<b>Tabla 7.</b> Límites de granulometría del agregado fino. ....	48
<b>Tabla 8.</b> Límites de granulometría del agregado grueso. ....	49
<b>Tabla 9.</b> Límites permisibles para el agua de mezcla.....	53
<b>Tabla 10.</b> Porcentaje de ion cloruro máximo según el tipo de concreto. ....	55
<b>Tabla 11.</b> Trabajabilidad, revenimiento y factor de compactación de concreto. ....	57
<b>Tabla 12.</b> Características que afectan la durabilidad del concreto. ....	62
<b>Tabla 13.</b> Simbología y codificación de los diferentes tipos del plástico. ....	69
<b>Tabla 14.</b> Características técnicas del polietileno de alta densidad (PEAD). ....	71
<b>Tabla 15.</b> Tabla de operacionalización de variables. ....	111
<b>Tabla 16.</b> Coordenadas geográficas de la cantera Chuñuranra – río Ichu.....	112
<b>Tabla 17.</b> Contenido de humedad de los agregados ASTM C 566. ....	118
<b>Tabla 18.</b> Contenido de humedad del plastico ASTM C 566. ....	119
<b>Tabla 19.</b> Contenido de humedad de la piedra chancada ASTM C 566. ....	119
<b>Tabla 20.</b> Peso específico de los agregados, ASTM C 127.....	120
<b>Tabla 21.</b> Peso unitario suelto de los agregados ASTM C29.....	120
<b>Tabla 22.</b> Peso unitario compactado de los agregados ASTM C 29.....	121
<b>Tabla 23.</b> Cantidad de materiales para 1 m <sup>3</sup> de concreto (diseño con factor de seguridad).....	122
<b>Tabla 24.</b> Peso del concreto de la muestra patrón-con factor de seguridad. ....	122
<b>Tabla 25.</b> Peso del concreto de la muestra con la misma proporción del plástico PEAD que el agregado fino - con factor de seguridad.....	123
<b>Tabla 26.</b> Cantidad de materiales para 1 m <sup>3</sup> de concreto (diseño sin factor de seguridad).....	123
<b>Tabla 27.</b> Peso del concreto de la muestra patrón-sin factor de seguridad. ....	124

<b>Tabla 28.</b> Peso del concreto de la muestra con la misma proporción de plástico PEAD que el agregado fino-sin factor de seguridad. ....	124
<b>Tabla 29.</b> Cuadro de resultados del ensayo de cono de Abrams para un diseño de mezcla con factor de seguridad. ....	125
<b>Tabla 30.</b> Resumen de resultados del ensayo de cono de Abrams para un diseño de mezcla con factor de seguridad. ....	126
<b>Tabla 31.</b> Cuadro de resultados del ensayo de cono de Abrams para un diseño de mezcla sin factor de seguridad. ....	126
<b>Tabla 32.</b> Resumen de resultados del ensayo de cono de Abrams para un diseño de mezcla sin factor de seguridad. ....	127
<b>Tabla 33.</b> Módulo de elasticidad del concreto para un diseño con factor de seguridad. ....	128
<b>Tabla 34.</b> Módulo de elasticidad del concreto para un diseño sin factor de seguridad. ....	128
<b>Tabla 35.</b> Porcentajes de dureza del concreto. ....	128
<b>Tabla 36.</b> Resultados de rotura de probetas-muestra patrón (concreto $f'c=210$ Kg/Cm <sup>2</sup> ). ....	130
<b>Tabla 37.</b> Proyección de las resistencias a los 28 días (concreto $f'c=210$ Kg/Cm <sup>2</sup> ). ....	130
<b>Tabla 38.</b> Resultados de rotura de probetas-muestra con la misma proporción de plástico PEAD que el agregado fino. ....	130
<b>Tabla 39.</b> Proyección de resistencias-muestra con la misma proporción de plástico PEAD que el agregado fino. ....	130
<b>Tabla 40.</b> Resultados de rotura de probetas-muestra con 5 % menos de plástico PEAD. ....	131
<b>Tabla 41.</b> Proyección de resistencias-muestra con 5 % menos de plástico PEAD. ....	131
<b>Tabla 42.</b> Resultados de rotura de probetas-muestra con 5 % más de plástico PEAD. ....	131
<b>Tabla 43.</b> Proyección de resistencias-muestra con 5 % más de plástico PEAD. ....	131
<b>Tabla 44.</b> Resultados de rotura de probetas-muestra con 10 % más de plástico PEAD. ....	132

<b>Tabla 45.</b> Proyección de resistencias-muestra con 10 % más de plástico PEAD. ..	132
<b>Tabla 46.</b> Resumen de resistencias a la compresión con factor de seguridad. ....	132
<b>Tabla 47.</b> Resultados de rotura de probetas-muestra patrón (concreto $f'_c=210$ Kg/Cm <sup>2</sup> ).....	133
<b>Tabla 48.</b> Proyección de resistencias-muestra patrón (concreto $f'_c=210$ Kg/Cm <sup>2</sup> ).134	
<b>Tabla 49.</b> Resultados de rotura de probetas-muestra con la misma proporción de plástico PEAD que el agregado fino. ....	134
<b>Tabla 50.</b> Proyección de resistencias-muestra con la misma proporción de plástico PEAD que el agregado fino.....	134
<b>Tabla 51.</b> Resultados de rotura de probetas-muestra con 5 % menos de plástico PEAD. ....	134
<b>Tabla 52.</b> Proyección de resistencias-muestra con 5 % menos de plástico PEAD. 135	
<b>Tabla 53.</b> Resultados de rotura de probetas - muestra con 5 % más de plástico PEAD. ....	135
<b>Tabla 54.</b> Proyección de resistencias - muestra con 5 % más de plástico PEAD. ..	135
<b>Tabla 55.</b> Resultados de rotura de probetas - muestra con 10 % más de plástico PEAD. ....	135
<b>Tabla 56.</b> Proyección de resistencias - muestra con 10 % más de plástico PEAD. 136	
<b>Tabla 57.</b> Resumen de resistencias a la compresión sin factor de seguridad. ....	136

## TABLA DE CONTENIDOS DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Proporciones típicas en volumen absoluto de los componentes del concreto. ....	25
<b>Figura 2.</b> Representación esquemática de la hidratación del cemento. ....	30
<b>Figura 3.</b> Formación del gel en la estructura interna del concreto. ....	50
<b>Figura 4.</b> Diagrama de esfuerzo y deformación del concreto. ....	64
<b>Figura 5.</b> Simbología de identificación de los plásticos. ....	105
<b>Figura 6.</b> Análisis granulométrico de la arena gruesa de la cantera Chuñuranra-río Ichu. ....	117
<b>Figura 7.</b> Análisis granulométrico del plástico PEAD reciclado molido. ....	117
<b>Figura 8.</b> Análisis granulométrico de la piedra chancada de la cantera Chuñuranra - río Ichu. ....	118
<b>Figura 9.</b> Curva de resistencias a compresión a diferentes tiempos de curado. ....	129
<b>Figura 10.</b> Resumen de resistencias a la compresión con factor de seguridad. ....	133
<b>Figura 11.</b> Resumen de resistencias a la compresión sin factor de seguridad. ....	137
<b>Figura 12.</b> Fraccionamiento de los componentes del concreto. ....	153
<b>Figura 13.</b> Lavado de los materiales que componen el concreto. ....	153
<b>Figura 14.</b> Secado de los materiales a una temperatura superficial de los materiales. ....	154
<b>Figura 15.</b> Saturación de la piedra chancada. ....	154
<b>Figura 16.</b> Ensayos a fin de determinar el peso específico de la arena gruesa. ....	155
<b>Figura 17.</b> Ensayos a fin de determinar el peso específico del plástico PEAD. ....	155
<b>Figura 18.</b> Ensayos a fin de determinar el peso específico del plástico PEAD. ....	156
<b>Figura 19.</b> Ensayo de granulometría de los materiales. ....	156
<b>Figura 20.</b> Diseño de mezcla y determinación de los asentamientos. ....	157
<b>Figura 21.</b> Proceso de preparación del concreto. ....	157
<b>Figura 22.</b> Curado de los testigos de concreto. ....	158
<b>Figura 23.</b> Muestras de concreto con un porcentaje de menos 5% del peso del agregado fino. ....	158
<b>Figura 24.</b> Muestras de concreto con el mismo porcentaje de peso del agregado fino. ....	159
<b>Figura 25.</b> Muestras de concreto con un porcentaje de 5% más del peso del agregado fino. ....	159

<b>Figura 26.</b> Muestras extraídas del tanque de curado en los tiempos estimados de 7, 14 y 28 días respectivamente. ....	160
<b>Figura 27.</b> Ensayo de rotura de las muestras de concreto (muestra patrón) a fin de determinar la resistencia a la compresión. ....	160
<b>Figura 28.</b> Ensayo de rotura de las muestras de concreto (muestra patrón) a fin de determinar la resistencia a la compresión. ....	161
<b>Figura 29.</b> Ensayo de rotura de las muestras de concreto (5% menos de plásticos PEAD) a fin de determinar la resistencia a la compresión.....	161
<b>Figura 30.</b> Ensayo de rotura de las muestras de concreto (5% menos de plásticos PEAD) a los 14 días a fin de determinar la resistencia a la compresión.....	162
<b>Figura 31.</b> Ensayo de rotura de las muestras de concreto (5% más de plásticos PEAD) a los 7 y 14 días a fin de determinar la resistencia a la compresión.....	162
<b>Figura 32.</b> Ensayo de rotura de las muestras de concreto (con igual porcentaje de plásticos PEAD que la muestra patrón) a los 14 días a fin de determinar la resistencia a la compresión. ....	163



## RESUMEN

Esta investigación aborda el tema de la influencia del plástico PEAD molido como agregado fino en el concreto  $f'c=210\text{Kg/cm}^2$ , debido a que en nuestro medio ambiente existe gran cantidad de plásticos que no son reutilizados o reciclados para así mitigar la contaminación. El objetivo principal de la investigación fue determinar la influencia del plástico PEAD reciclado molido como agregado en las principales propiedades como la trabajabilidad, elasticidad y resistencia del concreto. Se planteó para el desarrollo del proyecto una metodología del tipo aplicada, que tiene un alcance explicativo y de diseño experimental ya que para poder conocer las influencias del plástico en el concreto se realizó el reciclaje del plástico PEAD de la planta de tratamiento de residuos sólidos del distrito de Huancavelica y posteriormente realizar el molido, caracterización de los materiales como granulometría, contenido de humedad, peso volumétrico, peso específico y abrasión tanto del agregado grueso y del plástico PEAD molido de acuerdo al ASTM C 33 y NTP 400.037. Luego se elaboró treinta muestras de concreto con variaciones de 0, 5 y 10% más de la muestra patrón. Finalmente se realizó un análisis y evaluación de las muestras de concreto curado a los 7, 14 y 28 días para luego realizar el ensayo de resistencia a la compresión en el laboratorio de concreto de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil Huancavelica. De acuerdo con el análisis y evaluación realizada, se concluye que al reemplazar el agregado fino por el plástico PEAD molido reciclado se obtiene que sí influye considerablemente en las propiedades del concreto  $210\text{ Kg/Cm}^2$ .

El desarrollo del presente trabajo está enmarcado dentro de una línea de investigación de la tecnología de los materiales, porque utilizamos el plástico PEAD en el concreto como innovación; un material que existe casi en todas partes de nuestro territorio peruano, asociado a la reducción de la contaminación del medio ambiente generados, tanto a nivel domiciliario como industrial.

**Palabras claves:** plástico PEAD, trabajabilidad, elasticidad, resistencia del concreto.

## ABSTRAC

This investigation addresses the issue of the influence of plastic PEAD ground as aggregate fine in concrete  $f'c = 210\text{Kg} / \text{cm}^2$ , because in our environment there is a large amount of plastics that are not reused or recycled in order to mitigate pollution. The main objective of the investigation was to determine the influence of plastic HDPE recycled ground as an aggregate on the main properties such as workability, elasticity and resistance of concrete. An application type methodology was proposed for the development of the project, which has an explanatory scope and experimental design since in order to know the influences of plastic on concrete, the recycling of plastic HDPE from the solid waste treatment plant of the District of Huancavelica and later carry out the grinding, characterization of the materials such as granulometry, moisture content, volumetric weight, specific weight and abrasion of both the coarse aggregate and the ground plastic HDPE according to ASTM C 33 and NTP 400.037. Thirty concrete samples were then made with variations of 0, 5 and 10% more than the standard sample. Finally, an analysis and evaluation of the cured concrete samples was carried out at 7, 14 and 28 days to then carry out the compression resistance test in the concrete laboratory of the Huancavelica Professional School of Civil Engineering. According to the analysis and evaluation carried out, it is concluded that by replacing the fine aggregate with the recycled ground plastic HDPE, it is obtained that it considerably influences the properties of the concrete  $210 \text{ Kg} / \text{Cm}^2$ .

The development of this work is framed within a line of materials technology research, because we use plastic HDPE in concrete as an innovation; a material that exists almost everywhere in our Peruvian territory, associated with the reduction of environmental pollution generated, both at home and industrial level.

**Keywords:** Plastic HDPE, workability, elasticity, strength concrete.

## INTRODUCCIÓN

El actual problema que viene atravesando el Perú y el mundo en general respecto a la contaminación ambiental es una situación de preocupación de todos los días y más aún en estos últimos años. Según los antecedentes en el mundo aproximadamente el 90% de los plásticos utilizados son el polietileno de alta densidad (PEAD), con el que se fabrican las tuberías para la distribución de agua potable, envases de alimentos, juguetes, entre otros. De la misma forma en estos últimos tiempos se ve que hay un excesivo aumento de la demanda en el área de construcción debido al aumento de la población, es por ello surge la idea de hacer un proyecto para la reutilización de los plásticos PEAD para realizar una mezcla convencional y obtener un concreto  $f'c=210$  Kg/cm<sup>2</sup>, teniendo ya como base el conocimiento del comportamiento del concreto de una mezcla con agregado no convencional.

En este proyecto de investigación de tesis “PLÁSTICO PEAD RECICLADO MOLIDO COMO AGREGADO FINO PARA UN CONCRETO  $f'c = 210$  Kg/cm<sup>2</sup>”, se desarrolló un estudio del plástico PEAD con la finalidad de reemplazar el agregado fino del concreto  $f'c=210$  Kg/cm<sup>2</sup> por este insumo, teniendo como objetivo analizar y evaluar la influencia del plástico PEAD de las propiedades del concreto si aumenta, mantiene o disminuye con respecto a un concreto tradicional. Siendo su problemática, en la cual se enmarca esta investigación que tiene relación con tres aspectos fundamentalmente, la primera relacionado con la ingeniería, desarrollo tecnológico en general y la reducción de costos asociados a la producción de materiales de construcción, innovación en cuanto a la utilización del plástico PEAD en el concreto y último la utilización de un material que existe en casi en todas partes de nuestro territorio peruano asociado a la reducción de la contaminación del medio ambiente generados, tanto a nivel domiciliario como industrial.

El agregado utilizado en la preparación del concreto representa entre un 60 a 75% del volumen total en un metro cúbico de concreto, y por tal razón su selección u optimización se debe realizar con la mayor rigurosidad posible. Es así, que en la ciudad de Huancavelica se cuenta con un sistema de reciclaje de los residuos sólidos a cargo de la municipalidad provincial de Huancavelica y dichos residuos sólidos son tratados en la planta de tratamiento ubicado en el sector Ranracucho del distrito de

Ascensión en donde se realizó el proceso de clasificación de los plásticos PEAD con la autorización de la entidad encargada con la finalidad de realizar el proceso de molido o triturado. Adicionalmente se tiene los agregados de la cantera del río Ichu ubicado en Chuñuranra y a nivel experimental con los métodos y procedimientos establecidos según la norma ASTM C 33 y NTP 400.037 se determinan las propiedades físicas (granulometría, contenido de humedad, peso volumétrico, peso específico) mecánicas (abrasión), con el método del comité 211 del ACI, se elabora el diseño de mezcla para la resistencia de  $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$  tomando como muestra un total de 30 probetas de concreto distribuidos de la siguiente manera:

- **06** probetas: muestra patrón (concreto tradicional)  
04 muestras de diseño de mezcla que incluye factor de seguridad y 02 muestras con diseño de mezcla sin factor de seguridad.
- **06** probetas: Equivalente de muestra Patrón (muestra experimental)  
04 muestras de diseño de mezcla que incluye factor de seguridad y 02 muestras con diseño de mezcla sin factor de seguridad.
- **06** probetas: 5% menos de plástico (muestra experimental)  
04 muestras de diseño de mezcla que incluye factor de seguridad y 02 muestras con diseño de mezcla sin factor de seguridad.
- **06** probetas: 5% más de plástico (muestra experimental)  
04 muestras de diseño de mezcla que incluye factor de seguridad y 02 muestras con diseño de mezcla sin factor de seguridad.
- **06** probetas: 10% más de plástico (muestra experimental)  
04 muestras de diseño de mezcla que incluye factor de seguridad y 02 muestras con diseño de mezcla sin factor de seguridad.

Luego se realizó el curado de las muestras sumergidos en agua por espacio de 7, 14 y 28 días respectivamente a una temperatura promedio de  $23^{\circ}\text{C}$ , cumplido el tiempo de curado se aplicó el ensayo a compresión para determinar la resistencia a compresión del concreto en las diferentes dosificaciones y determinar cómo la resistencia del concreto con plástico PEAD molido como agregado grueso.

# CAPÍTULO I

## PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

### 1.1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

Son tiempos en los que todo lo que se realiza se hace pensando en el medio ambiente. Es conocida la situación actual del planeta, se sabe que poco a poco con las acciones que se llevan a cabo y el uso desmedido de los recursos naturales para el beneficio de la humanidad, ha degradado el planeta.

Los impresionantes cambios climáticos y los ya cada vez más devastadores fenómenos naturales, han hecho que se tome conciencia, más bien generada por el miedo, y se está tratando de contrarrestar y remediar el daño hecho desde hace miles de años. En la actualidad se han tomado medidas como el reciclaje, reúso, y sustitución de materias primas naturales, por otras que no afectan las condiciones terrestres.

Otra realidad que no podemos ocultar es el desmedido crecimiento de la población mundial, por ende, la creciente urbanización. Esto aparte de estar acabando con las zonas naturales, genera un gran consumo de materia prima para la construcción de los medios urbanos.

A lo largo de la historia se han utilizado muchos elementos para construir; desde las rocas, lodo, y muchos productos que con errores y aciertos se han ido probando. Actualmente el concreto es el material más usado.

Debido a la gran demanda de materiales para la construcción de buena calidad, se busca por medio de este trabajo de investigación incorporar el uso de residuos sólidos como el plástico (PEAD) en las mezclas de concreto  $f'c = 210\text{Kg/cm}^2$  sustituyendo completamente al agregado fino para proporcionarle propiedades similares al concreto  $f'c = 210\text{Kg/cm}^2$  y tratar de mejorarlas en algunos aspectos. De esta manera se estaría cuidando el medio ambiente, aplicando el concepto de desarrollo sostenible aunado a esto, se busca que los materiales obtenidos cumplan con los requisitos de calidad y durabilidad que requiere la sociedad.

La actual problemática que viene atravesando el Perú y el mundo en general respecto a la contaminación ambiental es una situación de preocupación de todos los días y más aún en estos últimos años. Según los antecedentes, en el mundo, los plásticos más utilizados son el polietileno de alta densidad (PEAD), con el que se

fabrican las tuberías para la distribución de agua potable, envases de alimentos, juguetes, entre otros.

De la misma forma en estos últimos tiempos se ve que hay un excesivo aumento de la demanda en el área de construcción debido al aumento de la población, es así, que surge la idea de hacer un proyecto que consiste en la reutilización de los plásticos PEAD, de esta manera obtenemos una mezcla convencional de un concreto  $f'c=210$  Kg/Cm<sup>2</sup>, teniendo ya como base el conocimiento del comportamiento del concreto de una mezcla con agregado no convencional.

El propósito es darle un uso adecuado de este concreto teniendo los resultados de los ensayos en el laboratorio, así como la reutilización de los plásticos, las cuales conllevaría a resolver los problemas de la contaminación del medio ambiente, de la misma forma puede llegar a disminuir el costo del concreto y mejorar las propiedades físicas – mecánicas del concreto, principalmente disminuir la densidad del concreto.

## **1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA**

### **1.2.1 PROBLEMA GENERAL**

¿Influye el plástico PEAD reciclado molido como agregado fino en un concreto  $f'c = 210$  Kg/cm<sup>2</sup>?

### **1.2.2 PROBLEMA ESPECÍFICO**

- ¿Influye el plástico PEAD reciclado molido como agregado fino en la trabajabilidad de un concreto  $f'c = 210$  Kg/cm<sup>2</sup>?
- ¿Influye el plástico PEAD reciclado molido como agregado fino en la elasticidad de un concreto  $f'c = 210$  Kg/cm<sup>2</sup>?
- ¿Influye el plástico PEAD reciclado molido como agregado fino en la resistencia de un concreto  $f'c = 210$  Kg/cm<sup>2</sup>?

## **1.3 OBJETIVO**

### **1.2.3 OBJETIVO GENERAL**

- Determinar la influencia del plástico PEAD reciclado molido como agregado fino de un concreto  $f'c = 210$  Kg/cm<sup>2</sup>.

#### **1.2.4 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Determinar la influencia del plástico PEAD reciclado molido como agregado fino en la trabajabilidad de un concreto  $f'c = 210 \text{ Kg/cm}^2$ .
- Determinar la influencia del plástico PEAD reciclado molido como agregado fino en la elasticidad de un concreto  $f'c = 210 \text{ Kg/cm}^2$ .
- Determinar la influencia del plástico PEAD reciclado molido como agregado fino en la resistencia de un concreto  $f'c = 210 \text{ Kg/cm}^2$ .

#### **1.4 JUSTIFICACIÓN**

Mediante este trabajo de investigación se pretende llegar a la meta de contribuir a la disminución de la contaminación del medio ambiente realizando la reutilización o reciclaje de los plásticos PEAD, y así portar a que los ciudadanos mejoren su calidad de vida y de toda una población; de la misma forma, es un aporte a la tecnología de los materiales en el área de la construcción.

En el Perú y el mundo en general el hábito de un estilo de vida rutinario para satisfacer las necesidades se ha incrementado a medida que pasa el tiempo, el consumismo de los plásticos tipo PEAD o plásticos de alta densidad paralelamente al avance de la tecnología, conllevando a la excesiva y desmedida producción de productos hechos o derivados del plástico, sin tener en cuenta el medio ambiente.

Teniendo presente que el concreto es un material esencial para el sector de la construcción, es necesario hacer investigaciones para poder hallar técnicas, tecnologías y la posible utilización de otros productos no convencionales, en este caso el plástico, y que esto permita obtener mezclas de concreto más adecuadas, eficientes, livianas, ecológicas y económicas.

#### **1.5 LIMITACIONES**

Limitado material bibliográfico sobre el uso del plástico molido como agregado fino en un concreto  $f'c = 210 \text{ Kg/cm}^2$ , en este caso, los plásticos tipo PEAD de alta densidad, sobre todo en libros; por lo que se extrajo información en mayor parte de tesis relacionadas a estos temas.

# CAPÍTULO II

## MARCO TEÓRICO

### 2.1 ANTECEDENTES

#### 2.1.1 ANTECEDENTES INTERNACIONALES

Los antecedentes de la presente investigación se obtuvieron revisando las diversas fuentes bibliográficas que a continuación se mencionan:

**PEÑALOZA** (2015) en su tesis “*Comportamiento mecánico de una mezcla para un concreto reciclado usando neumáticos triturados como reemplazo del 10% y 30% del volumen del agregado fino para un concreto con fines de uso estructural*”, donde el objetivo es conocer el comportamiento de utilizar el granulado de caucho reciclado (GCR) en porcentajes de diez y treinta por ciento respecto del volumen del agregado fino en un concreto de comportamiento estructural. El método fue en preparar un concreto convencional y donde ello fue evaluado con la finalidad de determinar si el caucho reciclado no altera las propiedades solicitadas para un concreto estructural. Según los resultados que determinaron existe disminución de la resistencia a compresión para los dos tipos de mezcla tanto convencional y experimentales, dicha reducción está relacionada con la densidad del agregado artificial, textura y geometría y posible incompatibilidad química del agregado artificial.

**DOGDI** (2011) trabajo de investigación “*Agregados de plástico a una mezcla de concreto común "ECOCRETO"*” donde el objetivo es utilizar plásticos reciclados del tipo polietileno y polipropileno como agregado en una mezcla de concreto común. utilizándolo principalmente en pisos y estructuras que carguen poco peso. Se realizaron diez muestras experimentales con diferente proporción en peso de agregado con plástico. Los resultados que obtuvieron es viable utilizar materiales reciclados como plásticos y que es posible utilizarlos como un agregado a una mezcla de concreto común y así apoyar con la mitigación de la contaminación del medio ambiente.

#### 2.1.2 ANTECEDENTES NACIONALES

**ECHEVARRÍA** (2017) en su tesis “*Ladrillos de concreto con plástico PET reciclado*”, tuvo como objetivo de determinar las propiedades físico mecánicas del ladrillo de concreto con plástico de tereftalato de polietileno reciclado. Para ello se

cuantificaron las dosificaciones óptimas de los agregados en la mezcla de concreto para elaborar una unidad de albañilería clase IV. Se procedió a adicionar plásticos PET reciclado triturado a la mezcla de ladrillo de concreto de manera creciente de cero, tres, seis y nueve por ciento respectivamente y las cuales se sometió a compresión axial y de corte a los 28 días de edad. Se encontró que las propiedades mecánicas de los ladrillos de concreto vibrado al adicionar de plástico PET reciclado triturado no mejoran, habiendo una disminución máxima de la resistencia a compresión del ladrillo de 51.5 kg/cm<sup>2</sup> o 31.8%, respecto de la mezcla patrón.

**REYNA** (2016) en su tesis *“Reutilización de plásticos PET, papel y bagazo de caña de azúcar, como materia prima en la elaboración de concreto ecológico para la construcción de viviendas de bajo costo”*, tuvo como objetivo estimar un diseño de mezcla, la resistencia a compresión y el costo unitario del concreto con el plástico PET, bagazo de caña de azúcar y papel. Los insumos como cemento Portland Extra Forte, piedra chancada de 1/2", arena gruesa y los residuos de plástico PET, papel y bagazo de caña de azúcar, los antes mencionados reemplazaron al agregado fino en cinco, diez y veinte por ciento. Se realizaron briquetas de concreto convencional y concreto conteniendo los residuos antes mencionados, luego se realizó el ensayo de compresión a los 28 días de edad. Encontrándose que efectivamente hay un ahorro con la incorporación de plástico PET en el concreto.

### **2.1.3 ANTECEDENTE REGIONAL**

**VILLANUEVA & YARANGA** (2015) en su tesis *“Estudio de la influencia de fibras de polipropileno provenientes de plásticos reciclados en concreto de  $f'c=210$  Kg/cm<sup>2</sup> en el distrito de Lircay, provincia de Angaraes, región Huancavelica”* tuvo como objetivo estudiar la influencia de la fibra de polipropileno, en la resistencia a compresión en distintos tipos de estructuras. Se tomaron doce briquetas de concreto con diferentes dosificaciones y realizado el curado como indica la norma se sometió a la resistencia de compresión y con las cuales se realizó un análisis estadístico entre un concreto convencional y con fibra, se obtuvo que las resistencias a compresión del concreto convencional y con fibra aumenta en un 13.94%, la dosificación más óptima es aumentando el 10% de fibra y se obtiene una resistencia más alta y de la misma forma hay un 0.68% menos de costo de un concreto normal.

**HUAMANÍ & MONGE** (2018) en su tesis “*Estudios de la influencia de la fibra de cabuya en concretos de  $f'c=175$  Kg/Cm<sup>2</sup> y  $f'c=210$  Kg/cm<sup>2</sup>, en el distrito de Lircay y provincia de Angaraes*” tuvo como objetivo de determinar las fuerzas existentes entre la fibra de cabuya y el mortero. Para ello determinaron las propiedades mecánicas del mortero convencional sometiendo a las resistencias de tensión y flexión. Al realizar el análisis de los resultados obtenidos del mortero convencional y con fibra de cabuya determinaron que este último aumenta en su resistencia. Concluyeron que la absorción de agua en la fibra de cabuya es nula, se observó un incremento en la resistencia al aumentar el cuatro por ciento de fibra de cabuya en volumen seco en la mezcla.

## **2.2. BASES TEÓRICAS**

### **2.2.1 ESTUDIO DEL CONCRETO**

#### **2.2.1.1 DEFINICIÓN DEL CONCRETO**

De acuerdo a las informaciones existentes sobre el concreto, esta tiene una serie de definiciones de las cuales se puede mencionar que es un material de mayor uso en todas las construcciones. Rivva (2000) afirma: “El concreto como un producto artificial compuesto de un medio ligante denominado pasta, (...) dentro del cual se encuentra embebidas partículas de un medio ligado denominado agregado” (pág. 8). La pasta tiene la función de dar resultados de las propiedades solicitadas del concreto en estado endurecido, de la misma forma llenar los vacíos existentes entre las partículas del agregado y así cohesionarse fuertemente. El agregado es un material inerte que tiene por función de proporcionar el mayor volumen del concreto, de la misma forma de otorgar resistencia ante cualquier desgaste que puede estar sometido el concreto.

Existen diversas conceptualizaciones en torno al concreto, también una de las principales en el cual se basa el desarrollo de la presente investigación, es la teoría de Gutiérrez (2003), quien realizó una definición específica del concreto “mezcla homogénea de cemento, agua, arena, grava y en algunos casos de aditivos, (...). El concreto es una roca fabricada por el hombre con determinadas características de economía, facilidad de colocación, velocidad de fraguado y apariencia adecuada según su aplicación” (pág. 33). Adicionalmente a lo mencionado por el autor podemos acotar que el concreto como el material más usado en el sector de la construcción por las

mismas propiedades físico mecánicas que posee como una alta resistencia a la compresión y lo contrario una baja resistencia a tracción comúnmente el diez por ciento de la resistencia a compresión, es por ello, para aumentar esa baja resistencia a tracción se emplea aceros de refuerzo. Para obtener concretos de buena calidad es indispensable realizar una buena dosificación, calidad del agregado y un buen proceso de fabricación cumpliendo las normas establecidas.

Por otras partes, también se introdujeron otras definiciones del concreto como Harmsen (2002), “mezcla de cemento, agregado grueso o piedra, agregado fino o arena y agua” (pág. 11), de esta definición también podemos mencionar que la función de los componentes del concreto como el cemento, el agua y el agregado fino, forman lo que se denomina mortero y esta tiene por finalidad llenar los espacios vacíos generados entre el agregado grueso que tiene por función de otorgar volumen al concreto.

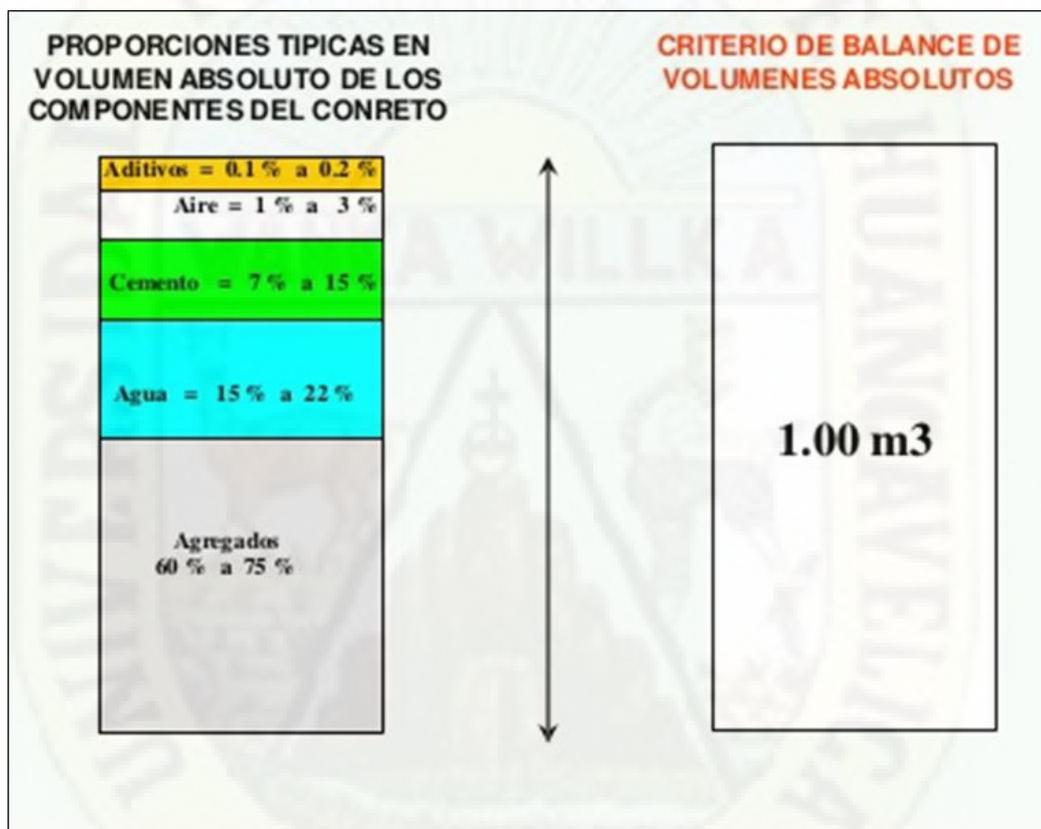
Así también Torre (2004) destaca de otras definiciones como el concreto “es un material que se produce mediante la mezcla de tres componentes esenciales, cemento, agua y agregados, (...) se incorpora un cuarto componente que genéricamente se designa como aditivo” (pág. 73). Al realizar la mezcla de los componentes mencionados anteriormente, el concreto genera una masa que en un estado fresco puede ser moldeable y trabajable con mucha facilidad, pero dicha propiedad va perdiendo a medida que va pasando el tiempo y esto va adquiriendo un estado endurecido hasta llegar a tener una forma de un cuerpo sólido y este cuerpo se torna mecánicamente muy resistente a cualquier agente o fuerza externa.

### **2.2.1.2 COMPONENTES DEL CONCRETO**

Respecto a los componentes de concreto, si son bien dosificados y proporcionados estas aportan a las propiedades solicitados del concreto. Pasquel (1998), afirma “el concreto moderno posee cuatro componentes: Cemento, agua, agregados y aditivos como elementos activos y el aire como elemento pasivo” (pág. 13). Del aditivo podemos acotar que muchos años antes se consideraba como un elemento opcional; sin embargo, en la actualidad este componente como el aditivo, un elemento normal a utilizar, en vista que muchas veces se utilizan para mejorar las características tanto del concreto fresco y endurecido, está demostrado por la ciencia su uso normal y todo ello conllevando a lo largo del tiempo a una solución más económica.

En el presente trabajo de investigación, hemos logrado establecer conceptos respecto a los componentes de concreto, sin embargo, lo primordial en donde debemos enfatizar bastante es en el componente del cemento. Para ello analizaremos el siguiente esquema (figura 1), de las proporciones típicas en volumen absoluto de los componentes del concreto.

*Figura 1. Proporciones típicas en volumen absoluto de los componentes del concreto.*



Fuente: Tópicos de tecnología del concreto-Enrique Pasquel.

Del esquema presentado, podemos concluir que el cemento es uno de los componentes activos que interviene en menor proporción, sin embargo, es el componente que define el comportamiento del concreto, por eso mismo es necesario enfatizar este componente, ya que está muy pegado a las reacciones químicas que se generan al entrar en trabajo con el agua y los aditivos.

Por otras partes, también es necesario conocer otros conceptos como Harmsen (2002), menciona que los componentes del concreto son “el cemento, agregado grueso o piedra, agregado fino o arena y agua” (pág. 11). Para la obtención de una buena

calidad de concreto no es suficiente tener materiales de buena calidad, si no, también el proceso de mezclado con las proporciones y dosificaciones correctas y acotado, ello se debe de tener en cuenta los factores como el mezclado, transporte, colocación o vaciado y curado del concreto.

Así también, podemos destacar algunas definiciones como Torre (2004) “el concreto endurecido está compuesto de la pasta y el agregado, (...), en estado fresco los componentes del concreto son el cemento portland, arena agregado fino, grava o piedra triturada agregado grueso y agua (pág. 74).

#### **2.2.1.2.1 CEMENTO PORTLAND**

Existen diversos conceptos del cemento Portland normal, una de las principales en el cual se basa la presente investigación es la teoría de Rivva (1992), afirma que el “cemento Portland normal como un producto obtenido de la pulverización del Clinker Portland con la adición eventual de sulfato de calcio” (pág. 31). De ello podemos afirmar: el cemento portland como un material pulverizado, al entrar en contacto con el agua se genera una reacción química y va formando el elemento llamado la pasta conglomerante capaz de adquirir aspecto solido a medida que pasa el tiempo tanto bajo el agua como en el aire.

Por otra parte, otros autores afirman otras definiciones como Harmsen (2002), quien menciona que el “cemento se obtiene de la pulverización del Clinker, el cual es producido por la calcinación hasta la fusión incipiente de materiales calcáreo y arcillosos” (pág. 11). Dichos materiales calcinados presentan diferentes propiedades del cemento.

De la misma forma, Torre (2004), afirma que el “cemento Portland es un cemento hidráulico producido mediante la pulverización del Clinker, compuesto esencialmente por silicatos de calcio hidráulicos y que contiene generalmente una o más de las formas sulfato de calcio como adición durante la molienda” (pág. 05). Vale decir que el cemento Portland es el producto de la combinación del Clinker pulverizado más yeso, es por ello tiene un aspecto de polvo muy fino de color verdoso ya que al realizar la conminación con agua adquiere una masa muy trabajable y moldeable.

### 2.2.1.2.1.1 PROPIEDADES QUÍMICAS DEL CEMENTO

Las materias primas que constituyen para la fabricación del cemento son la cal, sílice, alúmina y óxido de hierro, estos componentes llegan a reaccionar por el mismo proceso de cocción e interactúan formando algunos compuestos más complejos, hasta lograr un estado de equilibrio químico, para ello, a continuación, se muestra una idea general de los compuestos químicos del cemento en la siguiente tabla, con sus límites de mezcla en porcentajes de los diferentes óxidos presentes.

**Tabla 1.** Límites de composición aproximados para cemento Portland.

ÓXIDO	CONTINIDO (%)
Óxido de calcio (CaO)	60 – 67
Dióxido de silicio (SiO <sub>2</sub> )	17 – 25
Óxido de aluminio (Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	3 – 8
Óxido férrico (Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	0,5 – 6,0
Óxido de magnesio (MgO)	0,1 – 4,0
Álcalis	0,2 – 1,3
Trióxido de azufre (SO <sub>3</sub> )	1 – 3

Fuente: Libro de tecnología del concreto de alto desempeño (Portugal Barriga, P.)

Todos los compuestos mencionados en el cuadro anterior reaccionan y al hacerlo cada uno de ellos forman compuestos a un mucho más complejos y estos compuestos logran llegar el noventa y cinco por ciento del cemento, y la diferencia viene a ser residuos que no reaccionaron y se les considera como tal. Estos compuestos son los siguientes:

- a. **SILICATO TRICÁLCICO (C3S):** el componente más rico en cal también se llama Alita, es la fase principal en la mayoría de los clinker Portland y se compone de 73,7 % de cal y 26,3 % de ácido silícico. Es el componente más importante en donde los cristales se presentan de forma poligonal con seccionamiento que varía desde prima hasta rectangulares y de ello la sección media es variable según el grado de cristalización, estas llegando a ser bien desarrolladas, todo ello se logra cuando la cocción ha obtenido temperaturas bastante elevadas y por mucho tiempo, así como la existencia de cantidades

exactas de estado líquido. Su función principal del silicato tricálcico es el componente más importante que otorga resistencias iniciales del concreto, de la misma forma libera gran cantidad de calor de hidratación y es el primero en hidratarse, es decir se fragua con mucha rapidez. Es importante la concentración alta de este componente, debido a que posee un buen comportamiento ante la acción a los ciclos de hielo y deshielo.

- b. **SILICATO DICÁLCICO (C2S)**: este compuesto también llamado Belita, es la segunda más importante según su porcentaje de Clinker, y se posee de 65,1 % de cal y 34,9 % de ácido silícico. Este compuesto presenta cristales relativamente amplios de contornos redondeados y tamaño variable. Se caracteriza por presentar una lenta velocidad de hidratación y genera un calor de hidratación bajo la concentración alta de este compuesto, tienen una acción al generar concretos resistentes al ataque del intemperismo y de sulfatos.
- c. **ALUMINATO TRICÁLCICO (C3A)**: este compuesto también llamado aluminato tricálcico, en donde su composición es del 62,3 % de cal y 37,7 % de alúmina, generalmente posee un color oscuro y se caracteriza por hidratarse con mucha rapidez, es decir se fragua rápido al entrar en contacto con el agua, además de ello, tiene una baja resistencia a la acción de los ataques de intemperismo, de los sulfatos y agentes químicos.
- d. **TETRACÁLCICO (C4AF)**: compuesto llamado ferro aluminato tetra cálcico o también celita clara o ferrito, en donde su concentración de este componente es de 46,1 % de cal, 21 % de alúmina y 32,9 % de óxido de hierro. Se caracterizan debido a que poseen un calor de hidratación moderada, una rápida velocidad de hidratación y una alta estabilidad química. El uso de estos compuestos tiene que tener condiciones de empleo específicos como en todos aquellos casos en que importe la durabilidad frente a los agresivos químicos que las resistencias mecánicas.

De todos los compuestos mencionados anteriormente podemos acotar que el silicato tricálcico (C3S) y silicato dicálcico (C2S), poseen una concentración del 75% del cemento, es por ello, las resistencias de un concreto se deben a estos dos compuestos netamente.

Todos estos compuestos se resumen en la siguiente tabla:

**Tabla 2.** *Compuestos químicos que constituyen el cemento Portland.*

Designación	Fórmula	Abreviatura	Contenido %
Silicato tricálcico	$3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$	$\text{C}_3\text{S}$	30 – 50
Silicato dicálcico	$2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$	$\text{C}_2\text{S}$	15 – 30
Aluminato tricálcico	$3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$	$\text{C}_3\text{A}$	4 – 12
Ferro Aluminato tetracálcico	$4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$	$\text{C}_4\text{AF}$	8 – 13
Cal libre	$\text{CaO}$		-
Magnesia libre (periclasa)	$\text{MgO}$		-

Fuente: Arauco Vera (2010, pág. 24)

Existen otros conceptos respecto a los componentes químicos del cemento y también para el desarrollo de la presente investigación, es la teoría de Harmsen (2002), quien indicó los componentes del cemento:

- ✚ Silicato tricálcico: en donde este compuesto le otorga una resistencia inicial alta, de la misma forma se caracteriza por tener un proceso de fraguado rápido.
- ✚ Silicato dicálcico: compuesto que otorga al concreto una elevada resistencia a lo largo del plazo y tiene un bajo calor de hidratación.
- ✚ Aluminio tricálcico: compuesto que se caracteriza por poseer una hidratación violenta, es decir se fragua con mucha rapidez, de la misma forma tiene una baja resistencia al intemperismo.
- ✚ Aluminio – ferrito tetracálcico: compuesto que influye en la velocidad de hidratación y tiene usos específicos de acuerdo a la necesidad.
- ✚ Componentes menores: son aquellos compuestos como el óxido de magnesio, potasio, sodio, magnesio y titanio.

#### **2.2.1.2.1.2 HIDRATACIÓN DEL CEMENTO**

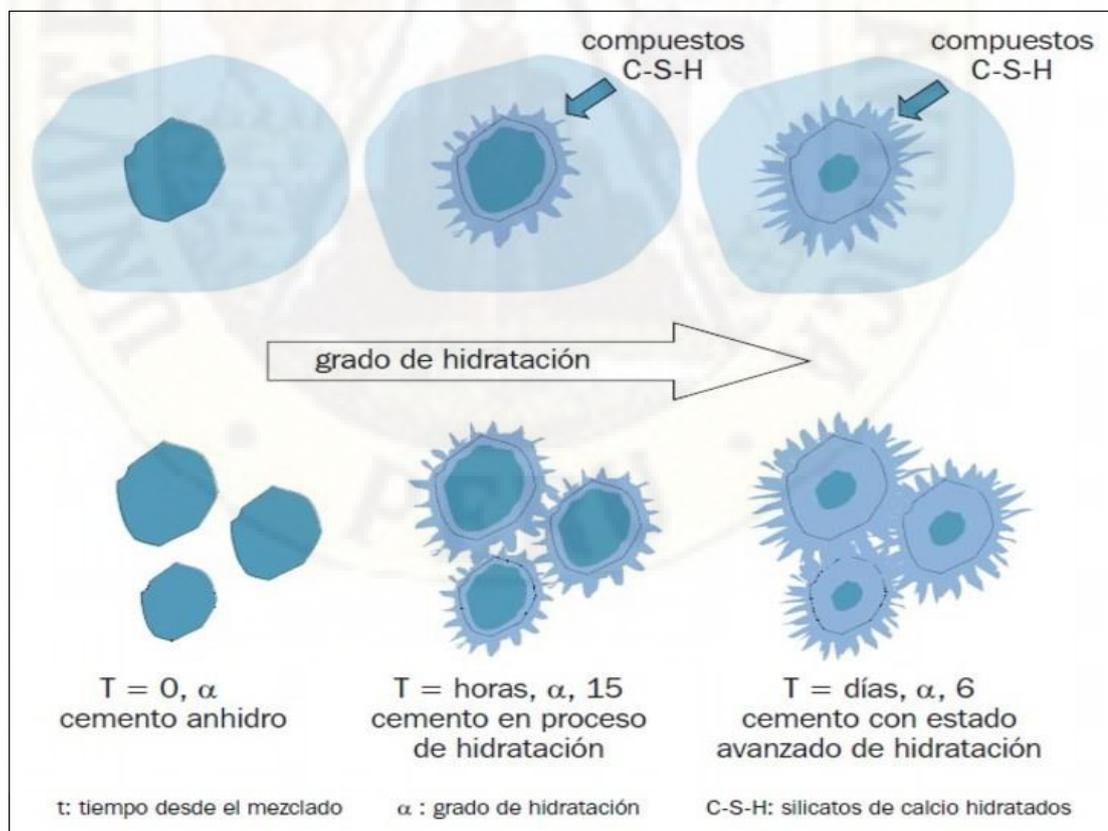
De acuerdo a las bibliografías revisadas para el presente trabajo, se denomina hidratación del cemento, al conjunto de reacciones químicas que se generan entre el agua y los compuestos del cemento que conllevan a generarse el cambio del estado

fresco al endurecido. Los componentes del cemento detallados anteriormente al entrar en contacto con el agua reaccionan formando hidróxidos e hidratos de calcio complejos.

La rapidez con que se realiza la hidratación es directamente proporcional a la cantidad de finos existentes del cemento e inversamente proporcional al tiempo por lo que al inicio es severamente rápida y va disminuyendo a medida que va pasando el tiempo. A todo ello, también podemos acotar, que el cemento Portland y el agua son mezclados se inicia un conjunto de reacciones químicas, las cuales han de dar por resultado pérdida de asentamiento, fraguado, endurecimiento y generación del calor de hidratación y desarrollo de resistencia.

En la siguiente figura 2, se detalla el proceso de mezcla con la menor proporción de agua/cemento, otorgada una cantidad mínima de agua. La separación entre las partículas es menor y mayor enlace entre las partículas de cemento, produciendo una mayor adherencia entre ellas.

**Figura 2.** Representación esquemática de la hidratación del cemento.



Fuente: Portugal Barriga P.

Del esquema anterior, podemos mencionar que el calor de hidratación del cemento es un mecanismo de hidratación exotérmico, lo que genera es que el concreto al fraguar y endurecer incrementa de temperatura; este aumento es fundamental en grandes volúmenes del concreto, debido a que cuando se genera el proceso de fraguado y comienza el descenso térmico, entonces se inicia la contracción del material, que puede conllevar a graves agrietamientos.

### **2.2.1.2.1.3 PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DEL CEMENTO**

Existen diversas definiciones respecto a las propiedades del cemento Portland, una de las principales, en el cual se basa el desarrollo de la presente investigación, es la teoría de Pasquel (1998), quien afirma “las propiedades físicas y mecánicas del cemento Portland se miden mediante ensayos realizados en el cemento puro, en la pasta o en el mortero (...)” (pág. 41). También es preciso mencionar, que estas propiedades físicas y mecánicas del cemento Portland permiten conocer las propiedades químicas del cemento y determinar otras características de su bondad como material cementante, mencionamos los siguientes:

- a. **PESO ESPECÍFICO:** se define como la relación del peso respecto al volumen en donde su valor varía entre 3,0 y 3,2 g/cm<sup>3</sup>. Dentro de ello es válido acotar que el peso específico del cemento Portland es aproximadamente de 3,15, y del cemento con adiciones siempre tienen un valor inferior ya que esto depende de la finura del material adicionado.
- b. **SUPERFICIE ESPECIFICA (FINURA):** la finura de un cemento es una de las propiedades físicas más fundamentales del cemento en vista que está relacionado directamente con el proceso de hidratación. El proceso de hidratación del cemento se genera desde la parte exterior hacia el interior, de la misma forma la superficie de las partículas del cemento conforma como el material de hidratación. La importancia de su finura del cemento es determinante ya que otorga la velocidad de hidratación, la resistencia inicial y el calor generado.
- c. **FRAGUADO:** sabemos que al realizar la combinación del cemento con el agua se genera una pasta, el cual es un elemento trabajable y moldeable y pasado un cierto tiempo va adquiriendo rigidez escribe la rigidez; sin embargo, el estado

endurecido hace referencia precisamente al aumento de la resistencia de una pasta ya fraguada.

- d. **RESISTENCIAS MECÁNICAS:** es la propiedad del material que posiblemente resulta del uso de los requisitos estructurales; y para medir dicha resistencia se elaboran probetas de mortero.

#### **2.2.1.2.1.4 TIPOS DE CEMENTO PORTLAND**

El cemento Portland se obtiene producto de la pulverización del Clinker en donde algunas veces se puede adicionar sulfato de calcio y dicha adición no debe superar el uno por cientos del peso total. Rivva (1992), afirma que el “cementos Portland normal deberá cumplir con los requisitos mencionados en la norma ASTM C 150 para los Tipos I, II y V (...)” (pág. 31). Dentro de ello, se puede decir que el cemento Portland tipo I, se puede emplear en concretos de uso general en aquellos en donde no se requieren propiedades específicas, el Tipo II se debe de utilizar en concretos que están expuestas aun moderado ataque de sulfatos y en aquellos donde se requieren un moderado calor de hidratación, y el cemento Portland Tipo V se deberá de utilizar en concretos de alta resistencia al ataque de sulfatos y agentes químicos.

Existen también otras definiciones respecto a los tipos del cemento Portland es la que menciona Pasquel (1998), afirma que los “Tipos de cementos Portland que podemos calificar de standard, ya que su fabricación está formada por requisitos específicos” (pág. 36). Este autor clasifica el cemento Portland normal en cinco tipos, detallo a continuación:

Tipo uno: se puede usar en concretos que no se requiere alguna propiedad específica.

Tipo dos: se puede usar en concretos de moderada resistencia a los sulfatos y calor de hidratación.

Tipo tres: se puede usar en concretos que necesitan adquirir resistencias rápidas y un alto calor de hidratación, generalmente se puede utilizar en climas fríos.

Tipo cuatro: se puede utilizar en concretos de bajo calor de hidratación.

Tipo cinco: se puede utilizar en concretos de alta resistencia a sulfatos y ambientes muy agresivos.

#### **2.2.1.2.2 AGREGADOS**

Respecto a los agregados existe una serie de definiciones, sin embargo, para el presente trabajo podemos definir que el agregado es uno de los materiales que tiene un mayor porcentaje de participación dentro del volumen del concreto. Torre (2004), quien afirma el “agregado son materiales inorgánicos de origen natural o artificial cuyos tamaños están fijados en la norma, (...). Son materiales que están embebidos en la pasta y que ocupan aproximadamente el setenta cinco por ciento del volumen del concreto (pág. 43). Al respecto de la definición mencionada por el autor es válido decir, que agregado es un componente fundamental del volumen del concreto, dentro de ello ocupa del setenta al ochenta por ciento y en tanto de las propiedades de ello depende la obtención de un concreto de buena calidad.

También existen otras definiciones respecto al agregado, se tomó en cuenta a Pasquel (1998). Afirma “el agregados como los elementos inertes del concreto que son aglomerados por la pasta de cemento para formar la estructura resistente” (pág. 69). De ello podemos afirmar que este componente del concreto ocupa aproximadamente los tres cuartas partes del volumen y de las cuales también podemos afirmar que es importante su caracterización debido a que este material está relacionado directamente con las propiedades solicitadas del concreto como la durabilidad y la resistencia. Adicionalmente es fundamental realizar la distribución granulométrica debido a que ello permite que las partículas menores ocupen los espacios existentes entre las más grandes y ello permite tener al concreto buena trabajabilidad.

##### **2.2.1.2.2.1 CLASIFICACIÓN DE LOS AGREGADOS**

Existen muchas formas de clasificar el agregado, las que mencionamos en seguida no son las únicas ni las más completas, pero responden a la práctica usual y las más importantes.

###### **2.2.1.2.2.1.1 POR SU PROCEDENCIA U ORIGEN**

###### **a. AGREGADOS NATURALES**

Este tipo de agregados son producto de los procesos geológicos naturales que pasaron en la naturaleza por muchos años y las cuales son obtenidos, separados y procesados para optimización correspondiente en la fabricación del concreto. Este tipo de agregados son las que se utilizan comúnmente a nivel mundial y principalmente en

nuestro país por la disposición de canteras extensas que cumplen tanto en cantidad y calidad, las cuales los hace más idóneas para la fabricación del concreto.

A continuación, se muestra una tabla con las rocas y minerales que componen los agregados naturales, las cuales resultan muy importantes para poder entender y describir adecuadamente los componentes de estos agregados.

**Tabla 3.** Clasificación de los agregados según su origen natral.

<b>MINERALES</b>	<b>ROCAS ÍGNEAS</b>	<b>ROCAS METAMÓRFICAS</b>
SILICE	Granito	Marmol
Cuarzo	Sienita	Metacuarcita
Opalo	Diorita	Pizarra
Calcedonia	Gabro	Filita
Tridimita	Pendotita	Esquisto
Cristobalita	Pegmatita	Anfibolita
SILICATOS	Vidrio volcánico	Hornfelsa
Feldspatos	Obsediana	Gneiss
Ferromagnesianos	Pumicita	Serpentina
Homblenda	Tufo	
Augita	Escoria	
Arcillas	Perlita	
Illitas	Fetsita	
Caolinas	Basalto	
Mortmotillonita	<b>ROCAS SEDIMENTARIAS</b>	
Mica	Conglomerados	
Zeolita	Arena	
CARBONATOS	Cuarcita	
Calcita	Arenisca	
Dolomita	Piedra arcillosa	
SULFATOS	Piedra aluvional	
Yeso	Argillita y pizarra	
Anhidrita	Carbonatos	
SULFUROS DE HIERRO	Calizas	
Pirita	Dolomitas	
Marcasita	Marga	
Pirotitita	Tiza	
ÓXIDOS DE HIERRO	Horsteno	
Magnetita		
Hematita		
Geotita		
Ilmenita		
Limonita		

Fuente: Enrique Pasquel Carbajal.

## ***b. AGREGADOS ARTIFICIALES***

El agregado artificial es producto del procesamiento de materiales encontrados en la naturaleza. Pasquel (1998). Afirma “los agregados artificiales provienen de un proceso de transformación de materiales naturales, (...). Reciben un tratamiento adicional se habilitan para emplearse en la producción de concreto” (pág. 69). Este tipo de agregados es común emplearlos en lugares donde no hay agregados, las cuales producto de la misma carencia obliga a los usuarios emplear materiales que requieren ser tratados como la arcilla horneada y el concreto reciclado, todo ello se realiza mientras se va averiguando la existencia de otro tipo de materiales y sus empleos en el concreto, ciertamente la globalización va conllevando a ello en emplear nuevos materiales.

### ***2.2.1.2.1.2 POR SU GRADACIÓN O TAMAÑO***

La gradación viene ser la clasificación de las partículas del agregado según su tamaño. Pasquel (1998). Afirma que la “gradación es la distribución volumétrica de las partículas que mencionamos tiene suma importancia en el concreto” (pág. 72). De lo afirmado podemos mencionar que la gradación es un proceso de separación de las partículas del agregado que comúnmente conocemos, dichas separaciones se realizan por tamaños denominados como agregado grueso y fino.

Esta separación se realiza también tomando en cuenta las aberturas de los tamices estándares existentes, pero referencialmente es respecto de la malla N° 04 que tiene una abertura de 4.75mm; es decir, el agregado grueso es respecto del tamiz mencionado hacia inferior y el agregado fino hacia el superior.

A continuación, en la siguiente tabla se menciona de forma detallada las aberturas de los tamices estándares, conocidos por la norma para la clasificación del agregado según su tamaño.

**Tabla 4.** Clasificación de los agregados según su tamaño.

TAMAÑO DE LA PARTÍCULA EN mm	DENOMINACIÓN CORRIENTE	CLASIFICACIÓN
Pasante del tamiz N° 200 a 0.002mm	Arcilla	Fracción fina o finos
Entre 0.002 - 0.074 mm	Limo	
Pasante del tamiz N° 4 y retenido en el tamiz N° 200		
Es decir, entre 4.76 mm - 0.074 mm	Arena	Agregado fino
Retenido en el tamiz N° 4		
Entre 4.76 mm y 19.1 mm (N° 4 y 3/4")	Gravilla	
Entre 19.1 mm y 50.8 mm (3/4" y 2")	Grava	
Entre 50.8 mm y 152.4 mm (2" y 6")	Piedra	Agregado grueso
Superior a 152.4 mm (6")	Rajón, piedra bola	

Fuente: El Concreto y otros materiales para la construcción (Libia Gutiérrez Lopes).

#### **2.2.1.2.2.1.3 POR SU DENSIDAD**

La densidad del agregado se expresa, el peso entre el volumen del concreto respecto del agua. Pasquel (1998). Afirma “la densidad como la gravedad específica, es decir, el peso entre el volumen de sólidos referido a la densidad del agua ” (pág. 72). De la afirmación de autor podemos acotar que también se pueden diferenciar como agregados normales donde los valores oscilan entre 2.50 a 2.75, agregados ligeros donde el valor de la densidad o gravedad específica menores a 2.50 y agregados pesados aquellos donde los valores de la gravedad específica son superiores a 2.75 y cada clasificación también en su empleo resulta concretos con distintas propiedades.

#### **2.2.1.2.2.1.4 POR SU NATURALEZA**

Respecto a esta clasificación existen también una variedad de definiciones, sin embargo, para el presente trabajo se tomó como principal de Torre (2004). Quien afirma que “los agregados pueden ser naturales o artificiales, siendo los naturales de uso frecuente, (...). Se pueden clasificar en: agregado grueso, fino y hormigón” (pág. 44). De las clasificaciones mencionadas en la definición del autor podemos acotar las características y conceptos fundamentales por cada una de ellas.

- **Agregado fino.** Es el material o agregado que queda retenido en el tamiz N° 200 y pasa por el tamiz N° 3/8”, a estos agregados también se le denomina como arena que al final es la obtención de desintegración de piedras.
- **Agregado grueso.** Es el material o agregado que queda acumulado en el tamiz N°4, a estos agregados también se le denomina como grava y piedra chancada las cuales se obtienen producto de la descomposición de las rocas.
- **Hormigón.** Este tipo de material o agregado se obtiene producto de la combinación entre la arena y la grava, las cuales se obtienen de forma natural y es común encontrar en la naturaleza como en una cantera.

#### **2.2.1.2.2.1.5 POR SU PESO**

Este tipo de clasificación mencionamos ligeramente en la definición de la densidad del agregado, pero corresponde en la clasificación por peso unitario y dentro de ello esta los normales, livianos y pesados. A continuación, detallamos cada una de ellas.

1. **Agregados pesados:** este tipo de agregados se denomina por que los pesos específicos son mayores al valor de 2.75, se pueden obtener en minerales como magnetita, la limonita, la baritina, etc.
2. **Agregados de peso normal:** este tipo de agregados se le denomina así porque su peso específico del agregado está contemplado dentro de los valores de 2.50 a 2.75 y se obtienen en arenas y cantos rodados de río o de cantera.
3. **Agregados livianos:** este tipo de agregados se le denomina así es porque los pesos específicos del agregado tienen un valor menor a 2.50 y se obtienen en materiales de escoria volcánica y piedra pómez.

#### **2.2.1.2.2.1.6 POR SU PERFIL**

Desde al punto de vista de su perfil de las partículas de agregado se clasifican de varias formas, detallamos a continuación:

- a. **Redondeado:** son partículas altamente trabajadas por desgaste o frotamiento por la misma acción de la naturaleza como el agua en los ríos o en el mar.

- b. **Irregular:** son materiales de grava que son producto del desgaste que se genera en la naturaleza y pueden ser irregulares o parcialmente perfiladas como las gravas de cantera de aluvión.
- c. **Laminado:** son materiales que tienen conformación generalmente en el sentido longitudinal, es decir son partículas en el espesor pequeña en comparación a otras dos dimensiones.
- d. **Angular:** son materiales en donde en la mayor parte las partículas poseen ángulos bien determinados.
- e. **Semi angular o semi redondeado:** son materiales en donde el agregado tienen ángulos y están conformados por la unión de caras ásperas y otras que son redondeadas.
- f. **Elongado:** son partículas del agregado que tienen la característica en donde comúnmente son angulares, la dimensión longitudinal es predominante respecto a las otras.
- g. **Laminado y elongado:** son partículas del agregado en donde tienen la dimensión longitudinal predominante que el ancho y este paralelamente a ello el espesor.

#### **2.2.1.2.2.1.7 POR SU TEXTURA SUPERFICIAL**

Desde el punto de clasificación de la textura, las partículas del agregado podemos mencionar muchas de ellas por los mismo que también distintos autores lo hacen, dentro de ello, detallamos a continuación:

- a. **Textura granular:** partículas del agregado donde se aprecia en la sección fragmentada, granos casi homogéneos.
- b. **Textura rugosa:** partículas del agregado, las cuales provienen de rocas fragmentadas de grano fino o medio.
- c. **Textura vítrea:** partículas del agregado en donde se obtiene de la fractura conchoidal.
- d. **Textura suave:** partículas del agregado en donde la textura fue suavizado por la acción del agua.
- e. **Textura cristalina:** partículas del agregado en donde el componente principal es cristal que se aprecia con facilidad.

- f. **Textura alveolar:** partículas del agregado en donde los componentes fundamentales presentan poros o cavidades de que se pueden ver con facilidad.

#### **2.2.1.2.2.1.8 POR SU PETROGRAFÍA**

Cuando clasificamos desde el punto de la petrografía es fundamental conocer los tipos de rocas originarias en donde también existe un amplio estudio al respecto, en la presente investigación detallamos los principales:

- a. **Grupo gabro:** partículas del agregado que contienen minerales como gabro, diorita, etc.
- b. **Grupo arenisca:** partículas del agregado que contienen minerales como arenisca, brecha, etc.
- c. **Grupo hornfelsa:** partículas del agregado que contienen piedras de todo tipo, alterados por el contacto del mármol.
- d. **Grupo caliza:** partículas del agregado que contienen minerales como caliza, dolomita y mármol.
- e. **Grupo cuarcita:** partículas del agregado que contienen minerales como arenisca, cuarcita, etc.
- f. **Grupo basalto:** partículas del agregado que contienen minerales como basalto, cuarzo, etc.
- g. **Grupo granito:** partículas del agregado que contienen minerales como Granito, cuarzo, diorita, etc.
- h. **Grupo pórfido:** partículas del agregado que contienen minerales como aplita, fercita, cuarzo, etc.
- i. **Grupo pedernal:** partículas del agregado que contienen minerales como pedernal y horsteno.
- j. **Grupo esquisto:** partículas del agregado que contienen minerales como pizarra, esquisto, filita, etc.

#### **2.2.1.2.2.2 FUNCIONES DEL AGREGADO**

El agregado es uno de los componentes fundamentales del concreto, es por ello necesario conocer a profundidad muchas características y propiedades, para el desarrollo del presente trabajo de investigación se tomó a Torre (2004), quien afirma

que las principales funciones del agregado son “como esqueleto o relleno adecuado para la pasta, (...). Proporciona una masa capaz de resistir acciones mecánicas de desgaste y disminuir los cambios de volumen resultantes de los procesos de fraguado y endurecimiento, de humedecimiento y calentamiento de la pasta” (pág. 45). De la afirmación del autor podemos mencionar que los agregados cumplen la función principal de otorgar propiedades de resistencia mecánica y ante el ataque de algún agente externo puede ser dañino, aparte de ello de ocupar la mayor parte del volumen del concreto, evitando claro que se generen espacios vacíos entre el agregado grueso y fino. El agregado fino también se puede conocer por el valor del módulo de fineza donde este valor nos indica si baja el agregado es más fino.

Podemos mencionar que otra función principal del agregado como componente principal del concreto es de generar un esqueleto rígido y muy estable lo que en conjunto tanto con el cemento y el agua. Adicionalmente a ello, el concreto en estado fresco es la unión del cemento y del agua, cumplen la función de lubricante entre las partículas de agregado generándole cohesión y trabajabilidad a la mezcla del concreto y para llegar a ello, la unión de cemento-agua (pasta) deberá recubrir totalmente la superficie de los agregados.

#### **2.2.1.2.2.3 PROPIEDADES FÍSICAS DEL AGREGADO**

Dentro de estas propiedades de agregados podemos mencionar las más importantes como densidad, resistencia, porosidad, y la granulometría. A fin de conocer los valores referenciales es fundamental realizar un conjunto de ensayos o pruebas standard y emplearlas en el diseño de mezclas, es necesario tener claro estas definiciones relacionados a las propiedades físicas de los agregados y sus valores numéricas.

A continuación, mencionamos cada una de ellas de manera detallada a fin de conocer a profundidad.

##### **a. DENSIDAD**

La densidad depende fundamentalmente de la gravedad específica de sus componentes del agregado como de la porosidad del material mismo. Es importante para los casos que se busca, fabricar concretos por resistencia o durabilidad y para son concretos de bajo o alto peso. Los materiales porosos

generalmente resultan tener densidades muy bajas y en consecuencia el resultante es producto muy débil ya que los materiales son frágiles y poseen un porcentaje de absorción alta.

**b. POROSIDAD**

La porosidad es una de las propiedades físicas más fundamentales debido a que tiene mucha influencia a otras propiedades como estabilidad química, resistencia a la abrasión, resistencias mecánicas, permeabilidad, etc. La porosidad es el espacio no ocupado del material sólido existente entre las partículas del agregado, una forma de cuantificar esta propiedad es determinando el porcentaje de la absorción. Los valores comunes en agregados normales pueden variar entre cero y quince por ciento, aunque en agregados ligeros, los valores de las porosidades están entre los valores del quince al cincuenta por ciento.

**c. PESO UNITARIO**

Esta propiedad se puede definir como el resultado de la relación entre el peso del agregado y el volumen total, incluyendo los vacíos. Pasquel (1998), afirma que “el peso unitario es el cociente de dividir el peso de las partículas entre el volumen total incluyendo los vacíos” (pág. 74). Efectivamente al aumentar los espacios vacíos existentes entre las partículas del agregado se va dirigiendo, de qué manera se acomodan estas, todo este proceso está influenciado principalmente por la gravedad específica, la granulometría, la humedad y textura del agregado. El peso unitario de los concretos de peso normal comúnmente está varando entre los valores de 1500 a 1700kg/m<sup>3</sup>.

Esta propiedad es posible cuantificar según la norma ASTM, la cual es fundamental evaluar el proceso de acomodo de las partículas del agregado para posteriormente realizar el compactado en un molde metálico apisonándolas con veinticinco golpes con una varilla de 5/8" en tres capas. Este resultado determinado es que se utiliza en algunos métodos de diseño de mezclas para cuantificar las dosificaciones en peso o en volumen. El poder cuantificar de esta propiedad del agregado nos permite también conocer otras propiedades

como el contenido de vacíos, clasificar el agregado en función a sus pesos como liviano, normal y pesado.

#### **2.2.1.2.2.4 PORCENTAJE DE VACÍOS**

El porcentaje de vacíos también es una de las propiedades físicas muy importantes debido a que nos permite determinar los espacios existentes entre las partículas del agregado claro que, este depende también del acomodo existente al realizar el compactado de las partículas del agregado.

#### **2.2.1.2.2.5 HUMEDAD**

La humedad es una propiedad en la que nos permite cuantificar la existencia de la cantidad de agua superficial retenida entre las partículas de agregado. Su importancia es fundamental dependiendo de la cantidad de agua menor o mayor, se incrementa o se disminuye en el proceso de mezclado del concreto.

#### **2.2.1.2.2.6 PESO ESPECÍFICO**

El peso específico se define como el resultado de dividir entre el peso de las partículas del agregado como el volumen de las mismas sin considerar los vacíos existentes entre ellas. La norma ASTM estandariza el procedimiento para su cuantificación en el laboratorio, su valor numérico para agregados normales varía entre 2,500 y 2,750 kg/m<sup>3</sup>.

#### **2.2.1.2.2.7 ABSORCIÓN**

Esta propiedad de la absorción es la capacidad de las partículas de los agregados de absorber o llenar de agua los espacios vacíos. Es importante debido a que se refleja en el concreto disminuyendo el agua en mezcla del concreto y a la vez influye en las propiedades resistentes y con la trabajabilidad del concreto, es por ello fundamental tenerla siempre presente a fin de realizar las correcciones necesarias.

#### **2.2.1.2.2.8 PROPIEDADES RESISTENTES DEL AGREGADO**

Esta propiedad por naturaleza misma del agregado es de otorgar características como de la resistencia a la comprensión ya que todo ello depende principalmente de la dureza, textura de las partículas del agregado, dentro de estas podemos mencionar las más resaltantes como resistencia, tenacidad y dureza.

#### **a. RESISTENCIA**

La resistencia de los agregados depende básicamente de su conformación de textura y estructura de las partículas y esta resistencia no puede ser superior a la resistencia de las partículas del agregado, para poder determinar la capacidad de resistencia a compresión, corte, tracción y flexión se deberá elaborar testigos cilíndricos o cúbicos de tamaño adecuado al equipo de ensayo de corte. La resistencia en compresión del concreto está relacionada de manera inversa con la porosidad y el porcentaje de absorción y directamente con el peso específico del concreto.

Sabemos ya por los conceptos abordados anteriormente que en los agregados normales el peso específico tiene un valor que varía de 2.5 a 2.7 y tienen resistencias en compresión del concreto que oscilan entre los valores de 750 a 1,200 Kg/cm<sup>2</sup>, de la misma forma de los agregados ligeros que el peso específico tiene un valor que varía de 1.6 a 2.5 y por ende también adquieren resistencias a compresión del concreto que oscila entre los valores de 200 a 750 Kg/cm<sup>2</sup>.

#### **b. TENACIDAD**

Esta propiedad del agregado está relacionada con la resistencia al impacto del material. De la misma forma también está más relacionada con la resistencia a flexión que en compresión, así como con la angularidad y aspereza de la superficie de las partículas del agregado.

#### **c. DUREZA**

La dureza es una propiedad que se puede definir la resistencia de las partículas del agregado a la erosión abrasión comúnmente llamado desgaste. En los agregados la dureza de esta se podrá determinar por medio de la resistencia a la abrasión en la máquina de Los Ángeles.

Los agregados con resultados altos de desgaste a la abrasión mayores al cincuenta por ciento, producen concretos con propiedades resistentes inadecuadas en la mayoría de casos.

#### **d. MÓDULO DE ELASTICIDAD**

Esta propiedad es conceptualizada como el cambio de esfuerzos con respecto a la deformación elástica, otorgándole como una medida de la resistencia del material del

agregado a las deformaciones. El módulo elástico de las partículas de los agregados es muy inusual, sin embargo, el concreto si experimenta deformaciones, de las cuales uno puede inferir que los agregados también presentan deformación elástica. El valor numérico del módulo de elasticidad también influye en el escurrimiento plástico y las contracciones que puedan conocerse.

**Tabla 5.** Valores de módulos elásticos según el tipo de agregado.

<b>TIPO DE AGREGADO</b>	<b>MÓDULO DE ELASTICIDAD</b>
Granitos	610000 kg/cm <sup>2</sup>
Areniscas	310000 kg/cm <sup>2</sup>
Calizas	280000 kg/cm <sup>2</sup>
Diabasas	860000 kg/cm <sup>2</sup>
Gabro	860000 kg/cm <sup>2</sup>

Fuente: Ing. Ana Torre Carrillo. (2004, ” (pág. 45))

#### **2.2.1.2.2.9 PROPIEDADES TÉRMICAS DEL AGREGADO**

Esta propiedad tiene que ver fundamentalmente con el comportamiento de las partículas de los agregados ante una variación de temperatura, es importante básicamente en el concreto, pues está a las diferentes características del cemento, se genera el calor de hidratación. Las propiedades térmicas están condicionadas por la humedad de los agregados, de la misma manera por la porosidad, es por ello que sus valores son muy variables.

##### **a. COEFICIENTE DE EXPANSIÓN**

El coeficiente de expansión determina la capacidad de incrementar de tamaños de las partículas del agregado en función de la temperatura. Esta variación de la dimensión de las partículas del agregado depende principalmente de los elementos constituyentes y de la estructura interna de las rocas, las cuales varían fuertemente entre los diferentes tipos de roca.

Los agregados secos son aproximadamente un diez por ciento mayor que en estado ligeramente saturado. Los valores que varían generalmente entre  $0.9 \times 10^{-6}$  a  $8.9 \times 10^{-6}$  / °C.

### ***b. CALOR ESPECÍFICO***

El calor específico es la propiedad térmica que determina la cantidad de calor que se necesita para aumentar en un grado centígrado la temperatura. Dicha propiedad no difiere mucho en los diferentes tipos de rocas, con excepción de los agregados muy ligeros y porosos, el calor específico tiene un valor de 0.18 Cal/gr.°C.

### ***c. CONDUCTIVIDAD TÉRMICA***

La conductividad es la propiedad que tiene la capacidad de tener la facilidad de ser en mayor o menor proporción de conducir el calor. Esta propiedad direccionada principalmente por la porosidad, siendo su intervalo de variación relativamente estrecho, los valores más comunes en los agregados están dentro de 1.1 a 2.7 Btu/pie.hr.°F.

### ***d. DIFUSIVIDAD***

La difusividad es la propiedad en donde los agregados experimentan cambios térmicos a una velocidad dentro de una masa de volumen de concreto. Se cuantifica como el producto de la relación de dividir la conductividad entre el producto del calor específico y la densidad.

## ***2.2.1.2.2.10. PROPIEDADES QUÍMICAS DEL AGREGADO***

Las propiedades químicas del agregado son comúnmente muy fuertes al ataque de agentes químicos y para lograr algún efecto sobre ellas, tendrían que ser necesariamente en forma de solución para poder tener la posibilidad de surtir algún efecto. Dentro del ataque químico que existen sobre los agregados, el más importante que puede tener afectaciones en la durabilidad del concreto, son productos de la reacción de ciertos agregados con los álcalis del cemento.

### ***1. REACCIÓN ALCALI-SÍLICE***

Estas propiedades químicas de los álcalis se encuentran generalmente en el cemento y están compuestas por el óxido de sodio y el óxido de potasio, las cuales en condiciones de temperatura y humedad pueden generar alguna reacción química en contacto con algunos minerales, generándose un gel expansivo. Existen pruebas de laboratorio para examinar estas reacciones que se encuentran definidas, estandarizadas

por la norma ASTM y las cuales nos permiten sacar información para determinar la reactividad del agregado.

## 2. REACCIÓN ALCALI-CARBONATOS

Esta reacción se produce por la presencia de los carbonatos en el agregado produciendo sustancias expansivas. Los procedimientos para su examinación se encuentran estandarizados por la norma ASTM.

### 2.2.1.2.2.11. GRANULOMETRÍA

La granulometría es una propiedad de los agregados en donde nos permite realizar la clasificación según las dimensiones de las partículas que las conforman. Pasquel (1998) afirma que la “granulometría es la representación numérica de la distribución volumétrica de las partículas por tamaños” (pág. 74). Se menciona ello en vista de que, de acuerdo a las informaciones detalladas anteriormente, sería un proceso sumamente complejo realizar la medición de las dimensiones de las partículas del agregado de manera individual. Es por ello para que el proceso de clasificación de las dimensiones del agregado sea mucho más práctico, realizamos el tamizado por una serie de mallas que tienen aberturas estandarizadas por la norma ASTM, dicho proceso consiste en realizar el pesado del material retenido encada tamiz y realizar la proporción de la división entre el peso total y esta cuantificación se deberá convertir en porcentaje, estos resultados expresados en porcentaje se procede a representar gráficamente y en ello nos permite observar toda la distribución volumétrica acumulada.

Es fundamental realizar la caracterización del agregado como el análisis granulométrico por el método de cribado, debido a que influye determinantemente en las propiedades del concreto fresco y endurecido.

**Tabla 6.** Tamices estándar normalizados por la norma ASTM.

DENOMINACIÓN DEL TAMÍZ	ABERTURAS EN PULGADAS	EBERTURA EN MILÍMETRO
3"	3.0000	75.0000
1 1/2"	1.5000	37.5000
3/4"	0.7500	19.0000
3/8"	0.3750	9.5000
Nº 4	0.1870	4.7500

N° 8	0.0937	2.3600
N° 16	0.0469	1.1800
N° 30	0.0234	0.5900
N° 50	0.0117	0.2950
N° 100	0.0059	0.1475
N° 200	0.0029	0.0737

Fuente: Diseño de mezclas (Enrique Rivva López).

**a. GRANULOMETRÍA DEL AGREGADO FINO**

La distribución volumétrica del agregado fino, son aquellos materiales en donde se encuentran dentro de los límites indicados por las normativas ASTM y NTP, en donde en dichas normas se deben encontrar dentro del intervalo del tamiz N° 04 al N° 100.

A continuación, se muestra una tabla en donde se indican los números de los tamices, al cual comúnmente se le denomina la serie de Tyler.

**Tabla 7. Límites de granulometría del agregado fino.**

MALLA	% QUE PASA
3/8"	100
N° 4	95 - 100
N° 8	80 - 100
N° 16	50 - 85
N° 30	25 - 60
N° 50	10 - 30
N° 100	2 - 10

Fuente: Diseño de mezclas (Enrique Rivva López).

Respecto a lo mencionado en tabla anterior, se debe de acotar los materiales acumulados entre dos tamices consecutivos, sumados ellos, no deberán exceder más de cuarenta y cinco por ciento, y en caso contrario si ellos sucedieran, se podrá concluir que el agregado es de muy mala calidad. Adicionalmente a ello es importante conocer el término denominado módulo de fineza, también se encuentra normalizado, dicho módulo deberá estar dentro de los intervalos de 2.30 al 3.10, en caso si tuviera valores inferiores al menor o superiores al mayor valor, se tendrá ciertas deficiencias en el proceso de fabricación del concreto.

### **b. GRANULOMETRÍA DEL AGREGADO GRUESO**

La gradación o distribución volumétrica del agregado grueso, son materiales que están acumulados por encima del tamiz N° 04 y deben cumplir la estandarización de la norma tanto de la ASTM y NTP. La gradación debe tener la continuidad respectiva y con ello nos permitirá obtener concretos de densidades máximas cumpliendo las características solicitadas tanto en estado fresco y endurecido.

**Tabla 8. Límites de granulometría del agregado grueso.**

TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL	PORCENTAJE QUE PASAN POR LAS SIGUIENTES MALLAS							
	2"	1 1/2"	1"	3/4"	1/2"	3/8"	N° 4	N° 8
2"	95 -100	-	35 -70	-	10 - 30	-	0 - 5	-
1 1/2"	100	95 -100	-	35 - 70	-	10 - 30	0 - 5	-
1"	-	100	95 - 100	-	25 - 60	-	0 - 10	0 - 5
3/4"	-	-	100	90 - 100	-	20 - 55	0 - 10	0 - 5
1/2"	-	-	-	100	100	40 - 70	0 - 15	0 - 5
3/8"	-	-	-	-	100	85 - 100	10 - 30	0 - 10

Fuente: Diseño de mezclas (Enrique Rivva López).

Adicionalmente también existe un término, el cual nos permite cuantificar el agregado grueso, es a través del tamaño máximo en donde es fundamental conocer debido a que mide la cantidad de partículas de menor tamaño. Los agregados con deficiencia de tamaños poseen una gran cantidad de espacios libres entre sus partículas y utilizados en la fabricación del concreto, se necesitarán más cantidad de cemento y agua, si ello sucede la piedra como componente del concreto tiende a distanciarse entre ellos con mayor facilidad, es por ello para evitar situaciones como estas, la normativa establece curvas de distribución volumétrica entre las que deben encontrarse comprendido el agregado.

#### **2.2.1.2.2.12 MÓDULO DE FINEZA**

El módulo de fineza es una propiedad de los agregados finos que cuantifican la cantidad de finos existente entre las partículas del agregado. Pasquel (1998), afirma que es la “suma de los porcentajes retenidos acumulativos de la serie Standard hasta el Tamiz No 100 y esta cantidad se divide entre 100” (pág. 92). Esta definición es

determinada en el año 1925 por Duff Abrams, quien menciona que este módulo es promedio de las partículas acumuladas en los tamices establecidos por las normas.

En cierta forma se debe tenerse en claro que este método del cálculo del módulo de fineza es un método que se aplica tanto a la piedra y la arena, nos permite realizar de la mejor manera la caracterización del agregado libremente o la mezcla del concreto.

**a. TAMAÑO MÁXIMO**

El tamaño máximo es una propiedad de caracterización del agregado grueso que está estandarizado por la norma ASTM y NTP, en donde menciona como a la menor abertura del tamiz por la que pasa todo el material del agregado grueso como muestra.

**b. TAMAÑO NOMINAL MÁXIMO**

Esta propiedad es una de las caracterizaciones del agregado que se define como el primer acumulado de material en el menor tamiz y éstos no pueden ser mayor a la quinta parte del Tamaño de la cara de encofrado o mayor de la tercera parte del peralte de la losa ni mucho menos las  $\frac{3}{4}$  partes de los espacios vacíos existentes entre los elementos de refuerzo del concreto.

**2.2.1.2.3 AGUA**

El agua, sabemos qué es uno de los componentes fundamentales del concreto debido a que es el elemento, genera la hidratación al entrar en contacto con cemento formando la pasta. Torre (2004), afirma que “el agua es aquella que no tiene sabor u olor puede ser utilizada para preparar concreto, (...). El estudio del agua es importante en la mezcla del concreto ya que este material interviene en la reacción química con el material cementante” (pág. 29). Este elemento cumple funciones fundamentales, como generar hidratación con el cemento, realzar la lubricación entre las partículas del agregado para dar la propiedad de la trabajabilidad del concreto, así como otorgar espacios libres para que el proceso de hidratación se desarrolle y así cumplir las diferentes solicitudes del concreto.

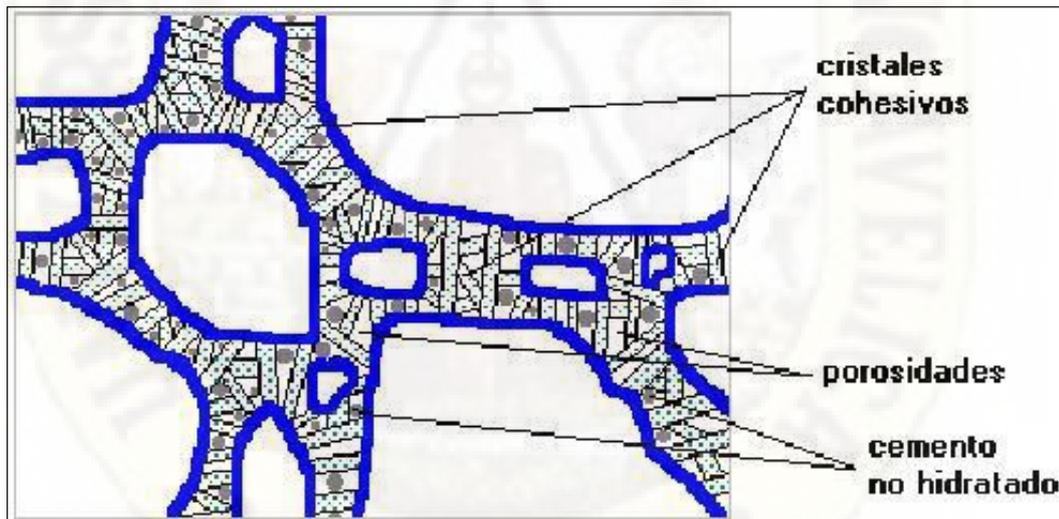
**2.2.1.2.3.1 FORMACIÓN DEL GEL**

La formación del gel podemos definir como la parte sólida de la pasta que se obtiene como el resultado de la reacción química del cemento con el agua durante el proceso

de hidratación. El gel en su estructura es una aglomeración porosa de partículas sólidas amarradas, el conjunto forma una red eslabonada que contiene compuesto amorfo. Desempeña la función más importante porque influye en gran parte en la obtención de las características del concreto como en las sollicitaciones de sus resistencias mecánicas y en la propiedad de la deformación del concreto como es el módulo de elasticidad.

Los compuestos químicos del cemento Portland conforman cerca del setenta y cinco por ciento del peso de esta y al estar en contacto con el agua se generan otros dos nuevos compuestos químicos como es el hidróxido de calcio y el hidrato de silicato de calcio y este último compuesto químico es el más importante en la fabricación del concreto. Las propiedades tanto físicas y mecánicas del concreto dependen fundamentalmente del fraguado, endurecimiento, resistencia y estabilidad dimensional del concreto.

*Figura 3. Formación del gel en la estructura interna del concreto.*



Fuente. Curso básico de tecnología del concreto (Ana Torres Carrillo).

#### **2.2.1.2.3.2 EN ESTADO FRESCO**

El agua en estado plástico o fresco del concreto tiene la propiedad de actuar como un medio lubricante, ya que ello permite facilitar la manipulación, transporte y colocación de la misma. Aparte de ello también nos permite evitar ciertas anomalías que se pueden presentar como cangrejeras o espacios libres demasiados, las cuales en el resultado son perjudiciales para obtener las propiedades solicitadas del concreto.

#### **2.2.1.2.3.3 EN ESTADO ENDURECIDO**

El estado endurecido del concreto es la propiedad en donde adquiere una forma de un sólido y comienza a obtener características solicitadas. Es fundamental saber el tiempo en que se toma el cemento al estar en combinación con el agua, se genera el proceso de hidratación, este es aquel intervalo de momentáneo o donde comienza el proceso de fraguado y de endurecimiento. Sin embargo, también ese tiempo que se toma el concreto para reaccionar debe de ser no tan rápida, es decir el tiempo del proceso de preparación, transporte y colocación del concreto debe de ser menor en comparación al tiempo de fraguado. Una vez llevado el concreto, al sitio en donde finalmente cumplirá su función estructura, lo natural es que se desee que fragüe o se endurezca lo más pronto posible, gracias a ello para poder solucionar estos percances que se generan durante la madurez del concreto existe componentes del concreto como los aditivos, con las cuales no puede acelerar o que el proceso de fraguado sea un poco más lento.

#### **2.2.1.2.3.4 CURADO DEL CONCRETO**

Esta propiedad del concreto es el tiempo en que los componentes del concreto como el cemento y el agua están realizando el proceso de hidratación y por los tanto el concreto mantiene ciertas condiciones como la humedad y temperatura, así llegar a las resistencias solicitadas. Estas resistencias seguirán continuando, en mientras internamente el concreto posee material cementante sin realizar el proceso de hidratación. El concreto en un periodo de secado, posteriormente se vuelve a saturar, el proceso de la hidratación se reinicia y también la resistencia se vuelve a incrementar, es por ello, el mejor proceso que de manera continua, someterlo al curado desde el instante en que el concreto ha sido colocado en su posición de cumplir como elemento estructural hasta que adquiera las resistencias solicitadas del diseño.

Es fundamental poder realizar investigaciones del agua que se emplea durante el proceso de preparado del concreto, ya que estas deberán estar libres de cualquier sustancia que puedan dañar las características principales del concreto, de la misma forma cerciorarse que el agua sea potable o de lo contrario, tienen que estar libres de materiales orgánicos, aceites, azúcares, etc.

A continuación, podremos mencionar de manera muy detallada los tipos del agua que se emplea o que se generan en fabricación del concreto comenzando desde el proceso de mezclado hasta obtener la edad suficiente en la que adquiere la resistencia y durabilidad del concreto

- a. **AGUA DE MEZCLADO:** es la cantidad de agua necesaria para poder realizar el mezclado de los componentes del volumen de concreto.
- b. **AGUA DE HIDRATACIÓN:** es la cantidad de agua que se utiliza en el mezclado de los componentes del concreto específicamente como el cemento y el agua en donde estas reaccionan químicamente para poder formar parte de la etapa solididad del gel.
- c. **AGUA EVAPORABLE:** es la cantidad de agua excedente que existe en la pasta, por los mismo de que es agua libre, esta se puede evaporarse, pero no necesariamente en su totalidad.
- d. **AGUA CAPILAR:** es la cantidad de agua que ocupa los espacios libres en la pasta, las distancias existentes entre ellas son sumamente pequeñas de manera que muchas de ella están sujetas a las fuerzas de superficie del gel.
- e. **AGUA LIBRE:** es la cantidad de agua en la que se puede mover con mucha facilidad y esta se puede evaporarse.
- f. **AGUA DE CURADO:** es la cantidad de agua que se utiliza para el curado del concreto y de la misma forma es aquella que permite realizar el proceso de hidratación con la finalidad de que el concreto adquiriera la resistencia y durabilidad solicitada en las que fueron diseñados.

#### **2.2.1.2.3.5 REQUISITOS DE CALIDAD DEL AGUA**

Los requisitos principales del agua que se debe de utilizar en la preparación del concreto están mencionados en la NTP, y de acuerdo con lo mencionado en esta norma el agua debe de ser potable y encaso no lo fuera, se debe de realizar los estudios correspondientes a fin de evitar que este contenga sustancias dañinas para las propiedades del concreto. Adicionalmente a ello podemos acotar que el agua que se utiliza en el preparado del concreto, debe ser la misma en la que se utilizó en el diseño de mezcla.

Los requisitos adicionales aparte de los ya mencionados son las siguientes, la existencia de la variación en su color deberá ser controlado, de la misma forma al utilizar aguas no potables, estas deberán ser certificadas su calidad mediante el análisis de un laboratorio.

En la tabla que se detalla a continuación se muestra los límites permitidos de acuerdo a la norma las sustancia como los materiales orgánicos, sulfatos, sales, azúcares, etc. Dichos valores permisibles se encuentran expresados en partes por millón y son las siguientes:

**Tabla 9.** Límites permisibles para el agua de mezcla.

DESCRIPCIÓN	LÍMITE PERMISIBLE
Sólidos en suspensión (residuo insoluble)	5000 ppm máximo
Materia orgánica	3 ppm máximo
Alcalinidad (NaHCO <sub>3</sub> )	1000 ppm máximo
Sulfatos (ion SO <sub>4</sub> )	600 ppm máximo
Cloruro (ion Cl <sup>-</sup> )	1000 ppm máximo
PH	5 - 8 máximo

Fuente: Norma técnica peruana NTP.339.088

#### **2.2.1.2.3.6 LIMITACIONES DEL AGUA**

Las limitaciones que existen del son específicamente de las sustancias dañinas que pudieran contener estas y sumado a ello las impurezas existentes en los agregados y aditivos es sumamente peligroso, es por ello que se debe de tener un especial cuidado ya que en los concretos que llevan elementos de refuerzo como aceros, aluminios o fierros galvanizados pudiera ser perjudicial.

La cantidad total de sustancias o impurezas como el ión cloruro presente en los componentes del concreto como en el agua, agregados y aditivos, no deberá exceder los porcentajes detallados, en el siguiente cuadro que detallamos a continuación:

**Tabla 10.** Porcentaje de ion cloruro máximo según el tipo de concreto.

<b>TIPO DE CONCRETO</b>	<b>PORCENTAJE</b>
Concreto preesforzado	0.06%
Concreto armado con elementos de aluminio o fierro galvanizado	0.06%
Concreto armado expuesto a la acción de cloruros	0.10%
Concreto armado sometido a un ambiente húmedo, pero no expuesto a cloruros	0.15%
Concreto armado seco o protegido de la humedad durante su vida por medio de un recubrimiento impermeable	0.80%

Fuente. Curso básico de tecnología del concreto (Ana Torres Carrillo).

#### **2.2.1.2.3.7 AGUA DE MAR**

Sabemos que el agua del mar está prohibida para el uso en el concreto, en especial cuando se trata de un concreto reforzado debido a que existe la posibilidad grande de riesgo que el acero se corroe, de la misma forma genera eflorescencia y humedad en superficies que están expuestas al aire y agua.

El agua marina o de mar está prohibida su uso en los siguientes tipos de concretos, detallamos a continuación.

- ✚ concretos presforzados,
- ✚ concretos en donde la compresión a los veintiocho días sea superior del setenta y cinco Kg/cm<sup>2</sup>,
- ✚ concretos en donde los elementos de refuerzo,
- ✚ concretos mezclados con cementos de alto contenido de óxido de alúmina,
- ✚ concretos con terminado de superficies importantes,
- ✚ concretos de cara vista,
- ✚ concretos de gran volumen o masivos,
- ✚ concretos preparados en climas calientes,
- ✚ concretos expuestos a la brisa marina,
- ✚ concretos preparados con agregados que contienen minerales reactivos,
- ✚ concretos preparados con cementos aluminosos.

#### **2.2.1.2.4 ADITIVOS**

Los aditivos son materiales que se incorporan durante la preparación del concreto y posteriormente también con la finalidad de modificar de alguna manera algunas características, como el proceso de hidratación, endurecimiento e incluso internamente en el concreto es por ellos muchos autores e incluso en la actualidad la tecnología plantea considerar el aditivo como un componente más del concreto. Torre (2004), afirma que el aditivo como “un material que, no siendo agua, agregado, cemento hidráulico, o fibra de refuerzo, (...) y es añadido a la tanda inmediatamente antes o durante su mezclado” (pág. 60). Su empleo de estos materiales está especificado en la norma NTP, en donde que se mencionan se pueden usar con la finalidad obtener mejores propiedades resistentes del concreto, mejorar la trabajabilidad por que nos facilita realzar los trabajos previos con el preparado, transporte, colocado y curado del concreto.

##### **2.2.1.2.4.1 CLASIFICACIÓN DE LOS ADITIVOS PARA CONCRETO**

Los aditivos se pueden clasificar con la finalidad de modificar las propiedades del concreto, en vista de que su objetivo de este material es trabajar como una alternativa de solución. Las más importantes y comunes son las siguientes.

- a. **ACELERANTES:** estos aditivos tienen la propiedad de aumentar casi en la mayor parte las resistencias a compresión y de la misma forma disminuir el tiempo de fraguado del concreto.
- b. **INCORPORADORES DE AIRE:** estos aditivos tienen la propiedad de mejorar el comportamiento del concreto a temperaturas muy extremas y de la misma forma mejora las propiedades de trabajabilidad y evita que algunos componentes del concreto se segreguen.
- c. **REACTORES DE AGUA:** estos aditivos nos permiten utilizar menor cantidad de agua de lo que sería normal y tienen por objetivo también mejorar la tarbajabilidad y resistencia del concreto.
- d. **IMPERMIABILIZANTES:** este tipo de aditivos tienen la propiedad de controlar las filtraciones que se generan en la grietas o fisuras reduciendo el ingreso del agua en el concreto.

- e. **RETARDADORES:** estos aditivos tienen la propiedad de aumentar el tiempo de fraguado o endurecimiento normal del concreto.

### **2.2.1.3 PRINCIPALES PROPIEDADES DEL CONCRETO**

#### **2.2.1.3.1 ESTRUCTURA INTERNA DEL CONCRETO**

El concreto en su parte interna está compuesto fundamentalmente por los materiales que interviene en ella, como el cemento, el agua y el agregado. Pasquel (1998), afirma que es una “matriz, constituida por la pasta de cemento y agua, que aglutina a los agregados gruesos, finos, aire y vacíos, estableciendo un comportamiento resistente debido en gran parte a la capacidad de la pasta para adherirse a los agregados” (pág. 129). Los materiales que conforman la parte interna del concreto son importantes debido a que depende de ellos obtener la capacidad de resistir esfuerzos de tracción y compresión. Desde el punto de las diferentes afirmaciones de autores también podemos mencionar que el concreto no posee una estructura interna homogénea, es decir que las propiedades en diferentes partes y direcciones del concreto no es la misma y eso se le denomina que es isotrópica esto debido a que los materiales que componen el concreto tienen diferentes tipos de acomodarse y así quedar en un lugar definitivo y lograr endurecerse.

En la estructura interna del concreto endurecido también se puede observar que existen vacíos en la mayor parte, generados por el agua, sabemos que esta cumple la función de actuar como material lubricante.

#### **2.2.1.3.2 PROPIEDADES DEL CONCRETO EN ESTADO FRESCO**

Conocer las propiedades del concreto en estado plástico o fresco es fundamental debido a que dependerá de ellos tener productos de concreto de buena calidad, mencionamos las principales a continuación:

##### **a. TRABAJABILIDAD**

La trabajabilidad es la propiedad del concreto que nos permite realizar cualquier trabajo o manipular con mucha facilidad. Pasquel (1998), afirma que la trabajabilidad es tener “la mayor o menor dificultad para el mezclado, transporte, colocación y compactación del concreto” (pág. 131). De ello podemos acotar que esta propiedad depende principalmente de los componentes que intervienen en el concreto debido a

que está influenciada fundamentalmente por la cantidad de materiales finos existentes, el proceso de la mezcla contenga mayor cantidad de agua y la forma de las partículas del agregado sean redondas.

También existen otros conceptos de autores que afirman como Gutiérrez (2003), define que la trabajabilidad como una “propiedad del concreto fresco que se define como su capacidad para ser colocado, compactado adecuadamente y para ser terminado sin segregación ni exudación” (pág. 53). De ello podemos decir es una propiedad del concreto en donde evita que los componentes se sedimentan y se debe tener cuidado en no equivocarse con el término de manejabilidad en donde esto va conjugada a la plasticidad. La manejabilidad tampoco debe equivocarse con la consistencia o fluidez, el cual está relacionada de cómo se encuentra la mezcla seca o fluida. Entre ciertos valores de límites de húmedas, el concreto es mucho más manejable a que se encuentra secas o duras.

De los dos conceptos citados anteriormente podemos afirmar que la trabajabilidad es una propiedad del concreto en estado fresco en donde nos permite manipular de acuerdo a las solicitudes. Una forma de determinar la trabajabilidad es a través del cono de Abrams (Slump), en donde se miden el asentamiento producido de acuerdo a la plasticidad del concreto.

#### ***b. ESTABILIDAD***

La estabilidad del concreto es el desplazamiento que se genera ante un sometimiento de fuerzas externas. Esta propiedad se puede determinar a través de la exudación y la segregación, estas características del concreto en estado fresco dependen principalmente de la existencia de la cantidad de finos dentro de la estructura del concreto.

#### ***c. COMPACTIBILIDAD***

La compactabilidad del concreto es la propiedad en donde los componentes que conforman el concreto se acomodan con mucha facilidad. Pasquel (1998), afirma que “la compactabilidad es la medida de la facilidad con que puede compactarse el concreto fresco” (pág. 136). Estas propiedades se pueden cuantificar a través del término llamado "Factor de compactación" en donde con este valor se puede

determinar como la relación de dividir entre la densidad suelta y la densidad compactada cantidad del concreto compactado.

A continuación, se detalla una tabla en donde se pueden observar valores de revenimiento relacionados con diferentes medidas de factor de compactación para distintas condiciones de trabajabilidad.

**Tabla 11.** *Trabajabilidad, revenimiento y factor de compactación de concreto.*

Grado de trabajabilidad	Revenimiento		Factor de compactación		Uso adecuado del concreto (* El aparato grande no se usa normalmente)
	mm	pulg.	Aparato pequeño	Aparato grande (*)	
Muy pequeño	0 a 25	0 a 1	0.78	0.8	Pavimentos vibrados con máquinas operadoras mecánicamente. En el extremo más trabajable de este grupo, el concreto podrá compactarse en ciertos casos con máquinas operadas manualmente
Pequeño	25 a 50	1 a 2	0.85	0.87	Pavimentos vibrados con máquinas operadoras a mano. En el extremo más trabajable de este grupo, el concreto podrá compactarse manualmente en pavimentos que empleen agregados de forma redonda o irregular. Cimentaciones de concreto en masa sin vibrado o secciones con poco refuerzo y vibradas.
Medio	50 a 100	2 a 4	0.92	0.935	en el extremo más trabajable de este grupo de losas planas usando agregados triturados compactadas manualmente

	100 a			
Alto	175	4 a 7	0.95	0.96

para secciones congestionadas de refuerzo. Normalmente no adecuado para vibrarse. Concreto reforzado, compactado a mano y secciones muy reforzadas y vibradas

Fuente: Enrique Pasquel Carbajal.

#### **d. MOVILIDAD**

La movilidad es una propiedad del concreto en estado plástico o fresco en donde los componentes o materiales se desplazan con mucha facilidad ante una fuerza externa generada. Dicho desplazamiento que se produce es gracias a la acción de la viscosidad, cohesión.

La viscosidad es una característica del concreto que produce fricción entre los componentes de cemento – agua con las formas de las partículas de los agregados y de la misma forma la cohesión, es la fuerza de adherirse entre los materiales cementantes y las partículas de los agregados.

#### **e. SEGREGACIÓN**

La segregación es una propiedad en donde las partículas del agregado grueso y fino son separados. Pasquel (1998), afirma que por “ las diferencias de densidades entre los componentes del concreto provocan una tendencia natural a que las partículas más pesadas descendan” (pág. 139). Podemos afirmar por lo general la densidad de los agregados finos es aproximadamente casi un veinte por ciento menos que del agregado grueso. Esto puede generarse como una mala caracterización de los agregados como la granulometría.

La segregación principalmente se genera cuando las partículas del agregado grueso se separan de las otras, es por misma acción de la gravedad debido a que durante el proceso de preparación de la mezcla hay poco contenido de relación agua cemento, produciendo mezclas secas y de la misma forma también puede ocurrir cuando el contenido de los materiales cemento agua sean demasiados o muy plásticas, es por ello fundamental realizar los estudios tanto de caracterización y diseño de la manera correcta.

#### ***f. EXUDACIÓN***

La exudación es un fenómeno también denominado como sangrado en donde se genera la existencia de agua que sube hacia la parte superior de la estructura del concreto en los procesos de recién colocado o durante el fraguado. Esta puede generar algunos problemas en el concreto cuando no se realiza ningún tratamiento; es por ello, el proceso de sangrado de agua de ser mucho menor al proceso de exudación.

Generalmente cuando ocurre la exudación se forma una película de agua y sobre ella polvorear cemento generando otra pequeña capa delegada que lo aísla por completo y que no deja pasar agua. La exudación es posible controlar con materiales como los aditivos inclusores de aire, cementos más finos y un control del agregado fino.

#### ***g. CONTRACCIÓN***

La contracción es una de las propiedades más importantes respecto a los problemas de fisuración que se genera con bastante frecuencia. Este problema no es irreversible en vista de que se puede remediar amentando lo suficiente la cantidad de agua perdida durante el proceso de secado del concreto ya que si no se realizara ello inevitablemente se presentara la fisuración tan solo queda realizar la orientación de esta.

#### ***h. CONCISTENCIA***

La consistencia es la propiedad en donde existe la mayor facilidad del concreto de deformarse o adaptarse a una forma o tamaño en estado fresco y está influenciado principalmente de la cantidad de agua de mezcla, del tamaño máximo del agregado grueso y de la distribución granulométrica de las partículas del agregado.

#### ***i. HOMOGENEDAD Y UNIFORMIDAD***

Estas son propiedades del concreto en estado plástico, en donde la homogeneidad consiste que los componentes o materiales que forman la estructura del concreto de distribuyan de manera equitativa o igual, de la misma forma la uniformidad que deben tener entre varios tipos de masas de concreto. La mala caracterización o reconocimiento de estas propiedades puede generar problemas como la segregación o decantación entre las partículas del agregado fino y grueso.

#### **j. COMPACIDAD**

La compacidad es también propiedad del concreto en estado fresco que determina la relación existente entre el volumen real del agredo grueso y fino con el volumen aparente de este si incorporar el aire o espacios vacíos existentes entre ellas.

### **2.2.1.3.3 PROPIEDADES DEL CONCRETO EN ESTADO ENDURECIDO**

#### **a. ELASTICIDAD**

La elasticidad es una propiedad que cuantifica la deformación existente ante una aplicación de la carga externa. Pasquel (1998), afirma “es la capacidad del concreto de deformarse bajo carga, sin tener deformación permanente” (pág. 142). De ello podemos afirmar que por lo general el concreto no es considerado plástico en vista que no tiene un comportamiento lineal en ningún tramo de su diagrama carga vs deformación sometido a una carga a compresión, pero comúnmente se define con término de módulo de elasticidad, el sobre el diagrama se traza una recta tangente desde la parte inicial.

Generalmente concretos que tienen un diseño de mezcla de buena calidad los resultados del módulo de elasticidad son muy buenos, es decir que tienen alta capacidad de deformación.

#### **b. DURABILIDAD**

La durabilidad podemos definir como la propiedad que otorga el concreto ante el ataque de agentes externos que influyen negativamente como la humedad, sales, o agentes químicos. Estas generalmente pueden ser generados por:

**Tabla 12.** Características que afectan la durabilidad del concreto.

<b>Mecánicas</b>	Vibraciones, sobrecargas, impactos, choques.
<b>Físicas</b>	Oscilaciones térmicas, ciclos de hielo y deshielo, fuego, causas higrométricas.
<b>Químicas</b>	Contaminación atmosférica, aguas filtradas, terrenos agresivos.
<b>Biológicas</b>	Vegetación o microorganismos.

Fuente. Curso básico de tecnología del concreto (Ana Torres Carrillo).

### ***c. IMPERMIABILIDAD***

La impermeabilidad se define como la poca o nula capacidad de dejar fluir un líquido. El concreto por naturales de la existencia de por o espacios libres presentes en los materiales que lo constituyen es porosa, pero dicha impermeabilidad se puede obtener utilizando productos como son los aditivos.

### ***d. EXTENSIBILIDAD***

La extensibilidad es la propiedad del concreto a deformarse sin presentar grietas y se puede determinar en función de la deformación unitaria máxima sin que está presente fisuraciones. Esta propiedad depende principalmente de la elasticidad y de la capacidad de que el concreto recupere parcialmente su forma generado por la deformación que tiene el concreto bajo carga permanente en el tiempo.

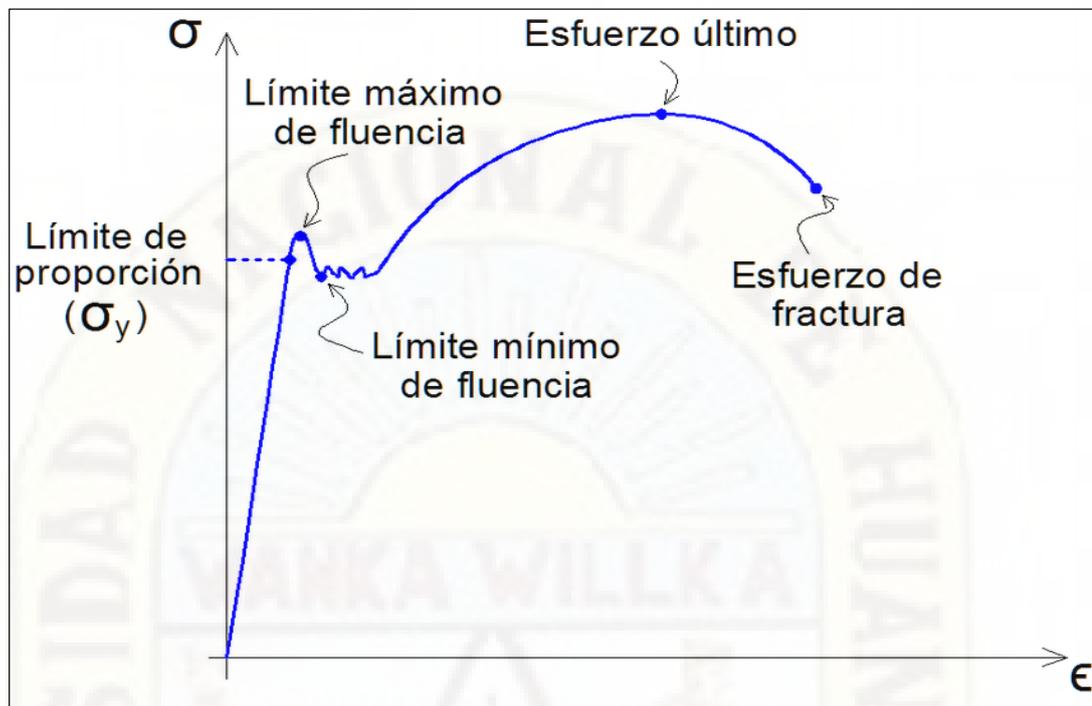
## ***2.2.1.3. PROPIEDADES MECÁNICAS DEL CONCRETO***

### ***1. RESISTENCIA A COMPRESIÓN***

La resistencia del concreto es capacidad de soportar al sometimiento de cargas en donde estas cargas varan rápidamente. Pasquel (1998), afirma que la resistencia como 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” (pág. 143). De lo mencionado por el autor concluimos esta propiedad está influenciada fundamentalmente de la concentración en la cantidad de los componentes de agua y cemento.

Aparte de la definición detallada anteriormente existen otros conceptos respecto a la resistencia del concreto. Gutiérrez (2003), manifiesta que “la resistencia a la compresión simple es la característica mecánica más importante de un concreto y se utiliza normalmente para juzgar su calidad” (pág. 53). Los factores que influyen en la resistencia del concreto son principalmente de cómo se realizan la caracterización y estudio de la calidad y cantidad de componentes del forman el concreto como los agregados, cemento y agua, de la misma forma el proceso de fabricación del concreto desde la preparación, transporte, colocación, compactación y curado.

**Figura 4.** Diagrama de esfuerzo y deformación del concreto.



Fuente: esquema de resistencia a compresión (Portugal Barriga).

## 2. RESISTENCIA A FLEXIÓN

Esta propiedad del concreto está relacionada principalmente en función de la resistencia a compresión por general es aproximadamente el diez por ciento de ella. Esta resistencia a flexión que están sometidos son estructuras de concreto que comúnmente reciben cargas o fuerzas en sentido longitudinal o en el de mayor dimensión.

### 2.2.1.3 LOS PLÁSTICOS

Los plásticos son materiales que se obtienen de sustancias poliméricas en donde una macromolécula lineal o tridimensional constituyen los nanómetros. Espinoza (2005), menciona que “los plásticos son materiales obtenidos artificialmente mediante una gran transformación química de sustancias de origen orgánico, (...). Están formados por gigantescas moléculas de carbono, junto con otros elementos como hidrógeno, el oxígeno, el nitrógeno o el azufre” (pág. 1). De lo afirmado por este autor podemos acotar que los plásticos pueden tener procedencia de origen animal, vegetal e incluso mineral y a ellos se le puede adicionar para puedan tener aspectos bastante agradables como los colorantes y para que sean un poco resistentes a la carga.

#### **2.2.1.3.1 OBTENCIÓN DE LOS PLÁSTICOS**

Los plásticos como ya hemos mencionado anteriormente tienen origen principalmente del tipo mineral como el petróleo y el gas natural, En las fábricas petroquímicas los convierten esas materias primas de origen mineral en sustancias como el etileno, el propileno, el butileno y otros hidrocarburos ligeros las cuales sirven como base para la producción de los plásticos. Este proceso se le llama polimerización que es la unión de los monómeros se realiza en secuencia.

#### **2.2.1.3.2 PROPIEDADES DE LOS PLÁSTICOS**

Las propiedades principales del plástico son las que detallamos a continuación, pero es difícil describir propiedades de manera general debido a la existencia de muchas variedades de plásticos.

- a. **PLASTICIDAD:** es la propiedad que los caracteriza fundamentalmente debido a son muy fáciles obtener y de darle forma.
- b. **CONDUCTIVIDAD ELECTRICA:** son materiales por general no conductores de energía, es por ellos es utilizado muchas veces en la práctica como aisladores de energía eléctrica.
- c. **CONDUCTIVIDAD TERMICA:** son materiales que se caracterizan por ser malos conductores de cambio de temperatura, es decir nos conductores de calor o frio.
- d. **RESISTENCIA MECANICA:** son materiales que se caracterizan por general por ser muy resistentes a los sometimientos de fuerzas, golpes y estiramientos. De la misma forma son resistentes al ataque de cualquier agente químico, atmosférico y a productos ácidos y corrosivos.

#### **2.2.1.3.3 CLASIFICACIÓN DE LOS PLÁSTICOS**

Las clasificaciones de los plásticos se pueden realizar por s comportamiento al calor y según su polimerización.

##### **2.2.1.3.3.1 TERMOPLÁSTICOS**

Son plásticos que se caracterizan por que se reblandecen al ser sometidos al calor y pueden ser nuevamente procesados con mucha facilidad pudiendo recibir nuevas formas por extrusión o moldeo. Es por ello que se pueden reciclarse. La temperatura máxima a la que pueden ser sometidos es de ciento cincuenta grados centígrados.

Los termoplásticos más comunes que se conocen en nuestro medio son las siguientes que detallo a continuación.

1. **Polietileno tereftalato (PET):** es una fuerte pero ligera forma de poliéster claro. Es usado en la fabricación de recipientes para bebidas, agua, aceites, limpiadores y envasado de alimentos.

El PET fue desarrollado inicialmente para producir fibras sintéticas. Luego empezó a usarse para películas de empaque y posteriormente en botellas plásticas mediante la técnica de moldeo por soplado. Hoy en día este es su principal uso.

La estructura molecular del PET hace de este un material fuerte, ligero y transparente. Asimismo, sus propiedades físicas permiten una gran variedad de diseños.

2. **Polietileno (PE):** es un material termoplástico entre transparente y blanquecino que a menudo se fabrica en películas delgadas. Las secciones gruesas son traslúcidas y tienen apariencia cerosa. Con el uso de colorantes se obtienen una gran variedad de derivados coloreados.

Se emplea en contenedores, como aislante eléctrico, en la fabricación de material químico (tubos y varillas), en la fabricación de artículos para el hogar y de botellas moldeadas por insuflación de aire. También se usan películas de polietileno para empaquetamientos en general y recubrimiento de pozos y estanques.

✚ **Polietileno de baja densidad (LDPE/PEBD):** es sintetizado a presiones muy altas y temperaturas. El polietileno de baja densidad tiene una estructura de cadena ramificada que hace que disminuya su grado de cristalinidad y su densidad, pero le da una gran flexibilidad. La flexibilidad y la cristalinidad pueden ser controladas por la adición de bajas concentraciones de monómeros de acrílico o vinilo durante la polimerización. También hace disminuir su resistencia porque reduce las fuerzas intermoleculares de unión.

✚ **Polietileno de alta densidad (HDPE/PEAD):** es producido a relativamente baja temperatura y presión. Tiene esencialmente una estructura de cadena lineal. Presenta ramificaciones muy pequeñas sobre las cadenas principales, y así las cadenas son capaces de agruparse más próximas con lo que se incrementa la cristalinidad y la resistencia. Sus principales aplicaciones se encuentran en la fabricación de películas (film), envases domésticos y para alimentos, juguetes, tanques de gas, tubos, cajones, etc. Mediante moldeo por soplado y moldeo por inyección.

3. **Cloruro de polivinilo (PVC):** el PVC. Es una combinación química de carbono, hidrógeno y cloro. Sus materias primas provienen del petróleo y de la sal común.

El extenso uso del PVC se atribuye principalmente a su alta resistencia química y su facilidad para ser mezclado con variedad de aditivos para dar lugar a un gran número de compuestos con una amplia gama de propiedades físicas y químicas.

4. **Polipropileno (PP):** es sintetizado por la polimerización del propileno, lo cual resulta en dos tipos fundamentales de polipropileno con aplicaciones comerciales.

El polipropileno presenta una variedad de propiedades que lo hacen muy atractivo para ser utilizado en la fabricación de productos manufacturados. Entre estas propiedades podemos citar: buena resistencia física a la humedad y al calor, baja densidad, buena dureza superficial y estabilidad dimensional, buenas características aislantes. El polipropileno posee una flexibilidad notable, lo que aconseja su uso en productos que requieran ser articulados. Estas características explican el crecimiento de este material en diferentes sectores.

Las principales aplicaciones comerciales del PP se dan en la manufactura de productos moldeados por inyección como productos para el hogar, electrodomésticos, envases, tubos, hojas y fibras textiles para las alfombras.

#### ***2.2.1.3.3.2 TERMOESTABLES***

Son plásticos que se caracterizan por que una vez moldeados no pueden ser reprocesados por sometimiento a calor. Es por ello, una vez moldeados mediante presión y calor, no se pueden volver a moldear.

#### ***2.2.1.3.3.3 ELASTÓMEROS***

Son plásticos que se caracterizan por presentan una gran cantidad de deformación elástica al ser sometidos a una fuerza. Llantas de autos, los objetos en forma de arco, mangueras y aislamientos para conductores eléctricos son usos más comunes de estos materiales.

Los elastómeros termoplásticos son un grupo especial de estos polímeros. Se comportan como termoplásticos a temperaturas elevadas y como elastómeros a temperaturas bajas. Este comportamiento permite que estos materiales se puedan reciclar con mayor facilidad que los termoplásticos convencionales.

#### ***2.2.1.3.4 MÉTODOS PARA FABRICAR OBJETOS DE PLÁSTICO***

Existen una variedad de métodos para poder realzar la fabricación de los plásticos y entre los principales es por la polimerización y estas como ya sabemos se caracterizan por someterlos a calor los gránulos para ablandarlos, Necesitan un molde y terminamos el proceso con el enfriamiento para que se solidifique y adquiera la dureza necesaria. Los métodos principales a seguir son las siguientes:

- a. **COLADA:** considerado como la primera parte del proceso de fabricación en donde el plástico sometido a calor hasta llegar al estado líquido para luego ponerlo dentro de un molde y dejarlo enfriarse.
- b. **ESPUMADO:** el espumado es donde se introduce aire en el interior de la masa de plástico para formar burbujas.
- c. **CALANDRADO:** proceso en donde se hacen pasar el plástico a través de unos rodillos para tener como resultado láminas flexibles mediante presión.
- d. **COMPRESIÓN:** método donde se somete al calor el plástico granulado para dejarlo y someterlo a presión a través de una prensa hidráulica.
- e. **INYECCIÓN:** método en donde ingresa al plástico en polvo dentro de un recipiente cilíndrico en donde se calienta cuando el plástico logra ablandarse un tornillo lo presiona en un molde de acero. Este molde posteriormente es enfriado con el agua con la finalidad que el plástico se solidifique.
- f. **EXTRUSIÓN:** método de fabricación donde se introduce plástico en polvo dentro de un cilindro y es sometido a calor para ablandar y posteriormente un tornillo lo presiona para hacer salir a través de una boquilla con la forma que se quiera.
- g. **SOPLADO:** método de fabricación de los plásticos en donde se ingresa una cantidad de plástico al interior de un molde para que posteriormente se inyecte aire a presión.
- h. **MOLDEO POR VACÍO:** método de fabricación del plástico en donde se coloca plástico sobre un molde para que posteriormente someten a calor y se ablandan.

#### **2.2.1.3.5 CÓDIGO DE IDENTIFICACIÓN DE LOS PLÁSTICOS**

En la identificación de todos los tipos de los plásticos existentes en todo el medio ambiente y dentro de nuestro alrededor, es de alguna forma complejo, por ello existe código que son los números presentados dentro de un triángulo, sabemos que en nuestro medio local, regional y nacional existe un gran porcentaje de basura provenientes de nuestros hogares las cuales son materiales plásticos. Para que el proceso de recuperación de la gran cantidad de basura que arrojamos sea efectivo es fundamental realizar una selección y separación previa. Poder reconocer el tipo preciso

del plástico con el que está fabricado un objeto no es fácil, es por ello para facilitar su identificación durante el proceso de recuperación o reciclaje existe un código de símbolos destinado a su identificación.

El proceso de identificación está determinado por códigos numerados del uno al siete y estas están en el interior de un símbolo en forma de triángulo en cuyos lados tiene forma de flechas. De todas las cantidades de residuos plásticos generados por la humanidad a diario es enorme y dentro de ello podemos precisar que casi el 90% de basura se encuentran dentro de los seis tipos de plásticos, mencionados a detalle anteriormente.

A continuación, se muestra de manera detallada los siete tipos de plástico con la simbología y codificación respectiva de los plásticos las cuales facilitan bastante durante el proceso de recuperación o reciclaje y son las siguientes:

*Tabla 13. Simbología y codificación de los diferentes tipos de plásticos.*

SÍMBOLO	DESCRIPCIÓN	APLICACIONES
 PET	Para identificar plásticos de <b>polietileno tereftalato</b>	Envases de refrescos. Fibras textiles
 PEAD	Para identificar plásticos de <b>polietileno de alta densidad</b>	Bolsas de basura y de supermercado. Botes de detergente y champús. Envases de zumo, leche y yogurt
 PVC	Para identificar plásticos de <b>cloruro de polivinilo</b>	Suela de zapatos. Conducciones eléctricas y tubos
 PEBD	Para identificar plásticos de <b>polietileno de baja densidad</b>	Agitadores y pajitas de refrescos. Bolsas de plástico
 PP	Para identificar plásticos de <b>polipropileno</b>	Bolsas de Microondas. Botes de yogurt. Pañales desechables.



Para identificar plásticos de

**poliestireno**

Vasos, platos y cubiertos.

Envases y tapas.

Envases de foam, colchonetas.

Paneles aislantes



Para identificar todos los

plásticos diferentes a los

anteriores

Diversos

Fuente: Agustín Espinoza.

### 2.2.1.3.6 CARACTERÍSTICAS DEL PLÁSTICO PEAD

Sabemos que son plásticos también llamados de alta densidad y es producido a temperaturas bajas que oscilan entre sesenta de 200 °C y a una presión que varían entre uno a cien atmosferas.

Los usos principales se encuentran en productos de películas (film), envases domésticos y para alimentos, juguetes, tanques de gas, tubos, cajones, etc. Mediante moldeo por soplado y moldeo por inyección.

**Tabla 14.** Características técnicas del polietileno de alta densidad (PEAD).

DESCRIPCIÓN	CARACTERÍSTICAS
Densidad (gr/cm <sup>3</sup> ) ISO 1183	0.95
Resistencia a la tracción (N/mm <sup>2</sup> ) DIN EN ISO 257	28
Resistencia al alargamiento (%) DIN EN ISO 257	8
Alargamiento de la rotura (%)	300
Modulo - E (Mpa) DIN ISO 527	850
Resistencia al impacto (KJ/m <sup>2</sup> ) DIN EN ISO 179	Sin rotura
Resistencia al impacto en probeta (KJ/m <sup>2</sup> ) DIN EN ISO 179	50
Dureza superficial (N/mm <sup>2</sup> ) DIN EN ISO 2039-1	45
Dureza shore (N/mm <sup>2</sup> ) D ISO 868	66
Expansión lineal coeficiente K-1 DIN 53752	1'8.10-4
Conductividad térmica (W/m -K) DIN 52613	0.38
Comportamiento ante el fuego	Normal inflamable

Rigidez dieléctrica (KV/mm) VDE 0303-21	44
Resistencia superficial Ohm DIN IEC 167	10 <sup>14</sup>
Rango de temperatura °C	100 hasta 80
Resistencia a los productos químicos	Alta resistencia a los ácidos, álcalis y disolventes
Aceptable fisiológicamente	Si
Soldadura	Si
Refuerzo fibra de vidrio	-
Laqueado, impresión	-
Moldeado en caliente	Posible

Fuente: <http://www.aqualine.cl/planchas.html>

#### **2.2.1.3.6.1 USOS:**

- ✚ envases para: detergentes, lejía, aceites automotores, champú, lácteo,
- ✚ bolsas para supermercados,
- ✚ cajones para pescados, gaseosas, cervezas,
- ✚ envases para pintura, helados, aceites,
- ✚ tambores,
- ✚ tuberías para gas, telefonía, agua potable, minería, láminas de drenaje y uso sanitario,
- ✚ macetas,
- ✚ bolsas tejidas.

### **2.3. BASES CONCEPTUALES**

#### **2.3.1 Estudio del concreto**

##### **2.3.1.1 Definición del Concreto**

El concreto es un producto artificial compuesto por los agregados, cemento, agua, en donde mezclados hacen la pasta y aditivos. La pasta tiene la función de dar resultados de las propiedades principales solicitadas del concreto en estado endurecido, llenar los vacíos existentes entre las partículas del agregado, así cohesionarse fuertemente. Adicionalmente el concreto es uno de los materiales más usado en el sector de la construcción por las mismas propiedades físicomecánicas que

posee como una alta resistencia a la comprensión, y lo contrario una baja resistencia a tracción, es por ello, para aumentar esa baja resistencia a tracción se emplea aceros de refuerzo.

Al realizar la mezcla de los componentes del concreto genera una masa que en un estado fresco puede ser moldeable y trabajable con mucha facilidad, pero dicha propiedad va perdiendo a medida que va pasando el tiempo y esto va adquiriendo un estado endurecido hasta llegar a tener una forma de un cuerpo sólido y este cuerpo se torna mecánicamente muy resistente a cualquier agente o fuerza externa.

### ***2.3.1.2 COMPONENTES DEL CONCRETO***

Los componentes de concreto son cuatro y dentro de ellas se encuentra el cemento, agua, agregados y aditivos como elementos activos y el aire como elemento pasivo. El aditivo un elemento normal a utilizar, en vista que muchas veces se utilizan para mejorar las características tanto del concreto fresco y endurecido está demostrado por la ciencia su uso normal y todo ello conllevando a lo largo del tiempo a una solución más económica. Es fundamental enfatizar en el componente del cemento debido a que es uno de los ingredientes activos que interviene en menor proporción, sin embargo, es el componente que define el comportamiento del concreto, por eso mismo es necesario enfatizar en este componente está muy pegado a las reacciones químicas que se generan al entrar en contacto con el agua y los aditivos.

#### ***2.3.1.2.1 CEMENTO PORTLAND***

El cemento Portland normal es una de los principales componentes del concreto, se caracteriza por ser un material pulverizado que al entrar en contacto con el agua se genera una reacción química y va formando el elemento llamado la pasta conglomerante capaz de adquirir aspecto sólido a medida que pasa el tiempo, tanto bajo el agua como en el aire, generalmente tiene un aspecto de polvo muy fino, de color verdoso, al realizar la conminación con agua adquiere una masa muy trabajable y moldeable.

##### ***2.3.1.2.1.1 PROPIEDADES QUÍMICAS DEL CEMENTO***

Las materias primas que constituyen el cemento es el cal, sílice, alúmina y óxido de hierro, donde estos componentes llegan a reaccionan por el mismo proceso de

cocción e interactúan formando algunos compuestos más complejos, hasta lograr un estado de equilibrio químico. Los compuestos químicos son las siguientes:

- a. **SILICATO TRICÁLCICO (C3S)**: su función principal del silicato tricálcico es el componente más importante que otorga resistencias iniciales del concreto, de la misma forma libera gran cantidad de calor de hidratación y es el primero en hidratarse, es decir se fragua con mucha rapidez. Es importante la concentración alta de este componente debido a que posee un buen comportamiento ante la acción a los ciclos de hielo y deshielo.
- b. **SILICATO DICÁLCICO (C2S)**: se caracteriza por presentar una lenta velocidad de hidratación y genera un calor de hidratación bajo la concentración alta de este compuesto, tiene una acción al generar concretos resistentes al ataque del intemperismo y de sulfatos.
- c. **ALUMINATO TRICALCICO (C3A)**: este compuesto generalmente posee un color oscuro y se caracteriza por hidratarse con mucha rapidez es decir se fragua rápido al entrar en contacto con el agua, además de ello tiene una baja resistencia a la acción de los ataques de intemperismo, de los sulfatos y agentes químicos.
- d. **TETRACÁLCICO (C4AF)**: se caracterizan debido a que poseen un calor de hidratación moderada, una rápida velocidad de hidratación y una alta estabilidad química. El uso de estos compuestos tiene que tener condiciones de empleo específicos como en todos aquellos casos en que importe la durabilidad frente a los agresivos químicos que las resistencias mecánicas.

De todos los compuestos mencionados anteriormente podemos acotar que el silicato tricálcico (C3S) y silicato dicálcico (C2S) posee una concentración del 75% del cemento, es por ello, las resistencias de un concreto, se debe a estos dos compuestos netamente.

#### **2.3.1.2.1.2 HIDRATACIÓN DEL CEMENTO**

La hidratación del cemento es el proceso en donde se genera reacciones químicas entre el agua y los compuestos del cemento que conllevan a producir el cambio del estado fresco al endurecido. Los componentes del cemento detallados anteriormente al entrar en contacto con el agua reaccionan formando hidróxidos e hidratos de calcio

complejos. La rapidez con que se realiza la hidratación es directamente proporcional a la cantidad de finos existentes del cemento e inversamente proporcional al tiempo por lo que al inicio es severamente rápida y va disminuyendo a medida que va pasando el tiempo.

### **2.3.1.2.1.3 PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DEL CEMENTO**

estas propiedades físicas y mecánicas del cemento Portland permiten conocer las propiedades químicas del cemento y determinar otras características de su bondad como material cementante:

- a. **PESO ESPECÍFICO:** se define como la relación del peso respecto al volumen en donde su valor varía entre 3,0 y 3,2 g/cm<sup>3</sup>. Dentro de ello es válido acotar que el peso específico del cemento Portland es aproximadamente de 3,15, y del cemento con adiciones siempre tienen un valor inferior ya que esto depende de la finura del material adicionado. Se usa para los cálculos en el diseño de mezcla. Caracterizado en un material en estado compacto, y en laboratorio se obtiene o determina mediante el ensayo del Frasco de Le Chatelier.
- b. **SUPERFICIE ESPECÍFICA (FINURA):** la finura de un cemento es una de las propiedades físicas más fundamentales del cemento en vista que está relacionado directamente con el proceso de hidratación. El proceso de hidratación del cemento se genera desde la parte exterior hacia el interior, de la misma forma la superficie de las partículas del cemento conforma como el material de hidratación. La importancia de su finura del cemento es determinante porque otorga la velocidad de hidratación, la resistencia inicial y el calor generado. La importancia radica en que, a mayor finura, aumenta la resistencia. También sucede que a mayor finura del cemento incrementa la rapidez de hidratación. Se expresa en m<sup>2</sup>/kg y en laboratorio existen dos ensayos para determinarlos.
  - permeabilímetro de Blaine,
  - turbidímetro de Wagner.

- c. **FRAGUADO:** Describe la rigidez de la pasta del cemento, se refiere a un cambio del estado de fluido al estado rígido. El proceso de fraguado va acompañado de cambios de temperatura en la pasta del cemento; el fraguado inicial corresponde a un rápido aumento en temperatura y el final, al máximo de temperatura. Se expresa en minutos. En el laboratorio existen dos ensayos para poder determinarlos.
- agujas de Vicat,
  - agujas de Gillmore.
- d. **RESISTENCIAS MECÁNICAS:** es la propiedad del material que posiblemente resulta del uso de los requisitos estructurales; la resistencia es función de su fineza, composición química, grado de hidratación, así como contenido de agua de la pasta.
- e. **RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN:** es una de las más importantes propiedades del material que mide la capacidad mecánica del cemento a soportar una fuerza externa en compresión, se expresa en kg/cm<sup>2</sup>. En el laboratorio se obtiene mediante:
- ensayo de compresión en probetas cúbicas, se prueba a diferentes edades: 1, 3, 7, 14, 28 días.

#### **2.3.1.2.1.4 TIPOS DE CEMENTO PORTLAND**

El cemento Portland se clasifica en cinco tipos según su fabricación, cuyas propiedades están normalizadas sobre la base de las especificaciones de la norma ASTM.

**1. CEMENTO PÓRTLAND SIN ADICIÓN.** Conformados por Clinker Pórtland y la inclusión solamente de un determinado porcentaje de sulfato de calcio (yeso). En seguida se menciona según las normas técnicas:

- ✚ Tipo uno: se puede usar en concretos que no se requiere alguna propiedad específica.
- ✚ Tipo dos: se puede usar en concretos de moderada resistencia a los sulfatos y calor de hidratación.

- ✚ Tipo tres: se puede usar en concretos que necesitan adquirir resistencias rápidas y un alto calor de hidratación, generalmente se puede utilizar en climas fríos.
- ✚ Tipo cuatro: se puede utilizar en concretos de bajo calor de hidratación.
- ✚ Tipo cinco: se puede utilizar en concretos de alta resistencia a sulfatos y ambientes muy agresivos.

**2. CEMENTO PÓRTLAND ADICIONADOS.** La normativa ASTM especifica las características de los cementos adicionados, los que contiene además de los compuestos mencionados, escoria y puzolanas añadido, tenemos a continuación:

- ✚ Tipo IS, concentración que varía entre veinticinco por ciento y setenta por ciento en peso de escoria de alto horno.
- ✚ Tipo ISM, concentración de menos veinticinco por ciento en peso de escoria de alto horno.
- ✚ Tipo IP, concentración que varía entre quince por ciento y cuarenta por ciento en peso de puzolana.
- ✚ Tipo IPM, concentración de menos de quince en peso de puzolana.

### **2.3.1.2.2 AGREGADOS**

El agregado es uno de los materiales que tiene un mayor porcentaje de participación dentro del volumen del concreto y esta puede ser de origen natural o artificial y que ocupa aproximadamente el 70% al 80% del volumen y en tanto de las propiedades de estos depende la obtención de un concreto de buena calidad.

Es fundamental realizar la distribución granulométrica debido a que ello permite que las partículas menores ocupen los espacios existentes entre las más grandes y ello permite tener al concreto buena trabajabilidad.

#### **2.3.1.2.2.1 CLASIFICACIÓN DE LOS AGREGADOS**

Según las bibliografías encontradas existen varias clasificaciones del agregado, ya que la que describiremos a continuación no son necesariamente las únicas ni las más completas, pero responden a la práctica usual en tecnología del concreto.

### **2.3.1.2.2.1.1 POR SU PROCEDENCIA U ORIGEN**

#### **a. AGREGADOS NATURALES**

Este tipo de agregados son producto de los procesos geológicos naturales que pasaron en la naturaleza por muchos años y las cuales son obtenidos, separados y procesados para optimización correspondiente en la fabricación del concreto.

La norma ASTM, hace referencia de manera muy detallada la nomenclatura estándar de los constituyentes de los agregados minerales naturales, que resulta muy útil para entender y describir adecuadamente dichos constituyentes. Estos agregados son los de uso más frecuente a nivel mundial y particularmente en nuestro país por su amplia disponibilidad tanto en calidad como en cantidad, lo que los hace ideales para producir concreto.

#### **b. AGREGADOS ARTIFICIALES**

El agregado artificial es producto del procesamiento de materiales encontrados en la naturaleza. Este tipo de agregados es común emplearlos en lugares donde no hay agregados, los cuales producto de la misma carencia obliga a los usuarios emplear materiales que requieren ser tratados como la arcilla horneada y el concreto reciclado, todo ello se realiza mientras se va averiguando la existencia de otro tipo de materiales y sus empleos en el concreto, ciertamente la globalización va conllevando a ello en emplear nuevos materiales.

### **2.3.1.2.2.1.2 POR SU GRADACIÓN O TAMAÑO**

La gradación es un proceso de separación de partículas del agregado que comúnmente conocemos, dichas separaciones se realizan por tamaños denominados como agregado grueso y fino. Esta separación se realiza también tomando en cuenta las aberturas de los tamices estándares existentes, pero referencialmente es respecto de la malla N° 04 que tiene una abertura de 4.75mm; es decir el agregado grueso es respecto del tamiz mencionado hacia inferior y el agregado fino hacia el superior.

### **2.3.1.2.2.1.3 POR SU DENSIDAD**

La densidad del agregado se expresa del peso entre el volumen del concreto respecto del agua, también se le conoce como gravedad específica y se pueden diferenciar como agregados normales, donde los valores oscilan entre 2.50 a 2.75, agregados ligeros donde el valor de la densidad o gravedad específica menores a 2.50

y agregados pesados, aquellos donde los valores de la gravedad específica son superiores a 2.75 y cada clasificación también en su empleo resulta concretos con distintas propiedades.

#### **2.3.1.2.2.1.4 POR SU NATURALEZA**

Dentro de esta clasificación se puede mencionar que los agregados pueden ser de origen natural o artificial, siendo los naturales de uso frecuente, además los agregados utilizados en el concreto se pueden clasificar en: agregado grueso, fino y hormigón. De las clasificaciones mencionadas en la definición del autor podemos acotar las características y conceptos fundamentales por cada una de ellas.

- 1. El agregado fino.** Partículas del agregado que pasa el tamiz 3/8" y queda retenido en la malla N° 200, estos agregados también se le denomina como arena que al final es la obtención de desintegración de piedras.
- 2. El agregado grueso.** Partículas del agregado que queda retenido en el tamiz N°4, a estos agregados también se le denomina como grava y piedra chancada, las cuales se obtienen producto de la descomposición de las rocas.
- 3. El hormigón.** Material conformado por una mezcla de arena y grava este material mezclado en proporciones arbitrarias se encuentra en forma natural en la corteza terrestre y se emplea tal cual se extrae en la cantera.

#### **2.3.1.2.2.1.5 POR SU PESO**

De acuerdo con su peso unitario dado su densidad, se clasifican en:

- 1. Agregados pesados:** este tipo de agregados se denomina por que los pesos específicos son mayores al valor de 2.75, se pueden obtener en minerales como magnetita, la limonita, la baritina, etc.
- 2. Agregados de peso normal:** este tipo de agregados se le denomina así porque su peso específico del agregado está contemplado dentro de los valores de 2.50 a 2.75 y se obtienen en arenas y cantos rodados de río o de cantera.
- 3. Agregados livianos:** a este tipo de agregados se le denomina así, es porque los pesos específicos del agregado tienen un valor menor a 2.50 y se obtienen en materiales de escoria volcánica y piedra pómez.

#### **2.3.1.2.2.1.6 POR SU PERFIL**

Desde al punto de vista de su perfil de las partículas de agregado se clasifican de varias formas, detallamos a continuación:

- a. **Redondeado:** agregados altamente trabajadas por desgaste o frotamiento por la misma acción de la naturaleza como el agua en los ríos o en el mar.
- b. **Irregular:** son materiales de grava, son producto del desgaste que se genera en la naturaleza y pueden ser irregulares o parcialmente perfiladas como las gravas de cantera de aluvión.
- c. **Laminado:** son materiales que tienen conformación generalmente en el sentido longitudinal, es decir son partículas en el espesor, es pequeña en comparación a otras dos dimensiones.
- d. **Angular:** comprende aquellas partículas cuyos ángulos son bien definidos y están formados por la intersección de caras rugosas.
- e. **Semi angular o semi redondeado:** comprende aquellas partículas cuyos ángulos están formados por la intersección de caras rugosas y otras que son redondeadas o tienden a serlo.
- f. **Elongado:** son partículas del agregado en donde generalmente son angulares, en las cuales la longitud es considerablemente mayor a las otras dos dimensiones.
- g. **Laminado y elongado:** comprende aquellas partículas que tienen la longitud considerablemente mayor que el ancho, y este considerablemente mayor que el espesor.

#### **2.2.1.2.2.1.7 POR SU TEXTURA SUPERFICIAL**

Desde el punto de la clasificación de la textura de las partículas del agregado podemos detallar los más importantes:

- a. **Textura granular:** partículas del agregado en donde se aprecia en la sección fragmentada granos casi homogéneos.
- b. **Textura rugosa:** partículas del agregado las cuales provienen de rocas fragmentadas de grano fino o medio.
- c. **Textura vítrea:** partículas del agregado en donde se obtiene de la fractura conchoidal.

- d. **Textura suave:** partículas del agregado en donde la textura fue suavizado por la acción del agua.
- e. **Textura cristalina:** partículas del agregado en donde el componente principal son cristales que se aprecia con facilidad.
- f. **Textura alveolar:** partículas del agregado en donde los componentes fundamentales presentan poros o cavidades de que se pueden ver con facilidad.

#### **2.2.1.2.2.1.8 POR SU PETROGRAFÍA**

Desde el punto de la petrografía es fundamental conocer los tipos de rocas originarias en donde también existen un amplio estudio al respecto, pero detallamos a continuación:

- a. **Grupo Gabro:** partículas del agregado que contienen minerales como gabro, diorita, etc.
- b. **Grupo Arenisca:** partículas del agregado que contienen minerales como arenisca, brecha, etc.
- c. **Grupo Hornfelsa:** partículas del agregado que contienen piedras de todo tipo alterados por el contacto del mármol.
- d. **Grupo Caliza:** partículas del agregado que contienen minerales como caliza, dolomita y mármol.
- e. **Grupo Cuarcita:** partículas del agregado que contienen minerales como arenisca, cuarcita, etc.
- f. **Grupo Basalto:** partículas del agregado que contienen minerales como basalto, cuarzo, etc.
- g. **Grupo Granito:** partículas del agregado que contienen minerales como Granito, cuarzo, diorita, etc.
- h. **Grupo Pórfido:** Partículas del agregado que contienen minerales como aplita, fercita, cuarzo, etc.
- i. **Grupo Pedernal:** Partículas del agregado que contienen minerales como pedernal y horsteno.
- j. **Grupo Esquisto:** Partículas del agregado que contienen minerales como pizarra, esquisto, filita, etc.

#### **2.3.1.2.2 FUNCIONES DEL AGREGADO**

Los agregados tienen la función principal de otorgar propiedades de resistencia mecánica o también ante el ataque de algún agente externo del concreto, ocupar la mayor parte del volumen del concreto evitando claro que se generen espacios vacíos entre el agregado grueso y fino. El agregado fino también se puede conocer por el valor del módulo de fineza donde este valor nos indica si es baja el agregado a más fino.

También podemos decir que otra función principal del agregado como componente principal del concreto es de generar un esqueleto rígido y muy estable lo que en conjunto tanto con el cemento y el agua. Adicionalmente a ello el concreto en estado fresco la unión del cemento y del agua cumplen la función de lubricante entre las partículas de agregado generándole cohesión y trabajabilidad a la mezcla del concreto y para llegar a ello la unión de cemento-agua (pasta) deberá recubrir totalmente la superficie de los agregados.

#### **2.3.1.2.3 PROPIEDADES FÍSICAS DEL AGREGADO**

Las principales propiedades físicas de los agregados son importantes tales como: densidad, resistencia, porosidad, y la granulometría. A fin de determinar a estas características se encuentran una serie de ensayos o pruebas standard que miden estas propiedades para compararlas con valores de referencia establecidos o para emplearlas en el diseño de mezclas.

A continuación, mencionamos cada una de ellas de manera detallada a fin de conocer a profundidad.

##### **a. DENSIDAD**

La densidad depende fundamentalmente de la gravedad específica de sus componentes del agregado como de la porosidad del material mismo. Es importante para los casos en que se busca fabricar concretos por resistencia o durabilidad y para son concretos de bajo o alto peso. Los materiales porosos generalmente resultan tener densidades muy bajas y en consecuencia el resultante son productos muy débiles ya que los materiales son frágiles y poseen un porcentaje de absorción alta.

### ***b. POROSIDAD***

La porosidad es el espacio no ocupado del material sólido existente entre las partículas del agregado, una forma de cuantificar esta propiedad es determinando el porcentaje de la absorción. Los valores comunes en agregados normales pueden variar entre cero y quince por ciento, aunque y en agregados ligeros los valores de las porosidades están entre los valores del quince al cincuenta por ciento.

La porosidad es una de las propiedades físicas más fundamentales debido a que tienen mucha influencia a otras propiedades como estabilidad química, resistencia a la abrasión, resistencias mecánicas, permeabilidad, etc.

Según la norma estándar en ASTM, no existe un método específico para evaluarla, sin embargo, existen muchas maneras de determinar por lo general complejas y cuya validez es relativa. Una manera indirecta de determinar es a través de la absorción.

### ***c. PESO UNITARIO***

El peso unitario se define como el resultado de dividir el peso de las partículas del material entre el volumen total incluyendo los vacíos. Es un dato muy importante que se usa frecuentemente para las transformaciones de pesos a volúmenes y viceversa. Su interpretación es de la siguiente manera, para un agregado grueso de peso unitario alto significa que quedan muy pocos espacios vacíos por llenar con arena o cemento.

Esta propiedad es posible cuantificar según la norma ASTM las cuales es fundamental evaluar el proceso de acomodo de las partículas del agregado para posteriormente realizar el compactado en un molde metálico apisonándolas con veinticinco golpes con una varilla de 5/8" en tres capas. Este resultado determinado es la que se utiliza en algunos métodos de diseño de mezclas para cuantificar las dosificaciones en peso o en volumen. El poder cuantificar esta propiedad del agregado nos permite también conocer otras propiedades como el contenido de vacíos, clasificar el agregado en función a sus pesos como liviano, normal y pesado.

#### ***2.3.1.2.2.4 PORCENTAJE DE VACÍOS***

El porcentaje de vacíos también es una de las propiedades físicas muy importantes debido a que nos permite determinar los espacios existentes entre las partículas del agregado claro que este depende también del acomodo existente al realizar el compactado de las partículas del agregado.

Se usa la siguiente expresión, que esta normalizado por la ASTM C 29

$$\% \text{ vacíos} = \frac{(S * W - P.U.C.)}{S * W} * 100$$

Donde:

S = Peso específico de masa.

W = Densidad del agua.

P.U.C. = Peso unitario compactado seco del agregado.

#### **2.3.1.2.2.5 HUMEDAD**

La humedad es la cantidad de agua superficial retenida en un momento determinado por las partículas de agregado. Es una característica de gran importancia pues contribuye a incrementar 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.

La humedad esta normalizado por la norma ASTM C-566 y se expresa de la siguiente manera.

$$\% \text{ humedad} = \frac{\text{Peso natural} - \text{Peso seco}}{\text{Peso seco}} * 100$$

#### **2.3.1.2.2.6 PESO ESPECÍFICO**

El peso específico es el resultado de dividir el peso de las partículas entre el volumen de las mismas sin considerar los vacíos entre ellas. Las Normas ASTM C-127 y C-128 estandariza el procedimiento para su cuantificación en el laboratorio su valor numérico para agregados normales varía entre 2,500 y 2,750 kg/m<sup>3</sup>.

#### **2.3.1.2.2.7 ABSORCIÓN**

Es la capacidad de los agregados de llenar con agua los vacíos al interior de las partículas. El fenómeno se produce por capilaridad, no llegándose a llenar absolutamente los poros indicados pues siempre queda aire atrapado.

Tiene importancia, pues se refleja en el concreto reduciendo el agua de mezcla, con influencia en las propiedades resistentes y en la trabajabilidad, por lo que es necesario tenerla siempre en cuenta para hacer las correcciones necesarias.

### **2.3.1.2.2.8 PROPIEDADES RESISTENTES DEL AGREGADO**

Esta propiedad por naturaleza misma del agregado es la de otorgar características como de la resistencia a la compresión ya que todo ello depende principalmente de la dureza, textura de las partículas del agregado, dentro de estas podemos mencionar las más resaltantes como resistencia, tenacidad y dureza.

#### **a. RESISTENCIA**

Es la propiedad que tiene la capacidad de asimilar la aplicación de fuerzas de compresión, corte, tracción y flexión. Normalmente esta propiedad se mide por medio de la resistencia en compresión, para lo cual se necesita ensayar testigos cilíndricos (probetas) adecuado al equipo de ensayo, que se perforan o cortan de una muestra lo suficientemente grande.

La resistencia en compresión está inversamente relacionada con la porosidad y la absorción y directamente con el peso específico.

La resistencia de los agregados condiciona en gran medida la resistencia del concreto, por lo que es fundamental evaluar directa o indirectamente cuando se desea optimizar la calidad de los concretos.

#### **b. TENACIDAD**

Esta propiedad del agregado está relacionada con la resistencia al impacto del material. De la misma forma también está más relacionada con la resistencia a flexión que en compresión, así como con la angularidad y aspereza de la superficie de las partículas del agregado.

#### **c. DUREZA**

La dureza es una propiedad que se puede definir la resistencia de las partículas del agregado a la erosión abrasión comúnmente llamado desgaste. En los agregados la dureza de esta se podrá determinar por medio de la resistencia a la abrasión en la Máquina de Los Ángeles.

Los agregados con resultados altos de desgaste a la abrasión mayores al cincuenta por ciento producen concretos con propiedades resistentes inadecuadas en la mayoría de casos.

La dureza esta normalizado por la norma ASTM aplicables son la C-131 y C- 535.

#### ***d. MÓDULO DE ELASTICIDAD***

El módulo de elasticidad es 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 experimentará 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.

#### ***2.3.1.2.2.9 PROPIEDADES TÉRMICAS DEL AGREGADO***

Esta propiedad tiene que ver fundamentalmente con el comportamiento de las partículas de los agregados ante una variación de temperatura, es importante a las diferentes características del cemento, el cual genera el calor de hidratación. Las propiedades térmicas están condicionadas por la humedad de los agregados de la misma manera por la porosidad es por ello sus valores son muy variables.

##### ***a. COEFICIENTE DE EXPANSIÓN***

Propiedad de los agregados que mide el aumento de su dimensión en función de la temperatura, que dependen básicamente de su composición interna de las rocas y en los diferentes tipos de rocas encontramos variaciones significativas.

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

##### ***b. CALOR ESPECÍFICO***

Es la cantidad de calor necesaria para incrementar en  $1^{\circ}\text{C}$  la temperatura. No varía mucho en los diversos tipos de rocas salvo en el caso de agregados muy ligeros y porosos. Es del orden de  $0.18 \text{ Cal/gr.}^{\circ}\text{C}$ .

##### ***c. CONDUCTIVIDAD TÉRMICA***

Propiedad del agregado que permite dar mayor o menor facilidad para poder conducir calor, que está directamente relacionado a la porosidad, siendo su rango de variación relativamente estrecho. Los valores comunes en los agregados son de 1.1 a  $2.7 \text{ BTU/pie.hr. }^{\circ}\text{F}$

#### ***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 del calor específico por la densidad.

#### ***2.3.1.2.2.10 PROPIEDADES QUÍMICAS DEL AGREGADO***

Las propiedades químicas del agregado son en comúnmente muy fuertes al ataque de agentes químicos y para lograr algún efecto sobre ellas tendrían que ser necesariamente en forma de solución para poder tener la posibilidad de surtir algún efecto

##### ***a. REACCIÓN ALCALI-SÍLICE***

Estas propiedades químicas de los álcalis se encuentran generalmente en el cemento y están compuestos por el óxido de sodio y el óxido de potasio las cuales en condiciones de temperatura y humedad pueden generar alguna reacción química en contacto con algunos minerales generándose 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, humedades relativas de 80% y un tiempo de 5 años para que se evidencie la reacción.

Existen pruebas de laboratorio para evaluar estas reacciones que se encuentran definidas en ASTM C227, ASTM C289, ASTM C-295 y que permiten obtener información para calificar la reactividad del agregado.

##### ***b. REACCIÓN ALCALI-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.

Los procedimientos para la evaluación de esta característica se encuentran normalizados en ASTM C-586.

#### ***2.3.1.2.2.11 GRANULOMETRÍA***

La granulometría es la representación numérica de la distribución volumétrica de las partículas por tamaños. Es por ello para que el proceso de clasificación de las dimensiones del agregado sea mucho más práctico realizamos el tamizado por una serie de mallas que tienen aberturas estandarizadas por la norma ASTM, dicho proceso consiste en realizar el pesado del material retenido en cada tamiz y realizar la

proporción de la división entre el peso total y esta cuantificación se deberá convertir en porcentaje, estos resultados expresados en porcentaje se procede a representar gráficamente en un sistema coordinado semi-logarítmico que permite apreciar la distribución acumulada.

**a. GRANULOMETRÍA DEL AGREGADO FINO**

La distribución volumétrica del agregado fino son aquellos materiales en donde se concentran dentro de los límites indicados por las normativas ASTM y NTP en donde en dichas normas se deben de encontrar dentro del intervalo del tamiz N° 04 al N° 100.

La granulometría seleccionada deberá ser preferentemente continua, con valores retenidos en las mallas N°4, N°8, N°16, N°30, N°50 y N°100 de la serie de Tyler. Es importante conocer el término denominado módulo de fineza el cual significa la existencia de cantidad de partículas finas dentro del agregado que también se encuentra normalizado, dicho módulo deberá estar dentro de los intervalos de 2.30 al 3.10, en caso se tuviera valores inferiores al menor o superiores al mayor valor se tendrá ciertas deficiencias en el proceso de fabricación del concreto.

**b. GRANULOMETRÍA DEL AGREGADO GRUESO**

La gradación o distribución volumétrica del agregado grueso son materiales que están acumulados por encima del tamiz N° 04 y deben cumplir la estandarización de la norma tanto de la ASTM C 33, los cuales deben tener en cuenta las siguientes recomendaciones:

- ✚ la granulometría seleccionada deberá ser de preferencia continua,
- ✚ la granulometría seleccionada deberá permitir obtener la máxima densidad del concreto, con una adecuada trabajabilidad y consistencia en función de las condiciones de colocación de las mezclas.

En el estudio de los agregados gruesos es necesario conocer el término del tamaño máximo en donde es fundamental conocer debido a que mide la cantidad de partículas de menor tamaño. Los agregados con deficiencia de tamaños poseen una gran cantidad de espacios libres entre sus partículas y utilizados en la fabricación del concreto, se necesitarán más cantidad de cemento y agua, si ello sucede la piedra como componente del concreto tiende a distanciarse entre ellos con mayor facilidad, es por ello para evitar

situaciones como estas la normativa establece curvas de distribución volumétrica entre las que deben encontrarse comprendido el agregado.

#### **2.3.1.2.2.12 MÓDULO DE FINEZA**

Esta definición es determinada en el año 1925 por Duff Abrams quien menciona que este módulo es promedio de las partículas acumuladas en los tamices establecidos por las normas.

En cierta forma se debe tener en claro que este método del cálculo del módulo de fineza es un método que se aplica tanto a la piedra y la arena, pues nos permite realizar de la mejor manera la caracterización del agregado libremente o la mezcla del concreto.

##### **a. TAMAÑO MÁXIMO**

El tamaño máximo es una propiedad de caracterización del agregado grueso que está estandarizado por la norma ASTM y NTP, donde las cuales mencionan como la menor abertura del tamiz por la que pasa todo el material del agregado grueso como muestra.

##### **b. TAMAÑO NOMINAL MÁXIMO**

Se define como el primer acumulado de material en el menor tamiz y estas no pueden ser mayor a la quinta parte del tamaño de la cara de encofrado o mayor de la tercera parte del peralte de la losa ni mucho menos las  $\frac{3}{4}$  partes de los espacios vacíos existentes entre los elementos de refuerzo del concreto.

#### **2.3.1.2.3 AGUA**

El agua sabemos que es uno de los componentes fundamentales del concreto debido a que es el elemento que genera la hidratación al entrar en contacto con el cemento formando la pasta. Cumple funciones importantes como de generar hidratación con el cemento, realzar la lubricación entre las partículas del agregado para dar la propiedad de la trabajabilidad del concreto, así como otorgar espacios libres para que el proceso de hidratación se desarrolle lo suficiente y así cumplir las diferentes solicitudes del concreto.

- a. AGUA DE MEZCLADO:** es definida como la cantidad de agua por volumen unitario de concreto.

- b. **AGUA DE HIDRATACIÓN:** es aquella parte del agua original de mezclado que reacciona químicamente con el cemento para pasar a forma parte de la fase solidad del gel, es también conocida como agua evaporable.
- c. **AGUA EVAPORABLE:** es agua restante que existe en la pasta, es agua que puede evaporarse, pero no se encuentra libre en su totalidad.
- d. **AGUA CAPILAR:** es el agua que ocupa los poros capilares de la pasta, a distancias que suelen estar comprendidas en el intervalo de 30 a 10 A, de manera que parte de ella está sujeta débilmente a la influencia de las fuerzas de superficie del gel.
- e. **AGUA LIBRE:** es la que se encuentra fuera de la influencia de superficies, de tal modo que tiene completa movilidad y puede evaporar con facilidad.
- f. **AGUA DE CURADO:** es aquella a ser usado en el estado endurecido del concreto, para su posterior hidratación.

#### **2.3.1.2.4. REQUISITOS DEL COMITÉ 318 DEL ACI**

Existen cuatro requisitos fundamentales para el uso del agua en la mezcla de concreto.

- El agua utilizada en la preparación del concreto deberá estar limpia y libre de sustancias peligrosas como el aceite, álcalis, ácidos, sales, materia orgánica, u otras que afectan los elementos de refuerzo del concreto.
- El agua utilizada en la preparación del concreto premezclado o en concretos que contienen elementos de aluminio embebidos, incluida la porción del agua de mezclado que es contribuida en forma de agua libre sobre el agregado, no deberá contener sustancias dañinas como el ion cloruro.
- No se puede utilizar aguas no potables, salvo excepciones en que se realicen los estudios de análisis en el laboratorio y que estas satisfacen las condiciones. La elección de las dosificaciones del concreto se deberá utilizarse en mezclas de concreto en las que se ha empleado agua de la misma fuente. Los ensayos de concretos mezclados con aguas no potables deberán tener a los 7 y 28 días resistencias iguales a por lo menos el noventa por ciento de la resistencia de especímenes similares preparados con agua potable.

- Generalmente las aguas que son aptos para beber, es decir aquellos que no poseen olor ni sabor y no son potables cumplen satisfactoriamente para la preparación del concreto, en caso los tuviera estas sustancias en exceso afectan en todas las propiedades del concreto.

#### **2.3.1.2.4.1 LA FORMACIÓN DE GEL**

Es la parte sólida de la pasta que se obtiene como resultado de la reacción química del cemento con el agua durante el proceso de hidratación. Desempeña la función más importante ya que influye en gran parte en la obtención de las características del concreto como en las sollicitaciones de sus resistencias mecánicas y en la propiedad de la deformación del concreto como es el módulo de elasticidad.

El cemento Portland conforman cerca del setenta y cinco por ciento del peso y al estar en contacto con el agua se generan otros dos nuevos compuestos químicos como es el hidróxido de calcio y el hidrato de silicato de calcio, y este último compuesto químico es el más importante en la fabricación del concreto. Las propiedades tanto físicas y mecánicas del concreto dependen fundamentalmente como el fraguado, endurecimiento, resistencia y estabilidad dimensional del concreto.

#### **2.3.1.2.4.2 EN ESTADO FRESCO**

El agua en estado fresco del concreto tiene la propiedad de actuar como un medio lubricante ya que ello permite tener facilidad de manipulación, transporte y colocación de la misma.

#### **2.3.1.2.4.3 EN ESTADO ENDURECIDO**

El agua en estado endurecido del concreto es la propiedad en donde adquiere una forma de un sólido y comienza a obtener características solicitadas. Es fundamental saber el tiempo en que se toma el cemento al estar en combinación con el agua se genera el proceso de hidratación, es aquel intervalo de momentáneo o de tiempo en donde comienza el proceso de fraguado y de endurecimiento. Sin embargo, también ese tiempo que se toma el concreto para reaccionar debe ser no tan rápida, es decir el tiempo del proceso de preparación, transporte y colocación del concreto debe de ser menor en comparación al tiempo de fraguado.

#### **2.3.1.2.4.4 CURADO DEL CONCRETO**

Proceso por el cual el concreto madura y endurece a causa del fenómeno llamado hidratación continua, en la que el cemento reacciona continuamente ante la presencia de abundante agua y calor. Se podrá emplear agua potable u otras que cumplan los requisitos mínimos para usar en concreto.

Se debe tener en cuenta que no todas las aguas consideradas no potables pueden ser también inconvenientes para usar en un concreto. En general, dentro de las limitaciones, el agua de mezclado deberá estar libre de sustancias que perjudiquen la resistencia.

El agua empleada para la elaboración del concreto no deberá contener sustancias que a la larga puedan causar efectos sobre la resistencia, durabilidad o fraguado, como también en la apariencia del concreto.

Previo al uso del agua se debe tener seguro que el agua está apta para usar. Se puede comprobar mediante ensayos en laboratorio, y de esta manera asegurar la calidad del agua que se usará.

#### **2.3.1.2.4.5 REQUISITOS DE CALIDAD DEL AGUA**

La NTP 339.088 (NORMA TÉCNICA PERUANA), considera aptas y permisibles las aguas, cuyas propiedades y contenidos de sustancias diluidas están comprendidos dentro de los parámetros establecidos.

Las sales u otras sustancias dañinas que puedan estar presentes en los agregados o aditivos, deberán sumarse a la cantidad que pudiera aportar el agua de mezclado a fin de evaluar el total de sustancias inconvenientes que pueden ser dañinas al concreto, el acero de refuerzo, o los elementos metálicos embebidos.

#### **2.3.1.2.5 ADICIÓN**

Los materiales considerados y empleados como adiciones minerales u orgánicas en el concreto no son necesariamente al cemento Portland, ni los agregados, sino aquellos insumos o productos que molidos conjuntamente mezclados con el Clinker o cemento, producen materiales de las características del producto y cumplen con los parámetros de la norma ASTM C – 595, teniendo una reacción química con el componente hidróxido de calcio que resulta de la hidratación, contribuyendo así a

incrementar y mejorar la resistencia, incrementar la durabilidad y disminuir significativamente la permeabilidad del concreto con el pasar del tiempo.

#### **2.3.1.2.6 ADITIVO**

Los aditivos son aquellos elementos o sustancias que se añaden a los componentes fundamentales del concreto con el fin de mejorar, incrementar y modificar alguna de sus propiedades y tienen que cumplir los parámetros establecidos por la NTP 339.086 (Norma Técnica Peruana).

Los aditivos se adicionan a las mezclas de concreto mayormente en el proceso de mezclado con el propósito de:

- modificar e incrementar algunas de sus propiedades de acuerdo a la NTP, con el propósito de permitir que sean más adecuados y trabajables o que acomode al trabajo solicitado,
- mejorar la propiedad de trabajabilidad, lo cual facilita el proceso de colocación. Facilita la elaboración, transporte, y colocación del concreto en obra y mejorando así el rendimiento,
- lograr mejorar los costos y resultados, debido a los cambios en la proporción y composición de la mezcla.

Las razones para el uso de los aditivos son como se describe a continuación:

- incrementar la trabajabilidad, sin causar modificaciones en la cantidad de agua,
- acelerar o Retardar el tiempo de fraguado inicial,
- incrementar el proceso de la resistencia en la primera edad,
- genera modificación en la velocidad de producción del calor de hidratación,
- reducir el sangrado y la exudación,
- incrementar la resistencia o durabilidad expuestas en condiciones,
- reducir la permeabilidad a las sustancias líquidas,
- reducir la segregación,
- disminuir la contracción,
- aumentar la adherencia del concreto nuevo y viejo,
- mejorar e incrementar la adherencia del concreto con el refuerzo.

La mayoría de estas sustancias se encuentran en el mercado en forma de soluciones acuosas, a veces lo encontramos en forma de polvos solubles en agua y pocas en pasta.

Se consideran preferibles los aditivos en líquidos toda vez que tienen la ventaja de encontrarse ya diluidos y son más fáciles en la dosificación. Los aditivos en polvo son necesario cuidar su conservación toda vez que son susceptibles a la humedad.

Cuando hay la necesidad de usar dos aditivos diferentes, debe evitarse la mezcla conjunta antes, lo recomendado es incorporándose por intervalos separados a la mezcladora.

### ***2.3.1.3 PRINCIPALES PROPIEDADES DEL CONCRETO***

#### ***2.3.1.3.1 ESTRUCTURA INTERNA DEL CONCRETO***

La apreciación del esquema tradicional de la estructura interna del concreto endurecido, conformada por la pasta de cemento y agua, que aglomera a los agregados gruesos, finos, aire y vacíos.

Esta composición genera un comportamiento bastante resistente por causas en gran parte a la enorme capacidad de la pasta para poder adherirse o juntarse a los materiales granulares que son los agregados y así soportar esfuerzos tanto compresión como de tracción.

Una inmediata conclusión que se aprecia al analizar su estructura interna del concreto, es que el concreto en su composición no es homogénea, y por consiguiente tampoco es isotrópica.

Este resultado se debe a causas esencialmente a que, en su elaboración se usan diferentes materiales, y además durante la etapa en el que el concreto es plástica, facilita el acomodo de los diferentes componentes de manera aleatoria hasta llegar a su etapa final que es el concreto endurecido.

La porosidad o espacios vacíos son sumamente importantes en la estructura de un concreto endurecido. Debido a que gran parte del líquido que se suman en la mezcla, solo cumple la función de dar fluidez al concreto en su estado plástico, encontrando a estos en líneas de flujo y lugares donde hay espacios para la sedimentación de los materiales sólidos, de tal forma que al ocurrir el endurecimiento y luego evaporarse,

quedan estos espacios vacíos o llamados poros, que básicamente condicionan a que después el concreto tenga un comportamiento con una permeabilidad alta o baja.

### **2.3.1.3.2 PRINCIPALES PROPIEDADES DEL CONCRETO FRESCO**

#### **a. TRABAJABILIDAD**

Proceso por el cual el concreto fresco tiende a ser o tener la capacidad de tener fluidez y así facilitar la elaboración, transporte y colocado sin exudación y tampoco pueda segregarse durante toda la operación hasta llegar al fraguado.

La consistencia está definida por la capacidad de humedecimiento del concreto, que principalmente dependerá de la cantidad de agua que se haya usado en su elaboración. Es también conocido como SLUMP TEST, es utilizada para definir el comportamiento y calidad del concreto en su estado fresco.

#### **b. ESTABILIDAD**

La estabilidad es el desplazamiento o flujo que se produce en el concreto sin mediar la aplicación de fuerzas externas.

Se cuantifica por medio de la exudación y la segregación, evaluadas con métodos standard que permiten comparar dichas características entre varios diseños, siendo obvio que se debe buscar obtener los valores mínimos.

#### **c. COMPACTIBILIDAD**

La compactibilidad está definida por la capacidad que tiene el concreto de poder ser compactado. Existen infinidad de métodos que caracterizan el mencionado o denominado "Factor de compactación", que calcula la cantidad necesaria de esfuerzo o trabajo para que el concreto llegue a la compactación óptima y total, y resulta de la relación entre la densidad suelta en la prueba del concreto, dividido entre la densidad compactada del concreto.

#### **d. MOVILIDAD**

La movilidad es aquel que con aplicación del trabajo externo el concreto sea desplazado con una facilidad sencilla. Su medición está determinada básicamente en función de la resistencia interna al corte, como también en función de la cohesión y viscosidad.

La fricción generada entre las capas del elemento pasta del cemento es llamado viscosidad, la cohesión es en cambio la fuerza que genera la adherencia entre los

materiales granulares (agregado) y la pasta de cemento se denomina cohesión, y la habilidad de los componentes internos de los agregados generan rotación y desplazamiento dentro de la pasta y ello genera la resistencia interna al corte del concreto.

**e. SEGREGACIÓN**

La segregación se produce de dos formas: los elementos granulares tienden a separarse por el fenómeno llamado gravedad, esto sucede principalmente con aquellas mezclas que estén un tanto secas o tengan poca plasticidad. Y la otra manera es cuando se genera la separación de la pasta, esto sucede cuando la mezcla tiene demasiada fluidez.

**f. EXUDACIÓN**

La exudación o también conocido como sangrado y consiste en que parte del agua de mezclado tiende a subirse a la superficie del concreto recién colocado o durante el proceso de fraguado.

La exudación puede crear problemas en el concreto; cuando la velocidad de evaporación es menor que la velocidad de exudación, se forma una película de agua que aumenta la relación agua cemento en la superficie y posteriormente esta zona queda porosa y de baja resistencia al desgaste; pero si la velocidad de evaporación es mayor que la velocidad de exudación se pueden producir grietas de contracción.

**g. CONTRACCIÓN**

La contracción se presenta como resultado de los problemas de fisuración que ocurre o sucede con frecuencia. Por ello quizá es considerado como una de las propiedades importantes.

Esto se genera debido a la variación de volúmenes del agua a causa de la combinación química, que se les denomina contracción intrínseca.

Pero también hay otro tipo de contracción que son inherentes a la pasta y se denomina contracción por secado, que mayormente son responsables para que presente problemas de fisuración. Esto ocurrirá tanto en el estado plástico como también en el concreto endurecido si la mezcla genera pérdida de agua.

### **2.3.1.3.3 PRINCIPALES PROPIEDADES DEL CONCRETO ENDURECIDO**

#### **a. ELASTICIDAD**

La elasticidad es la capacidad de deformación que poseen el concreto cuando es sometido a una carga externa, sin tener deformación constante y permanente.

Si se habla de un material elástico, el concreto no es en su totalidad, debido a que no tiene un comportamiento lineal. Cuando se observa su diagrama carga vs. deformación en compresión se observa que en ningún tramo es lineal, pero tradicionalmente tenemos la costumbre de calificar como un "Módulo de elasticidad estático" del concreto cuando pasa una recta tangente al tramo inicial del gráfico, o una recta secante que une el inicio del diagrama con un punto cualquiera que normalmente es un % de la tensión última en el diagrama.

#### **b. RESISTENCIA**

La resistencia es evidentemente importante en cuanto a sus características mecánicas del concreto y se utiliza normalmente para calificar su calidad.

Además, existe una estrecha correlación entre la compresión y la resistencia a la flexión en un determinado concreto. Las causas consideradas variantes para la resistencia del concreto se pueden clasificar en dos partes.

- Lo primero está relacionado con la cantidad y calidad de componentes que constituyen el concreto: tales como el agregados, cemento y agua.
  - y lo segundo está relacionado a la calidad de elaboración del concreto: tales como combinación o mezclado, transporte, colocado, compactación y finalmente el curado; la resistencia y el proceso de elaboración están directamente relacionados. En cuanto a la cantidad y calidad de los elementos que constituyen el concreto mencionaremos a continuación:
- ✓ **Contenido del cemento.** La composición química del cemento empleado en la mezcla de concreto tendrá mayor incidencia para determinar la resistencia del concreto, toda vez que es el componente más activo de la mezcla del concreto. Aunque la mayoría de los cementos existentes en el mercado tienen una buena calidad, pero a medida va pasando las diferentes edades del concreto, el incremento de la resistencia no es lo mismo en todos ellos, algunos cementos incrementan su resistencia en poco tiempo. La proporción de mezclado y la

cantidad de cemento es determinante en la resistencia del concreto, a medida que se incrementa la cantidad de cementos también la resistencia tiende a aumentar, sin embargo, existen límites para el incremento de cemento porque un contenido alto de cemento (superiores a los 470 kg por m<sup>3</sup> de concreto) tienen a bajar su resistencia, esto ocurre especialmente cuando poseen tamaños máximos muy elevados. Además, al pasar del estado plástico a un estado endurecido se generan contracciones en la pasta.

- ✓ **Relación agua-cemento.** La relación agua-cemento (A/C) es considerado uno de los factores más primordiales para determinar la resistencia del concreto ya que una relación agua-cemento determinada genera distintas resistencias, ello básicamente de acuerdo al tipo o calidad de agregado que está utilizando y también al tipo de cemento, que serán influyentes.
- ✓ **Influencia de los agregados.** La calidad de los materiales granulares (agregados) es un componente y factor influyente en la resistencia del concreto, las propiedades de estos materiales que más determinan en ella son:
  - tamaño máximo del agregado grueso (piedra chancada),
  - la granulometría, ya que los materiales que presentan una gradación perfecta, producen una mayor y alta densidad,
  - la textura y la forma de los agregados que básicamente influyen en la resistencia a la flexión del concreto,
  - la rigidez y la resistencia de los componentes del agregado.
- ✓ **Elasticidad.** El módulo de elasticidad del concreto es determinante y a la vez es muy importante para el cálculo o diseño estructural. El valor del módulo de elasticidad es un valor que dependiente y no una constante, dependerá de:
  - tipo de agregado,
  - la dosificación empleada,
  - el contenido del aire en los vacíos,
  - la velocidad de aplicación de carga empleado en el ensayo,
  - el porcentaje de la humedad de la muestra al momento de practicar el ensayo.

Para determinar el comportamiento del módulo de elasticidad se grafica el esfuerzo vs. la deformación unitaria, que se determina en una curva esfuerzo-deformación del ensayo de compresión. Módulo de elasticidad resulta de la división entre el esfuerzo en el tramo elástico y su respectiva deformación unitaria en el mismo tramo. Se calcula con la pendiente de la secante trazada desde el inicio hasta el punto donde la curva tiene una resistencia  $f_e=0.45f'_c$  donde  $f_e$  es la máxima resistencia en el ensayo de compresión.

#### ***c. EXTENSIBILIDAD***

La extensibilidad se genera cuando el concreto tiende a deformarse, pero sin agrietarse. Se determina en función a la deformación unitaria máxima que puede producirse en el concreto sin que ocurra el fenómeno de fisuración.

#### ***d. IMPERMEABILIDAD***

Es una importante propiedad del concreto que puede mejorarse, con frecuencia, reduciendo la cantidad de agua en la mezcla. El uso excesivo de agua deja vacíos y cavidades después del proceso de evaporación y si están interconectadas o interrelacionadas, el agua puede penetrar o atravesar el concreto, la inclusión de aire, así como un curado adecuado por tiempo prolongado puede aumentar la impermeabilidad.

### ***2.3.1.4 LOS PLÁSTICOS***

Los plásticos están formados e integrados por gigantescas moléculas de carbono, junto a otros componentes como el hidrógeno, oxígeno, nitrógeno y el azufre.

#### ***2.3.1.4.1 OBTENCIÓN DE LOS PLÁSTICOS***

Las materias primas más importantes que conforman los plásticos son el petróleo y el gas natural, y éstos están compuestas de carbono muy simples denominados hidrocarburos.

En las industrias petroquímicas estas materias primas se transforman en sustancias intermedias, tales como el etileno, propileno, el butileno y otros hidrocarburos ligeros que servirán de base para la elaboración y obtención de estos plásticos.

Los polímeros son generados por la unión de otras moléculas más pequeñas y elementales llamadas monómeros. Este proceso con el que se consigue finalmente el

material plástico es denominado polimerización. La unión de los monómeros se realiza en secuencia, es decir, un monómero se coloca al lado del otro y así sucesivamente como en una gran cadena en el que cada monómero que se repite forma un eslabón.

Los plásticos son productos sintéticos, es decir, fabricados a partir de otros ya fabricados por la humanidad. Existen dos tipos de polimerización:

- ✓ **Poliadición.** Una cierta cantidad de moléculas sencillas o monómeros iguales se juntan para formar el polímero llamado plástico.
- ✓ **Policondensación.** Es una reacción química en la que bastantes moléculas de dos tipos diferentes se juntan dando origen a la macromolécula (o plástico) y también se generan otras sustancias de desecho.

#### ***2.3.1.4.2 PROPIEDADES DE LOS PLÁSTICOS***

Existen una infinidad de propiedades del plástico toda vez que entre una de las propiedades y de la otra son diferentes; sin embargo, podemos citar las más significativas:

- los plásticos tienen un proceso de fabricación fácil y también son fáciles de dar forma,
- los plásticos poseen una pésima conductividad eléctrica, es por ello que se pueden usar como aislantes eléctricos,
- los plásticos también poseen una conductividad térmica muy baja, es decir, son malos conductores del frío y del calor,
- alcanzan una aceptable resistencia mecánica, quiere decir, soportan muy bien las presiones, los estiramientos, los retorcimientos y los golpes externos,
- Muy buena resistencia a los agentes atmosféricos y corrosivos,
- La gran parte de los plásticos son considerados ligeros y livianos,
- Poseen una buena resistencia a los productos ácidos, así como también a los productos disolventes y corrosivos,
- El mayor inconveniente que presentan es la dificultad que se presenta para su eliminación o reciclado.

#### ***2.3.1.4.3 CLASIFICACIÓN DE LOS PLÁSTICOS***

Los plásticos podemos clasificar en tres grandes grupos distintos.

#### **2.3.1.4.3.1 TERMOPLÁSTICOS**

Son aquellas que presentan un ablandamiento al calentar y poseen la capacidad de recuperar su dureza al enfriarse, pudiendo de esta manera ser moldeados las veces necesarias sin perder sus propiedades. Por este motivo son considerados reciclables.

La temperatura máxima a la que pueden ser sometidos estos plásticos es de 150°C, salvo el teflón.

Los plásticos TERMOPLÁSTICOS pueden ser:

**a. Celulósicos:** se obtienen a partir de la celulosa vegetal:

- El acetato de celulosa (CA). Con este producto se fabrican láminas transparentes.
- La etilcelulosa (EC). Se utiliza en aplicaciones aeronáuticas.

**b. Derivados del petróleo:**

- Polietileno (PE)
  - + de alta densidad (PEAD o HDPE). Se usa en envases, garrafas y botellas,
  - + de baja densidad (PEBD o LDPE). Se usa en bolsas,
  - + polietileno tereftalato (PET). Se utiliza para fabricar botellas de agua, de bebidas carbónicas, película fotográfica, cintas de grabación y en fibra textil,
  - + politetrafluoroetileno (PTFE). Es más reconocido como teflón. Se usa en antiadherente en sartenes y cacerolas, en juntas de fontanería, en aplicaciones criogénicas y en componentes eléctricos.
- Cloruro de Polivinilo (PVC). Se usa en tuberías, canalones, prendas para la lluvia, conducciones eléctricas, mangueras de jardín y cortinas de los servicios higiénicos.
- Metacrilato (PMMA). Se usa para ventanas en aviones y barcos, tragaluces, anuncios luminosos y en los pilotos de los automóviles.
- Poliestireno (PS). Se usa en carcasas de línea blanca de electrodomésticos, instrumentos y tableros de automóviles, bajezas de alimentos frescos y en envases de yogures.
- Polipropileno (PP). Se usa en estuches, tuberías para fluidos calientes, tapicería de automóviles, bolsas, sacos, jeringuillas y redes.

- Poliamida (PA). La más conocida es el nilón. Se usa en la industria textil y para fabricar piezas de máquinas.
- Policarbonato (PC). Se usa para fabricar CD's, visores de cascos protectores y lentes.

#### **2.3.1.4.3.2 TERMOESTABLES**

Durante su fabricación experimentan una transformación química conocida como fraguado que hace que solo se puedan moldear una vez. Por esta razón, una vez moldeados mediante el calor y presión, no se pueden volver a moldear nuevamente.

Los plásticos TERMOESTABLES más importantes son:

- Fenoplastos (PF) son más conocidos con el nombre de baquelita. Se usa en la fabricación de elementos eléctricos y electrónicos como interruptores y enchufes, en colas y pegamentos, en pomos y en mangos de utensilios de cocina.
- Aminoplastos (MF) también conocidos como melamina. Se usa básicamente para recubrir tableros de madera, en cascos de barcos y para fabricar adhesivos.
- Resina de poliéster (UP). Son en forma de hilo que se utiliza en la industria textil. Reforzado con fibra de vidrio, es utilizado en paneles de coches, piezas de carrocería, piscinas, esquís y también en cañas de pescar.
- Resinas de epoxi (EP). Revestimientos de latas de alimentos y bidones, y en los aisladores de las torres de alta tensión.

#### **2.3.1.4.3.3 ELASTÓMEROS**

Se pueden estirar (hasta 8 veces su longitud original) y de la misma forma recuperar su forma y tamaño cuando cesa la fuerza a la que fue sometido.

No soportan bien el calor y tienden a degradarse a temperaturas medias.

Entre los ELASTÓMEROS más destacados, tenemos:

- caucho (CA). Se usa en cilindros de impresoras, suelas de zapato, tubos flexibles, en ruedas y guantes,
- neopreno (PCP). Trajes de buceo,
- poliuretano (PUR). Prendas de vestir consideradas elásticas, cintas transportadoras. En forma de espuma sirve para asientos y colchones,

- silicona (SI). Hules, aplicaciones resistentes al agua, prótesis médicas y sellado de juntas.

#### **2.3.1.4.4 MÉTODOS PARA FABRICAR OBJETOS DE PLÁSTICO**

Existen varias formas de fabricar objetos a partir de los gránulos de plásticos obtenidos por polimerización. Todos estos métodos de fabricación tienen en común que:

- comienzan calentando los gránulos para reblandecerlos,
- necesitan algún tipo de molde,
- y finalmente terminan con un proceso de enfriamiento para que el plástico se solidifique, es decir, se endurezca.

Entre los métodos más importantes están:

- LA COLADA:** consiste en meter el plástico caliente en estado pastoso o líquido dentro de un molde, donde, al enfriarse, se solidifica hasta adquirir una forma deseada.
- EL ESPUMADO:** consiste en meter aire o gas en el interior de la masa de plástico para formar burbujas.

Por este método se obtienen el porexpan (espuma de poliestireno) y la gomaespuma (espuma de poliuretano). Estos dos plásticos son usados para fabricar colchones, aislantes térmicos, el interior de cascos de ciclismo, etc.

- EL CALANDRADO:** consiste en hacer pasar el plástico a través de unos rodillos para obtener láminas flexibles mediante presión.

Estas láminas son usadas para fabricar hules, impermeables, planchas de plástico, etc.

- LA COMPRESIÓN:** proceso en el cual se calienta el plástico en polvo o granulado para dejarlo pastoso y luego comprimirlo, con una prensa hidráulica, entre ambas piezas que forman el molde.

Con este método se fabrican los mangos de baquelita de sartenes, calderos, cuchillos, etc.

- LA INYECCIÓN:** proceso por el cual los plásticos granulares se introducen dentro de un cilindro, donde se calienta. Cuando el plástico se reblandece, un

tornillo sinfín lo empuja y lo inyecta a alta presión en un molde de acero. Este molde se alivia con agua para enfriarlo y que el plástico se solidifique.

De esta manera se fabrican palanganas, cubos, platos, carcasas, componentes de automóvil, etc.

- f. **LA EXTRUSIÓN:** consiste en meter plástico granulado dentro de un envase cilindro, donde se le calienta. Cuando este elemento se reblandece, un tornillo sinfín lo empuja y lo hace salir a través de una boquilla con la forma que se quiera o desee. Es así como se obtiene una pieza continua, de gran tamaño y poco grosor que se enfría para endurecer con aire o también agua fría.

Mediante este procedimiento se fabrican los tubos, mangueras, varillas, etc.

- g. **EL SOPLADO:** consiste en meter una cantidad justa de plástico pastoso en el interior de un cilindro para que enseguida se inyecte el aire a presión y así ese elemento se pegue en las paredes del cilindro, cogiendo de esta manera su forma.

De esta manera se consiguen fabricar recipientes huecos tales como los frascos, las botellas y las garrafas.

- h. **EL MOLDEO POR VACÍO:** consiste en poner una lámina de plástico sobre el molde. En seguida, se aplica una fuente de calor para que la lámina se ablande. Luego se hace el vacío entre el molde y la lámina para que esta adquiera la forma deseada. Por último, se enfría para que solidifique.

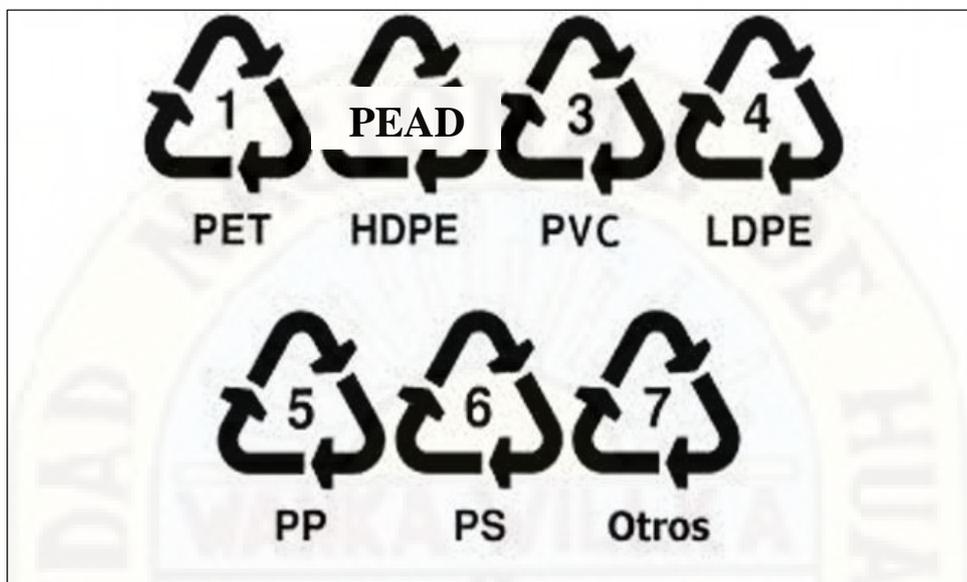
Este procedimiento es apropiado para fabricar piezas de poco espesor como los envases de productos de alimentación como por ejemplo las hueveras, bandejas de bombones o galletas.

#### **2.3.1.4.5 SIMBOLOGÍA EMPLEADA EN LOS PLÁSTICOS**

La mayoría de la basura doméstica son materiales plásticos. Para que el reciclaje sea efectivo es necesario y preciso realizar una previa selección y separación de estos materiales.

El sistema de identificación está determinado por siete grupos, que poseen una numeración del 1 al 7, en el interior del triángulo está la simbología, en donde los lados tienen forma de flecha. Se encuentran en la mayoría bajo la base donde figuran las letras que distinguen el tipo de plástico a la que pertenecen.

*Figura 5. Simbología de identificación de los plásticos.*



Fuente: Agustín Espinoza

#### **2.3.1.4.6 POLIETILENO DE ALTA DENSIDAD (PEAD O HDPE)**

El PEAD es producido relativamente a baja temperatura (60-200°C) y presión (1-100 atm). Poseen esencialmente una estructura de cadena lineal. Donde presentan ramificaciones muy pequeñas sobre las cadenas principales, y así las cadenas son capaces de agruparse más próximas con lo que se produce el incremento de la cristalinidad (80 – 95%) y la resistencia. El rango de la densidad específica se encuentra entre los parámetros de 0.94 – 0.97 g/cm<sup>3</sup>.

Las aplicaciones principales se encuentran en la fabricación de películas (film), envases domésticos y para alimentos, juguetes, tanques de gas, tubos, cajones, etc. El método utilizado es mediante moldeo por soplado y moldeo por inyección.

##### **2.3.1.4.6.1 USOS:**

- envases para: lejía, aceites automotores, detergentes, champú, lácteo,
- bolsas para supermercados,
- cajones para pescados, gaseosas, cervezas,
- envases para pintura, helados, aceites,
- tambores,

- tuberías para gas, telefonía, agua potable, minería, láminas de drenaje y uso sanitario,
- macetas,
- bolsas tejidas.

### **2.3.1.5 DISEÑO DE MEZCLA**

El diseño de mezcla es el método por el cual se van a determinar las cantidades de cada material que conforma el concreto, también conocido como dosificación de los materiales, de acuerdo a solicitud de requerimiento de cada proyecto.

Los diseños de mezclas que existen son muchos, métodos que utilizan distintas características y datos, como módulo de fineza del agregado, contenido de aire, granulometría del material granular (agregado), y demás; que hacen que los resultados obtenidos sean diferentes y variados unos de otras.

#### **2.3.1.5.1 PROCEDIMIENTO DE DISEÑO DE MEZCLA**

Para el diseño, se hacen referencia a los procedimientos seguidos por el método ACI, para las pruebas patrones a cada diseño planteado, como la cantidad de agua inicial y contenido de aire aproximado.

La cantidad o la proporción de los agregados en la mezcla, resultan del criterio del concepto de máxima compactad, buscando distintas combinaciones entre los agregados fino y grueso hasta poder obtener la característica del peso unitario compactado (PUC) de cada una, del resultado el que tenga el máximo valor de PUC, será el que tenga menos cantidad de vacíos.

Se busca diseñar mezclas de concreto patrón con relacione agua/cemento (a/c) en pesos de 0.40, 0.45 y 0.55, y un slump de 1 – 2 pulgadas, para ello se sigue el siguiente procedimiento:

- ✚ selección de la mejor combinación entre el agregado grueso y fino o la que genera mejor compactad,
- ✚ con la mejor selección AF/AG seleccionada se procede a conseguir la cantidad de agua necesaria para lograr un slump de 1.5” en la mezcla de concreto. Esto se consigue generando mezclas con igual relación a/c en peso, pero diferentes cantidades de agua,

- ✚ con estos datos obtenidos se procede a realizar la dosificación de cada elemento del concreto, para la obtención del concreto patrón o muestra patrón,
- ✚ se observa en el ensayo de SLUMP TEST, de qué manera comienza a fluir nuestra mezcla de concreto, para saber si se requiere aumentar agua o de lo contrario disminuirla, ensayo que se le conoce también como extensión de flujo. Este ensayo se utiliza para medir el flujo libre horizontal del concreto fresco, es decir la capacidad que tendrá el concreto fresco de fluir y llenar todos los espacios del encofrado, bajo la actuación de su peso propio.

## 2.4. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS

**Absorción:** procedimiento por el cual un sólido poroso atrae al líquido y tiende a ocupar los poros permeables del mismo; generando incremento de masa de un sólido poroso.

**Agregado:** material granular, el cual puede ser arena, grava, piedra triturada o escoria, utilizado como un medio cementante para formar concreto o mortero hidráulico.

**Agregado fino:** agregado que pasante la malla de 3/8" y casi en su totalidad de la malla número 4, y es retenido en la malla número 200.

**Agregado grueso:** agregado dominante retenido en la malla número 4 pudiendo ser:

**Grava (canto rodado):** regularmente se ubica en el lecho de los ríos.

**Piedra chancada:** se obtiene por la molidura de las rocas.

**Asentamiento:** evaluación de la consistencia del concreto fresco, también conocido con el nombre de revenimiento.

**ASTM:** siglas en inglés de la Sociedad Americana para ensayos y materiales (American Society for Testing and Materials).

**Calor de hidratación:** es el resultado del calor liberado durante el proceso de hidratación del cemento a una temperatura dada.

**Clinker Portland:** resultado de la calcinación de una mezcla homogénea de caliza y arcilla en relaciones diferentes y convenientemente elegidas.

**Consistencia:** es el grado con la que fluye una mezcla y que está definida de acuerdo a un procedimiento determinado.

**Contenido de aire:** es la cantidad (volumen) de vacíos de aire que contiene el concreto, resultando como porcentaje del volumen total del concreto.

**Contenido de humedad:** es el porcentaje de agua de un material reflejada como una relación de su peso seco y húmedo.

**Curado:** es para poder conservar la humedad y temperatura del concreto a tempranas edades, para así conseguir mejoras principalmente en la resistencia y otras propiedades.

**Dosificación:** es la proporción en peso o en volumen de los diferentes elementos incorporados en una mezcla del concreto.

**Durabilidad:** es la propiedad que tienen los concretos de resistir la acción externa de agentes destructivos.

**Fraguado final:** es un grado de endurecimiento del concreto después del fraguado inicial, y a estas alturas el concreto ya es capaz de recibir cierta cantidad de carga.

**Fraguado inicial:** grado de endurecimiento del concreto, menor que el fraguado final, que también permite recibir cierta cantidad de carga.

**Hidratación:** reacción química entre el cemento hidráulico y el agua.

**Mortero:** resultado de la mezcla de cemento, agua y agregado fino.

**Pasta:** resultado de la mezcla de cemento y agua.

**Peso específico:** es la relación entre la masa de un volumen unitario de material y la masa del mismo volumen de agua destilada libres de gas.

**Peso unitario:** peso de concreto por unidad de volumen.

**Relación agua-cemento:** cociente obtenido al dividir el peso del agua entre el peso del cemento en el concreto.

**Resistencia a la compresión:** es la máxima resistencia medida de un espécimen de concreto cargado a la compresión y expresada en  $\text{kg/cm}^2$  en el sistema internacional.

**Resistencia temprana:** es la resistencia del concreto que se mide en los primeros tres días o antes, después de la colocación.

**Segregación:** separación del agregado grueso de la porción de mortero de un concreto.

**Tamaño máximo:** es la selección correspondiente a un agregado, expresada por la abertura de los tamices límites, por los cuales pasa y queda retenido en su totalidad.

**Tamaño máximo nominal:** es el orificio del tamiz de malla menor a través del cual puede pasar como mínimo el 95% de los agregados.

**Trabajabilidad:** es la fluidez de la colocación, compactación y acabado del concreto en estado fresco, también se le puede conocer como manejabilidad.

**Polietileno:** el polietileno es el origen del plástico más utilizado en el mundo y, además, es el más sencillo a nivel de composición química. Estas son las principales características del polietileno:

- El polietileno resiste mejor las bajas temperaturas en comparación con el polipropileno.
- Es un material muy elástico y se estira fácilmente, cuenta con mayor flexibilidad.
- El polietileno da lugar a un tipo de plástico robusto, con gran resistencia a la abrasión, al impacto y al desgaste. Por ejemplo, su estructura apenas varía entre  $-80^{\circ}\text{C}$  y  $80^{\circ}\text{C}$ .
- Su precio es muy competitivo y, debido a ello, el polietileno es el principal componente de gran parte de los productos que se usan en el mundo del embalaje.

**Polietileno de alta densidad (PEAD o HDPE).** Está conformado por unidades repetitivas y sucesivas de etileno. Se usa en envases, garrafas y botellas.

**Polietileno de baja densidad (PEBD o LDPE).** Está conformado por unidades repetitivas y sucesivas de etileno. Se usa en bolsas.

**Polietileno tereftalato (PET).** Se utiliza para fabricar botellas de agua, de bebidas carbónicas, película fotográfica, cintas de grabación y en fibra textil.

**Politetrafluoroetileno (PTFE).** Un plástico altamente resistente a los químicos. Es más reconocido como teflón. Se usa en antiadherente en sartenes y cacerolas, en juntas de fontanería, en aplicaciones criogénicas y en componentes eléctricos.

## **2.5. HIPÓTESIS**

### **2.5.1 HIPÓTESIS GENERAL**

Los plásticos PEAD reciclados molidos como agregado fino influyen en el concreto  $f'c=210 \text{ Kg/Cm}^2$ .

### **2.5.2 HIPÓTESIS ESPECÍFICAS**

- Los plásticos PEAD reciclados molidos como agregado fino influyen en la trabajabilidad de un concreto  $f'c=210 \text{ Kg/Cm}^2$ .
- Los plásticos PEAD reciclados molidos como agregado fino influyen en la elasticidad de un concreto  $f'c=210 \text{ Kg/Cm}^2$ .
- Los plásticos PEAD reciclados molidos como agregado fino influyen en la resistencia de un concreto  $f'c=210 \text{ Kg/Cm}^2$ .

## **2.6. VARIABLES**

### **2.6.1 VARIABLE 1**

Plástico PEAD reciclado molido.

**Dimensiones:**

Granulometría.

### **2.6.2 VARIABLE 2**

Concreto  $f'c = 210 \text{ Kg/Cm}^2$ .

**Dimensiones:**

Trabajabilidad.

Elasticidad.

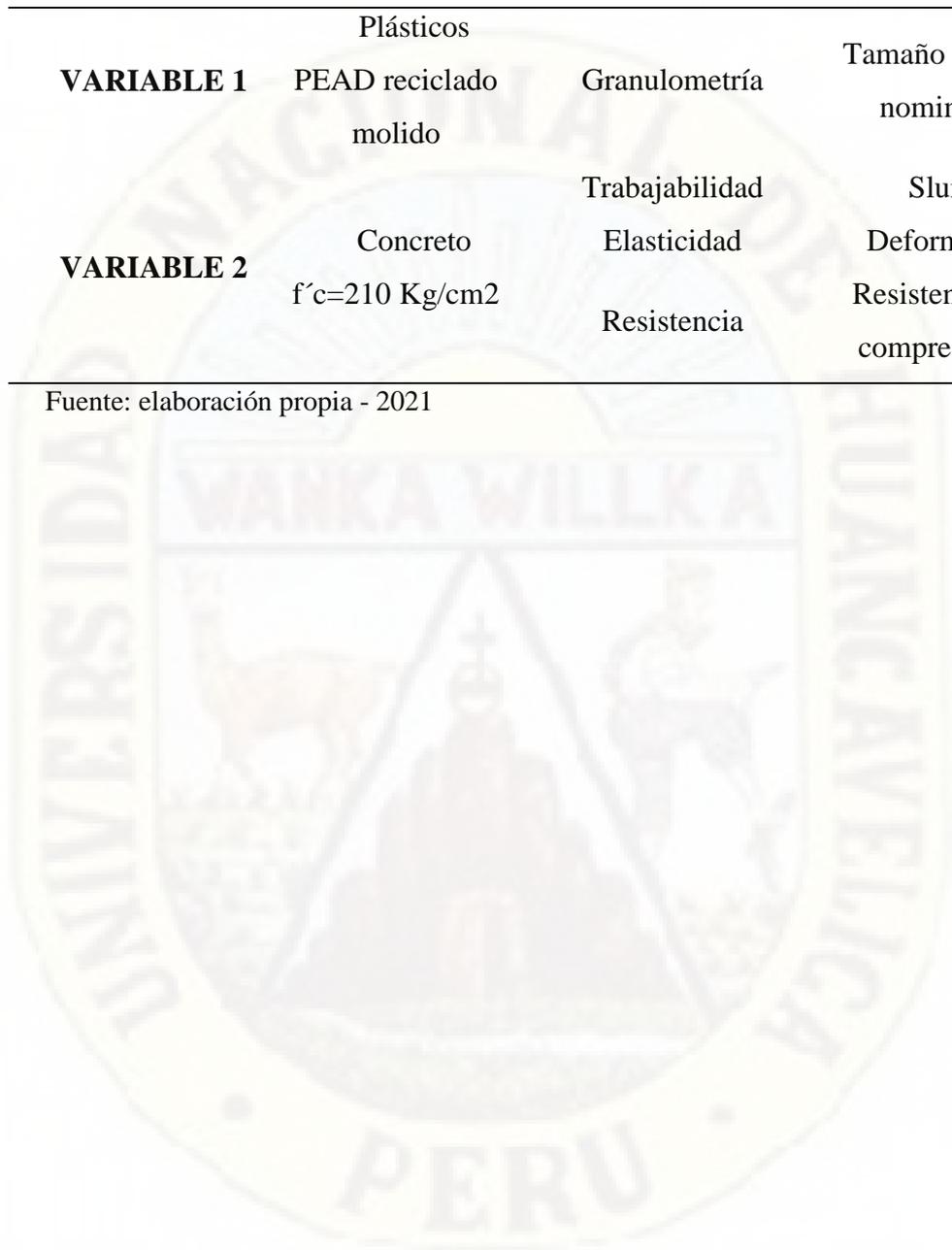
Resistencia.

## **2.7. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES**

**Tabla 15.** Tabla de operacionalización de variables.

	VARIABLES	DIMENSIÓN	INDICADORES
	Plásticos		
<b>VARIABLE 1</b>	PEAD reciclado molido	Granulometría	Tamaño máximo nominal
		Trabajabilidad	Slump
<b>VARIABLE 2</b>	Concreto f'c=210 Kg/cm2	Elasticidad	Deformación
		Resistencia	Resistencia a la compresión

Fuente: elaboración propia - 2021



# CAPÍTULO III

## METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

### 3.1 ÁMBITO TEMPORAL Y ESPACIAL

Estudios de campo: distrito de Huancavelica, provincia de Huancavelica, región de Huancavelica, en el año 2019.

*Tabla 16. Coordenadas geográficas de la cantera Chuñuranra – río Ichu.*

<b>ESTE (E)</b>	<b>496184.46 m</b>
NORTE (N)	8586716.89 m
ALTITUD (Z)	3769 m.s.n.m.

Fuente: elaboración propia – 2021

### 3.2 TIPO DE INVESTIGACIÓN

El proyecto de Investigación está enfocado al tipo de **investigación Aplicada** debido a que esta investigación es una parte de la realidad concreta que se da en el tiempo y ocupa espacio, como indica, (**caballero, 2013**), en virtud al concepto se dice, que al concluir esta investigación se podrán describir las características del concreto  $f'c = 210 \text{ Kg/Cm}^2$ .

### 3.3 NIVEL DE INVESTIGACIÓN

La investigación está enfocado al nivel explicativo por las comparaciones y caracterizaciones que se harán entre cada ensayo.

#### 3.3.1 MÉTODO DE INVESTIGACIÓN

La investigación se hará por un método científico debido a que se desarrollará ensayos en el laboratorio para poder determinar las causales de las influencias entre las variables.

#### 3.3.2 DISEÑO DE INVESTIGACIÓN

El diseño de investigación que se aplicará en el presente proyecto de tesis es del tipo Experimental, ya que las variables que se utilizaron fueron

controladas para comprobar los efectos que producen. Con un solo factor de control modificable, el reemplazo del agregado fino por plástico PEAD molido reciclado. Además, debido a que se manipula deliberadamente dos variables: plástico PEAD reciclado molido y el concreto  $f'c=210 \text{ Kg/Cm}^2$ .

<b>GE: 01</b>	<b>X</b>	<b>02</b>
<b>GC: 03</b>		<b>04</b>

**Dónde:**

**G.E:** Grupo experimental.

**G.C:** Grupo de control

**O1 y O3:** Pre test.

**O2 y O4:** Post test.

**X:** Manipulación de la Variable Independiente.

### **3.4 POBLACIÓN, MUESTRA Y MUESTREO**

#### **3.4.1 POBLACIÓN**

30 probetas de ensayos.

#### **3.4.2 MUESTRA**

Las 30 probetas están divididas de la siguiente manera.

**Diseño de mezcla CON factor de seguridad (20 probetas).**

- 4 ensayos para la muestra patrón.
  - 2 probetas para ensayar a los 7 días,
  - 2 probetas para ensayar a los 14 días.
- 4 ensayos para la muestra con la misma proporción de plástico PEAD que el agregado fino.
  - 2 probetas para ensayar a los 7 días,
  - 2 probetas para ensayar a los 14 días.
- 4 ensayos para la muestra con 5 % menos de plástico PEAD.
  - 2 probetas para ensayar a los 7 días,
  - 2 probetas para ensayar a los 14 días.
- 4 ensayos para la muestra con 5 % más de plástico PEAD.

- 2 probetas para ensayar a los 7 días,
- 2 probetas para ensayar a los 14 días.
- 4 ensayos para la muestra con 10 % más de plástico PEAD.
  - 2 probetas para ensayar a los 7 días,
  - 2 probetas para ensayar a los 14 días.

**Diseño de mezcla SIN factor de seguridad (10 probetas).**

- 2 ensayos para la muestra patrón.
  - 2 probetas para ensayar a los 7 días.
- 2 ensayos para la muestra con la misma proporción de plástico PEAD que el agregado fino.
  - 2 probetas para ensayar a los 7 días.
- 2 ensayos para la muestra con 5 % menos de plástico PEAD.
  - 2 probetas para ensayar a los 7 días.
- 2 ensayos para la muestra con 5 % más de plástico PEAD.
  - 2 probetas para ensayar a los 7 días.
- 2 ensayos para la muestra con 10 % más de plástico PEAD.
  - 2 probetas para ensayar a los 7 días.

### **3.4.3 TIPO DE MUESTREO**

La muestra, de la cual se extraerá los datos para su posterior tratamiento será probabilístico aleatorio estratificado.

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

### **3.5.1 TÉCNICAS**

Las principales técnicas que se utilizarán en el proceso de esta investigación será por observación directa (manipulación de los materiales tales como: piedra chancada, arena gruesa, plástico PEAD reciclado molido, agua cemento), análisis de materiales (en el laboratorio de mecánica de suelo y de concreto de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil), fórmulas (recopilación de las documentaciones para la aplicación de las fórmulas adecuadas al proyecto), diseño de mezcla, y ensayo de compresión (rotura de probetas).

### 3.5.2 INSTRUMENTOS

Los instrumentos a utilizar en estas técnicas serán:

- ✚ máquina trituradora de plástico PEAD reciclado molido,
- ✚ datos de campo (in situ),
- ✚ laboratorio de mecánica de suelos y de concreto de la Universidad Nacional de Huancavelica.

### 3.6 TÉCNICAS Y PROCESAMIENTO DE ANÁLISIS DE DATOS

#### Técnicas de procesamiento de datos

Las técnicas para el procesamiento de datos y procesamiento de los resultados para una investigación descriptivo – explicativo está basado en el uso de softwares para la descripción y aplicación de la norma técnica ASTM y ACI. Tales como formatos en excel para el registro de datos y el procesamiento respectivo.

#### Análisis de datos

Comparación y análisis porcentual (representado en gráfico de barras y en tortas).

Los procedimientos de recolección de datos estarán en función al cronograma establecido del proyecto de tesis.

- ✚ extracción de los materiales de las canteras,
- ✚ trituración del Plástico PEAD reciclado,
- ✚ análisis y caracterización de los materiales,
- ✚ diseño de mezcla,
- ✚ obtención de las probetas cilíndricas,
- ✚ ensayo de compresión de las probetas a diferentes edades.

## CAPÍTULO IV

### PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

#### 4.1 ANÁLISIS DE INFORMACIÓN

En esta fase daremos a conocer los resultados obtenidos de la caracterización de los materiales que se realizó en el laboratorio. Con estos datos obtenidos se constituyó un diseño de mezcla patrón para la comparación de los resultados reemplazando el agregado fino por el plástico PEAD reciclado molido en diferentes proporciones.

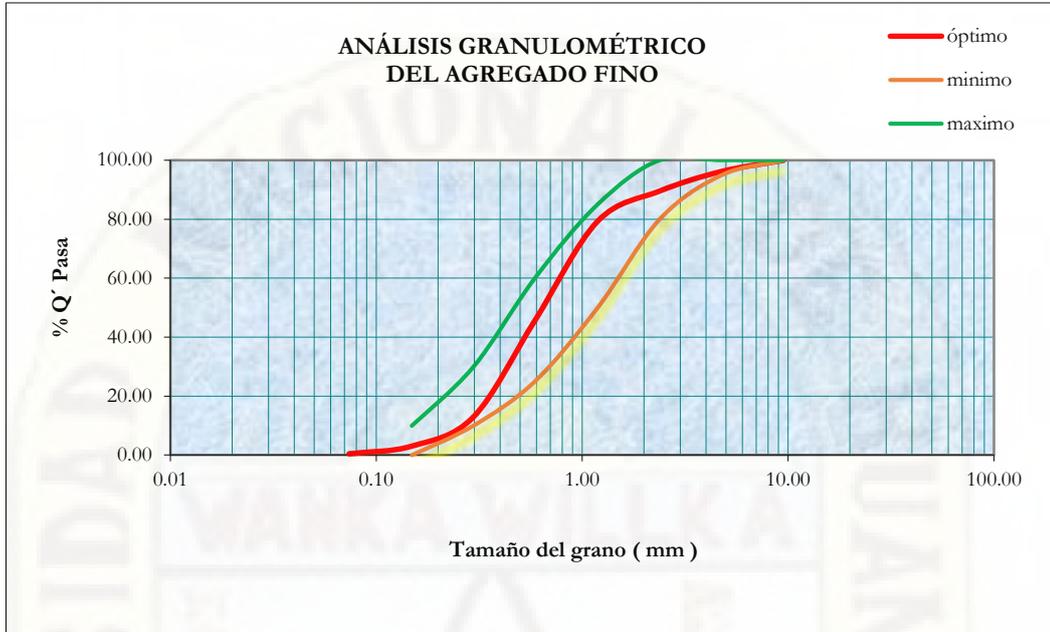
En este capítulo finalizaremos con la comparación de resultados que se obtuvo al reemplazar el agregado fino por el plástico PEAD reciclado molido, utilizando la misma proporción de mezcla que el diseño de mezcla patrón para un concreto  $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$ .

##### 4.1.1 PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DE LOS AGREGADOS

En un concreto, los agregados son los materiales que en mayor volumen ocupan y son los más importantes. Se calcula en un aproximado de entre un 60 % hasta un 75 % en una unidad de volumen del concreto, y es por tal razón la importancia de conocer cada característica del agregado, mediante los distintos ensayos tipificados en la norma técnica peruana.

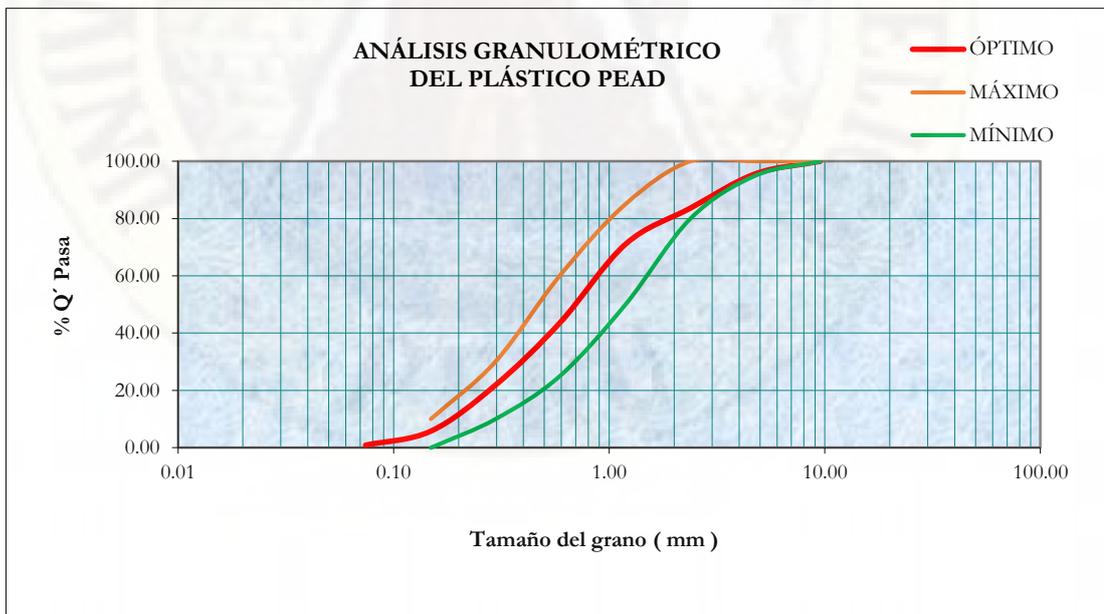
**GRANULOMETRÍA DE LOS AGREGADOS.** - NTP 400.012 (2013). Lo desarrollamos en el laboratorio aplicando el método para la determinación de la distribución por tamaño de partículas del agregado por tamizado. Y como resultado de ello se detalla en los cuadros que se muestran.

**Figura 6.** Análisis granulométrico de la arena gruesa de la cantera Chuñuranra-río Ichu.



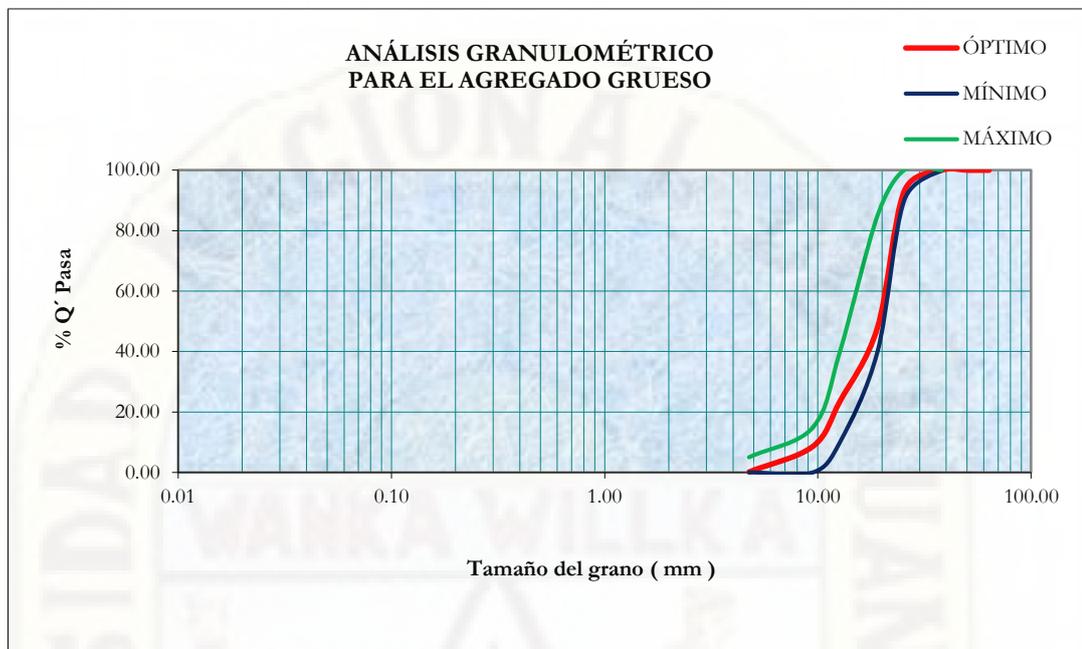
Fuente: elaboración propia – 2021.

**Figura 7.** Análisis granulométrico del plástico PEAD reciclado molido.



Fuente: elaboración propia – 2021.

**Figura 8.** Análisis granulométrico de la piedra chancada de la cantera Chuñuranra - río Ichu.



Fuente: elaboración propia – 2021.

**CONTENIDO DE HUMEDAD.** – Se realizó tres ensayos de cada material para determinar el contenido natural de humedad de los tres materiales: plástico PEAD reciclado molido, arena gruesa y de la piedra chancada.

**Tabla 17.** Contenido de humedad de los agregados ASTM C 566.

		<b>ARENA GRUESA</b>		
<b>Tara número</b>	<b>Und</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>
<b>Peso tara + muestra húmeda</b>	Gr	171.44	123.84	166.18
<b>Peso tara + muestra seca</b>	Gr	170.47	123.12	165.32
<b>Peso de la tara</b>	Gr	36.83	36.66	36.98
<b>Peso de la muestra seca</b>	Gr	133.64	86.46	128.34
<b>Peso del agua</b>	Gr	0.97	0.72	0.86
<b>Contenido de humedad</b>	%	0.73	0.83	0.67
<b>Promedio</b>			<b>0.74</b>	

Fuente: elaboración propia – 2021.

**Tabla 18.** Contenido de humedad del plástico ASTM C 566.

<b>PLÁSTICO</b>				
<b>Tara número</b>	<b>Und</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>
<b>Peso tara + muestra húmeda</b>	Gr	63.19	69.78	73.21
<b>Peso tara + muestra seca</b>	Gr	63.08	69.71	73.11
<b>Peso de la tara</b>	Gr	37.25	36.84	36.97
<b>Peso de la muestra seca</b>	Gr	25.83	32.87	36.14
<b>Peso del agua</b>	Gr	0.11	0.07	0.10
<b>Contenido de humedad</b>	%	0.43	0.21	0.28
<b>Promedio</b>			<b>0.31</b>	

Fuente: elaboración propia – 2021.

**Tabla 19.** Contenido de humedad de la piedra chancada ASTM C 566.

<b>PIEDRA CHANCADA</b>				
<b>Tara número</b>	<b>Und</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>
<b>Peso tara + muestra húmeda</b>	Gr	114.15	119.71	107.79
<b>Peso tara + muestra seca</b>	Gr	113.43	118.79	107.06
<b>Peso de la tara</b>	Gr	37.00	35.83	36.95
<b>Peso de la muestra seca</b>	Gr	76.43	82.96	70.11
<b>Peso del agua</b>	Gr	0.72	0.92	0.73
<b>Contenido de humedad</b>	%	0.94	1.11	1.04
<b>Promedio</b>			<b>1.03</b>	

Fuente: elaboración propia – 2021.

**PESO ESPECÍFICO DE LOS AGREGADOS.** - Se realizó como parámetro de calidad, los valores elevados corresponden a materiales de buen comportamiento, mientras que el peso específico bajo generalmente corresponde a agregados absorbentes y débiles, el agregado de Chuñuranra del río Ichu presenta un peso específico alrededor de 2.56 g/Cm<sup>3</sup>, que está dentro del parámetro normal usado entre 2,5 g/Cm<sup>3</sup> y 2, 75 g/Cm<sup>3</sup>. En caso del plástico PEAD se observa que presenta un peso específico por debajo de los parámetros normales.

**Tabla 20. Peso específico de los agregados, ASTM C 127.**

Tara número	Unidades	PLÁSTICO	ARENA GRUESA
		1	1
Peso del picnómetro(A)	Gr	161.39	161.39
Peso A. fino seco (B)	Gr	100.00	500.00
Peso=P+agua ( C )	Gr	660.42	660.42
Peso=P+agua+A. fino (D)	Gr	649.04	965.11
Volumen ( E )	Cm <sup>3</sup>	172.77	195.31
Peso específico de sólidos	Gr / Cm <sup>3</sup>	0.58	2.56

Fuente: elaboración propia – 2021.

**PESO UNITARIO SUELTO SECO.** - El peso unitario suelto seco es importante debido a que en este estado es que se presenta en la realidad, debido a que estos se hacen en estado suelto. Y como resultado de los ensayos realizados en laboratorio tenemos lo siguiente.

**Tabla 21. Peso unitario suelto de los agregados ASTM C29.**

Tara número	Unidades	PLÁSTICO	PIEDRA CHANCADA	ARENA GRUESA
		1	1	1
Peso molde + muestra seca	Kg	12.53	17.36	18.18
Peso del molde	Kg	10.24	10.24	10.24
Peso de la muestra seca	Kg	2.29	7.12	7.95
Volumen del molde	M3	0.0053	0.0053	0.0053
Peso específico seco	Kg/M3	432.08	1343.40	1499.06

Fuente: elaboración propia – 2021.

**PESO UNITARIO COMPACTADO SECO.** - Es importante para el diseño de mezclas, con este ensayo se determinó el volumen absoluto de los agregados por cuanto estos van a estar sometidos a una compactación durante el proceso de colocación del concreto. El resultado obtenido es como sigue.

**Tabla 22.** *Peso unitario compactado de los agregados ASTM C 29.*

<b>Tara número</b>	<b>Unidades</b>	<b>PLÁSTICO</b>	<b>PIEDRA CHANCADA</b>	<b>ARENA GRUESA</b>
		<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>
<b>Peso molde + muestra seca</b>	Kg	12.93	18.12	19.35
<b>Peso del molde</b>	Kg	10.24	10.24	10.24
<b>Peso de la muestra seca</b>	Kg	2.70	7.88	9.11
<b>Volumen del molde</b>	M3	0.0053	0.0053	0.0053
<b>Peso específico seco</b>	Kg/M3	508.49	1486.79	1718.87

Fuente: elaboración propia – 2021.

#### **4.1.2 DISEÑO DE MEZCLA DEL CONCRETO**

Con las caracterizaciones de los materiales en estudio se realizó el diseño de mezcla para dos casos: un diseño afectado por el factor de seguridad y otro diseño sin factor de seguridad, que en los anexos se presenta con mayor detalle todo el proceso y datos usados. A continuación, se muestra el resumen de las cantidades de materiales que se usarán para obtener 1 m<sup>3</sup> de concreto.

##### **DISEÑO DE MEZCLA CON FACTOR DE SEGURIDAD**

**Tabla 23.** Cantidad de materiales para 1 m<sup>3</sup> de concreto (diseño con factor de seguridad).

UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCAYO PERU		DISEÑO DE MEZCLA CON FACTOR DE SEGURIDAD		UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCAYO PERU	
DESCRIPCIÓN		DISEÑO		OBRA	
Cemento Portland tipo I	42.50	366.00	Kg/m <sup>3</sup>	366.00	Kg/m <sup>3</sup>
Agua		205.00	Lts/m <sup>3</sup>	238.88	Lts/m <sup>3</sup>
Agregado fino		780.80	Kg/m <sup>3</sup>	786.58	Kg/m <sup>3</sup>
Agregado grueso		924.91	Kg/m <sup>3</sup>	934.44	Kg/m <sup>3</sup>
Aire atrapado		2.00	%	2.00	%
<b>RELACIÓN EN PESO DE OBRA:</b>					
	$\frac{366.00}{366.00}$	:	$\frac{786.58}{366.00}$	:	$\frac{934.44}{366.00}$
	1.00	:	2.149	:	2.553
					26.54 LTS/SACO
<b>CANTIDAD DE MATERIALES POR METRO CÚBICO DE CONCRETO:</b>					
<b>f'c = 210 Kg/cm<sup>2</sup></b>					
Cemento Portland tipo I	42.50	Kg.	=	8.612	Bolsas
Agua			=	<b>0.239</b>	<b>M3</b>
Agregado fino (Arena gruesa)			=	<b>0.525</b>	<b>M3</b>
Agregado grueso (Piedra chancada 3/4")			=	<b>0.695</b>	<b>M3</b>

Fuente: elaboración propia – 2021.

Con estos datos podemos calcular el peso específico del concreto convencional y concreto con plástico PEAD molido reciclado para un diseño con factor de seguridad de la siguiente manera:

**Tabla 24.** Peso del concreto de la muestra patrón-con factor de seguridad.

Material	Cantidad/m <sup>3</sup>	peso	Peso/m <sup>3</sup>
Cemento	8.612	42.50	366.00
Agua	0.239	1000	238.88
Agregado fino	0.525	1499.06	786.58
Piedra chancada	0.695	1343.40	934.31
% de aire	2 %		46.52
		<b>total</b>	<b>2372.28 Kg/m<sup>3</sup></b>

Fuente: elaboración propia – 2021.

**Tabla 25.** *Peso del concreto de la muestra con la misma proporción del plástico PEAD que el agregado fino - con factor de seguridad.*

Material	Cantidad/m3	peso	Peso/m3
Cemento	8.612	42.50	366.00
Agua	0.239	1000	238.88
Agregado fino	0.525	432.08	226.72
Piedra chancada	0.695	1343.40	934.31
% de aire	2 %		35.32
		<b>total</b>	<b>1801.23 Kg/m3</b>

Fuente: elaboración propia – 2021.

Comparando el peso del concreto en ambas probetas podemos notar claramente que hay una diferencia considerable de 571.05 Kg/m3 en cuanto al peso del concreto de ambas probetas y en porcentaje tenemos que el concreto con plástico pesa 24.07 % menos que el concreto convencional.

#### DISEÑO DE MEZCLA SIN FACTOR DE SEGURIDAD

**Tabla 26.** *Cantidad de materiales para 1 m3 de concreto (diseño sin factor de seguridad).*

 <b>DISEÑO DE MEZCLA SIN FACTOR DE SEGURIDAD</b> 			
DESCRIPCIÓN	DISEÑO		OBRA
Cemento Portland tipo I	42.50	300.00 Kg/m3	300.00 Kg/m3
Agua		205.00 Lts/m3	240.53 Lts/m3
Agregado fino		834.56 Kg/m3	840.74 Kg/m3
Agregado grueso		924.91 Kg/m3	934.44 Kg/m3
Aire atrapado		2.00 %	2.00 %
<b>RELACIÓN EN PESO DE OBRA:</b>			
	$\frac{300.00}{300.00}$	$:\frac{840.74}{300.00}$	$:\frac{934.44}{300.00}$
	1.00	$:\ 2.802$	$:\ 3.115 \quad 34.36 \text{ LTS/SACO}$
<b>CANTIDAD DE MATERIALES POR METRO CÚBICO DE CONCRETO:</b>			
<b>f'c = 210 Kg/cm2</b>			

Cemento pórtland tipo I	42.50 Kg.	=	7.059	Bolsas
Agua		=	<b>0.241</b>	<b>M3</b>
Agregado fino (Arena gruesa)		=	<b>0.561</b>	<b>M3</b>
Agregado grueso (Piedra chancada 3/4")		=	<b>0.695</b>	<b>M3</b>

Fuente: elaboración propia – 2021.

Con estos datos podemos calcular el peso específico del concreto convencional y concreto con plástico PEAD molido reciclado para un diseño sin factor de seguridad de la siguiente manera:

**Tabla 27.** *Peso del concreto de la muestra patrón-sin factor de seguridad.*

Material	Cantidad/m3	peso	Peso/m3
Cemento	7.059	42.50	300.00
Agua	0.241	1000	240.53
Agregado fino	0.561	1499.06	840.74
Piedra chancada	0.695	1343.40	934.31
% de aire	2 %		46.31
		<b>total</b>	<b>2361.88 Kg/m3</b>

Fuente: elaboración propia – 2021.

**Tabla 28.** *Peso del concreto de la muestra con la misma proporción de plástico PEAD que el agregado fino-sin factor de seguridad.*

Material	Cantidad/m3	peso	Peso/m3
Cemento	7.059	42.50	300.00
Agua	0.241	1000	240.53
Agregado fino	0.561	432.08	242.32
Piedra chancada	0.695	1343.40	934.31
% de aire	2 %		34.34
		<b>total</b>	<b>1751.51 Kg/m3</b>

Fuente: elaboración propia – 2021.

Comparando el peso del concreto en ambas probetas podemos notar claramente que hay una diferencia considerable de 610.37 Kg/m3, en cuanto al peso del concreto de

ambas probetas, y en porcentaje tenemos que el concreto con plástico pesa 25.84 % menos que el concreto convencional.

#### 4.1.3 RESULTADOS PARA LA TRABAJABILIDAD DEL CONCRETO

La trabajabilidad define que tan manejable o trabajable puede ser este para su colocado, esto depende básicamente del contenido de agua que tenga la mezcla del concreto, es decir depende de la relación agua - cemento que es la que define la resistencia del concreto cuando este llega a su estado de fragua. Para tener una idea aproximada de la trabajabilidad de una mezcla en el laboratorio se emplean ensayos como es el cono de Abrams que nos dicen que tan trabajable es una mezcla de acuerdo a su asentamiento. En la presente tesis se usó el cono de Abrams para la trabajabilidad de la mezcla del concreto. A continuación, se muestra los resultados para las diferentes proporciones de mezcla del plástico PEAD.

**Tabla 29.** Cuadro de resultados del ensayo de cono de Abrams para un diseño de mezcla con factor de seguridad.

FECHA DE ENSAYO	DESCRIPCIÓN	SLUMP
16/10/2019	MUESTRA PATRÓN	3.01"
16/10/2019	MUESTRA PATRÓN	3.05"
16/10/2019	MISMA PROPORCIÓN DE PLÁSTICO QUE EL AGREGADO FINO	3.08"
16/10/2019	MISMA PROPORCIÓN DE PLÁSTICO QUE EL AGREGADO FINO	3.10"
16/10/2019	MUESTRA CON 5% MÁS DE PLÁSTICO PEAD	2.80"
16/10/2019	MUESTRA CON 5% MÁS DE PLÁSTICO PEAD	2.90"
17/10/2019	MUESTRA CON 5% MENOS DE PLÁSTICO PEAD	3.10"
17/10/2019	MUESTRA CON 5% MENOS DE PLÁSTICO PEAD	3.15"
17/10/2019	MUESTRA CON 10% MÁS DE PLÁSTICO PEAD	2.50"
17/10/2019	MUESTRA CON 10% MÁS DE PLÁSTICO PEAD	2.60"

Fuente: elaboración propia – 2021.

**Tabla 30.** Resumen de resultados del ensayo de cono de Abrams para un diseño de mezcla con factor de seguridad.

<b>RESUMEN</b>	
<b>DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA</b>	<b>SLUMP (pulgadas)</b>
MUESTRA PATRÓN	3.03
MISMA PROPORCIÓN DE PLÁSTICO QUE LA AGREGADO FINO	3.09
MUESTRA CON 5% MÁS DE PLÁSTICO PEAD	2.85
MUESTRA CON 5% MENOS DE PLÁSTICO PEAD	3.13
MUESTRA CON 10% MÁS DE PLÁSTICO PEAD	2.55

Fuente: elaboración propia – 2021.

**Tabla 31.** Cuadro de resultados del ensayo de cono de Abrams para un diseño de mezcla sin factor de seguridad.

<b>FECHA DE ENSAYO</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>SLUMP</b>
15/11/2019	MUESTRA PATRÓN	3.08"
15/11/2019	MUESTRA PATRÓN	3.05"
15/11/2019	MUESTRA CON 5% MENOS DE PLÁSTICO PEAD	3.85"
15/11/2019	MUESTRA CON 5% MENOS DE PLÁSTICO PEAD	3.90"
15/11/2019	MUESTRA CON 5% MÁS DE PLÁSTICO PEAD	2.80"
15/11/2019	MUESTRA CON 5% MÁS DE PLÁSTICO PEAD	2.91"
15/11/2019	MUESTRA CON 10% MÁS DE PLÁSTICO PEAD	2.50"
15/11/2019	MUESTRA CON 10% MÁS DE PLÁSTICO PEAD	2.60"
15/11/2019	MISMA PROPORCIÓN DE PLÁSTICO QUE EL AGREGADO FINO	3.10"
15/11/2019	MISMA PROPORCIÓN DE PLÁSTICO QUE EL AGREGADO FINO	3.15"

Fuente: elaboración propia – 2021.

**Tabla 32.** Resumen de resultados del ensayo de cono de Abrams para un diseño de mezcla sin factor de seguridad.

<b>RESUMEN</b>	
<b>DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA</b>	<b>SLUMP (pulgadas)</b>
MUESTRA PATRÓN	3.07
MUESTRA CON 5% MENOS DE PLÁSTICO PEAD	3.88
MUESTRA CON 5% MÁS DE PLÁSTICO PEAD	2.86
MUESTRA CON 10% MÁS DE PLÁSTICO PEAD	2.55
MISMA PROPORCIÓN DE PLÁSTICO QUE LA AGREGADO FINO	3.13

Fuente: elaboración propia – 2021.

#### **4.1.4 RESULTADOS DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD DEL CONCRETO**

El módulo de elasticidad del concreto es la relación existente entre el esfuerzo al que es sometido el concreto y su deformación unitaria. Básicamente representa la rigidez del concreto ante una carga impuesta sobre el mismo.

Cuando la relación entre el esfuerzo y la deformación unitaria a que está sometido el material es lineal, constante y los esfuerzos aplicados no alcanzan el límite de proporcionalidad, el material tiene un comportamiento elástico que cumple con la Ley de Hooke.

##### **Módulo de elasticidad según la norma E – 060 concreto armado**

Para concretos de peso unitario  $W_c$  comprendido entre 1450 y 2500 kg/m<sup>3</sup>, el módulo de elasticidad,  $E_c$ , para el concreto puede tomarse como:

$$E = (W_c)^{1.5} * 4300 * \sqrt{f'c} \dots \dots \dots Kg/Cm^2$$

$$W_c = Tn/m^3 \quad f'c = Kg/Cm^2 \quad E = Kg/Cm^2$$

Para concretos de peso unitario normal ( $W_c \approx 2300$  kg/m<sup>3</sup>),  $E_c$ , puede tomarse como:

$$E = 15000 * \sqrt{f'c} \dots \dots \dots Kg/Cm^2$$

Entonces los resultados obtenidos se detallan a continuación:

**Tabla 33.** Módulo de elasticidad del concreto para un diseño con factor de seguridad.

DESCRIPCIÓN	PESO ESPECÍFICO (Kg/m <sup>3</sup> )	RESISTENCIA (f'c)	MÓDULO DE ELASTICIDAD (Kg/Cm <sup>2</sup> )
Peso del concreto patrón.	2372.28	210	217370.65
Peso del concreto con plástico PEAD.	1801.23	169.21	135192.33

Fuente: elaboración propia – 2021.

**Tabla 34.** Módulo de elasticidad del concreto para un diseño sin factor de seguridad.

DESCRIPCIÓN	PESO ESPECÍFICO (Kg/m <sup>3</sup> )	RESISTENCIA (f'c)	MÓDULO DE ELASTICIDAD (Kg/Cm <sup>2</sup> )
Peso del concreto patrón.	2361.88	210	217370.65
Peso del concreto con plástico PEAD.	1751.51	152.35	122975.59

Fuente: elaboración propia – 2021.

#### 4.1.5 RESULTADOS DE LAS PROBETAS SOMETIDOS AL ENSAYO DE LA COMPRESIÓN CON FACTOR DE SEGURIDAD

A continuación, se presenta los diferentes resultados de las pruebas o ensayos realizados en el laboratorio de concreto de la Universidad Nacional de Huancavelica para un diseño de mezcla usando el factor de seguridad. Cabe mencionar que la rotura de probetas sometidas a la compresión se realizó para dos edades de concreto, que son a los 7 y 14 días. Para la edad de concreto para los 28 días se hizo una proyección utilizando los datos de la siguiente tabla:

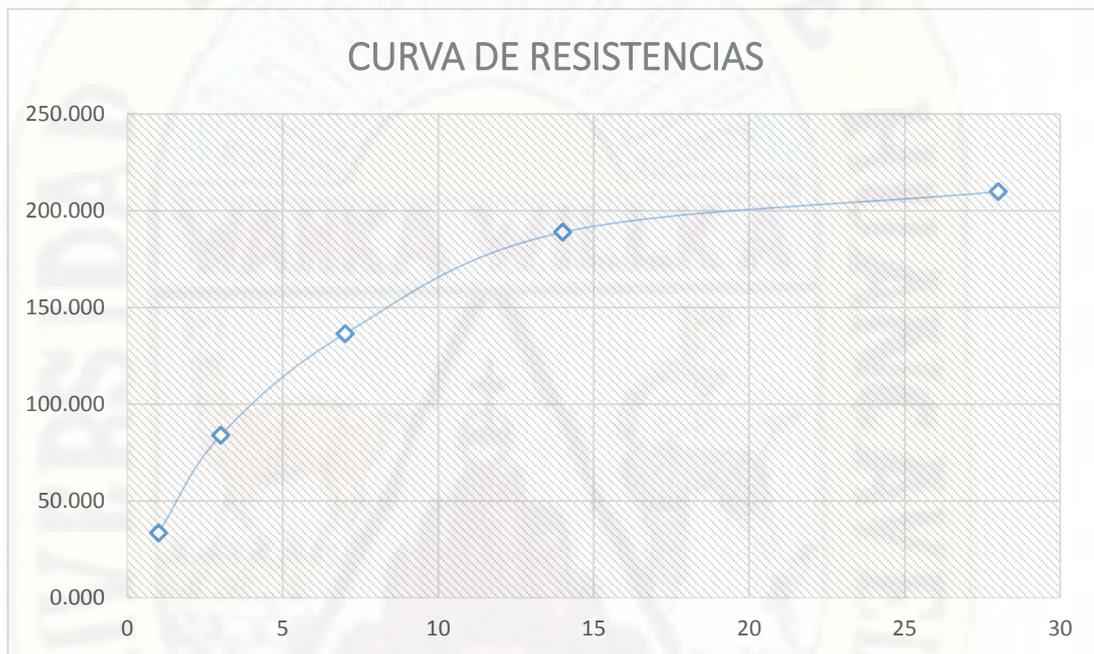
**Tabla 35.** Porcentajes de dureza del concreto.

DÍA	PORCENTAJE	RESISTENCIA (kg/cm <sup>2</sup> )
1	16 %	33.60
3	40 %	84.00
7	65 %	136.50
14	90 %	189.00
28	100 %	210.00

Fuente: elaboración propia – 2021.

En esta tabla está claro que la resistencia del concreto se produce con mayor rapidez en los días iniciales después de colocar el concreto, y se obtiene hasta un 90% en tan solo los 14 días y llega a alcanzar un 99.99 % al llegar los 28 días, pero después de estos 28 días el concreto sigue adquiriendo mayor resistencia, pero ya es mínima a comparación de estos días mostrados anteriormente.

**Figura 9.** Curva de resistencias a compresión a diferentes tiempos de curado.



Fuente: elaboración propia – 2021.

A continuación, se detalla los resultados obtenidos en los ensayos realizados en el laboratorio. Cabe recordar que las probetas sometidos a la rotura fueron a las edades de 7 y 14 días, para la edad de 28 días se hizo una proyección con los datos de la tabla N° 30.

**Tabla 36.** Resultados de rotura de probetas-muestra patrón (concreto  $f'c=210$  Kg/Cm<sup>2</sup>).

Fecha de vaceado	Fecha de rotura	Área (cm <sup>2</sup> )	Edad (días)	Carga máxima (kg)	Resistencia a la compresión (kg/cm <sup>2</sup> )	% de resistencia
16/10/2019	23/10/2019	179.316	7	25461	141.99	67.61 %
16/10/2019	23/10/2019	181.316	7	25716	141.83	67.54 %
16/10/2019	30/10/2019	172.034	14	33193	192.94	91.88 %
16/10/2019	30/10/2019	171.685	14	32961	191.98	91.42 %

Fuente: elaboración propia – 2021.

**Tabla 37.** Proyección de las resistencias a los 28 días (concreto  $f'c=210$  Kg/Cm<sup>2</sup>).

Proyectado a 28 días	179.316	28	39170	218.44	104.02 %
Proyectado a 28 días	181.316	28	39563	218.20	103.90 %

Fuente: elaboración propia – 2021.

**Tabla 38.** Resultados de rotura de probetas-muestra con la misma proporción de plástico PEAD que el agregado fino.

Fecha de vaceado	Fecha de rotura	Área (cm <sup>2</sup> )	Edad (días)	Carga máxima (kg)	Resistencia a la compresión (kg/cm <sup>2</sup> )	% de resistencia
16/10/2019	23/10/2019	181.101	7	19923	110.01	52.39 %
16/10/2019	23/10/2019	181.149	7	19921	109.97	52.37 %
16/10/2019	30/10/2019	175.421	14	26838	152.99	72.85 %
16/10/2019	30/10/2019	175.656	14	26822	152.70	72.71 %

Fuente: elaboración propia – 2021.

**Tabla 39.** Proyección de resistencias-muestra con la misma proporción de plástico PEAD que el agregado fino.

Proyectado a 28 días	181.101	28	30650	169.24	80.59 %
Proyectado a 28 días	181.149	28	30647	169.18	80.56 %

Fuente: elaboración propia – 2021.

**Tabla 40.** Resultados de rotura de probetas-muestra con 5 % menos de plástico PEAD.

Fecha de vaceado	Fecha de rotura	Área (cm <sup>2</sup> )	Edad (días)	Carga máxima (kg)	Resistencia a la compresión (kg/cm <sup>2</sup> )	% de resistencia
17/10/2019	24/10/2019	182.487	7	18268	100.11	47.67 %
17/10/2019	24/10/2019	182.343	7	18225	99.95	47.59 %
17/10/2019	31/10/2019	180.624	14	26195	145.02	69.06 %
17/10/2019	31/10/2019	182.080	14	26199	143.89	68.52 %

Fuente: elaboración propia – 2021.

**Tabla 41.** Proyección de resistencias-muestra con 5 % menos de plástico PEAD.

Proyectado a 28 días	182.487	28	28104	154.01	73.34 %
Proyectado a 28 días	182.343	28	28038	153.76	73.22 %

Fuente: elaboración propia – 2021.

**Tabla 42.** Resultados de rotura de probetas-muestra con 5 % más de plástico PEAD.

Fecha de vaceado	Fecha de rotura	Área (cm <sup>2</sup> )	Edad (días)	Carga máxima (kg)	Resistencia a la compresión (kg/cm <sup>2</sup> )	% de resistencia
16/10/2019	23/10/2019	175.797	7	18698	106.36	50.65 %
16/10/2019	23/10/2019	182.894	7	19151	104.71	49.86 %
16/10/2019	30/10/2019	175.668	14	26394	150.25	71.55 %
16/10/2019	30/10/2019	172.383	14	25591	148.45	70.69 %

Fuente: elaboración propia – 2021.

**Tabla 43.** Proyección de resistencias-muestra con 5 % más de plástico PEAD.

Proyectado a 28 días	175.797	28	28766	163.63	77.92 %
Proyectado a 28 días	182.894	28	29463	161.09	76.71 %

Fuente: elaboración propia – 2021.

**Tabla 44.** Resultados de rotura de probetas-muestra con 10 % más de plástico PEAD.

Fecha de vaceado	Fecha de rotura	Área (cm <sup>2</sup> )	Edad (días)	Carga máxima (kg)	Resistencia a la compresión (kg/cm <sup>2</sup> )	% de resistencia
17/10/2019	24/10/2019	182.607	7	17349	95.01	45.24 %
17/10/2019	24/10/2019	182.463	7	17141	93.94	44.73 %
17/10/2019	31/10/2019	179.554	14	25189	140.29	66.80 %
17/10/2019	31/10/2019	179.934	14	24861	138.17	65.79 %

Fuente: elaboración propia – 2021.

**Tabla 45.** Proyección de resistencias-muestra con 10 % más de plástico PEAD.

Proyectado a 28 días	182.607	28	26690	146.16	69.60 %
Proyectado a 28 días	182.463	28	26370	144.52	68.82 %

Fuente: elaboración propia – 2021.

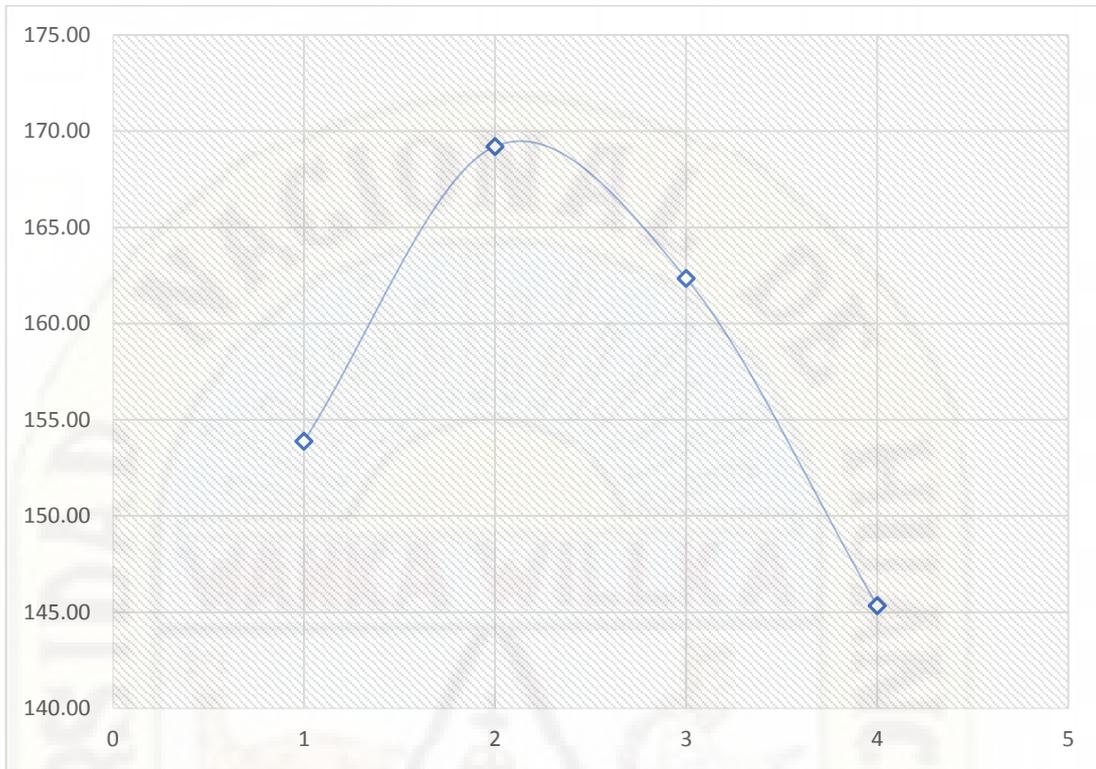
#### RESUMEN DE RESISTENCIAS A LA COMPRESIÓN CON FACTOR DE SEGURIDAD

**Tabla 46.** Resumen de resistencias a la compresión con factor de seguridad.

N°	DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA	RESISTENCIA (Kg/Cm <sup>2</sup> )		
		7 DÍAS	14 DÍAS	28 DÍAS
0	MUESTRA PATRÓN	141.910	192.465	218.320
1	MUESTRA CON 5% MENOS DE PLÁSTICO PEAD	100.027	144.456	153.885
2	MUESTRA CO LA MISMA PROPORCIÓN DE PLÁSTICO PEAD QUE EL AGREGADO FINO.	109.991	152.844	169.212
3	MUESTRA CON 5% MAS DE PLÁSTICO PEAD	105.536	149.352	162.362
4	MUESTRA CON 10% MAS DE PEAD	94.475	139.227	145.342

Fuente: elaboración propia – 2021.

**Figura 10.** Resumen de resistencias a la compresión con factor de seguridad.



Fuente: elaboración propia – 2021.

#### 4.1.6 RESULTADOS DE LAS PROBETAS SOMETIDOS AL ENSAYO DE LA COMPRESIÓN SIN FACTOR DE SEGURIDAD

**Tabla 47.** Resultados de rotura de probetas-muestra patrón (concreto  $f'c=210$  Kg/Cm<sup>2</sup>).

Fecha de vaciado	Fecha de rotura	Área (cm <sup>2</sup> )	Edad (días)	Carga máxima (kg)	Resistencia a la compresión (kg/cm <sup>2</sup> )	% de resistencia
15/11/2019	22/11/2019	174.367	7	23789	136.43	64.97 %
15/11/2019	22/11/2019	172.930	7	23549	136.18	64.85 %

Fuente: elaboración propia – 2021.

**Tabla 48.** Proyección de resistencias-muestra patrón (concreto  $f'c=210$  Kg/Cm2).

Proyectado a 14 días	174.367	14	32938	188.90	89.95 %
Proyectado a 14 días	172.930	14	32606	188.55	89.79 %
Proyectado a 28 días	174.367	28	36598	209.89	99.95 %
Proyectado a 28 días	172.930	28	36229	209.50	99.76 %

Fuente: elaboración propia – 2021.

**Tabla 49.** Resultados de rotura de probetas-muestra con la misma proporción de plástico PEAD que el agregado fino.

Fecha de vaceado	Fecha de rotura	Área (cm2)	Edad (días)	Carga máxima (kg)	Resistencia a la compresión (kg/cm2)	% de resistencia
15/11/2019	22/11/2019	174.367	7	17430	99.96	47.60 %
15/11/2019	22/11/2019	170.457	7	16719	98.08	46.71 %

Fuente: elaboración propia – 2021.

**Tabla 50.** Proyección de resistencias-muestra con la misma proporción de plástico PEAD que el agregado fino.

Proyectado a 14 días	174.367	14	24134	138.41	65.91 %
Proyectado a 14 días	170.457	14	23149	135.81	64.67 %
Proyectado a 28 días	174.367	28	26815	153.79	73.23 %
Proyectado a 28 días	170.457	28	25722	150.90	71.86 %

Fuente: elaboración propia – 2021.

**Tabla 51.** Resultados de rotura de probetas-muestra con 5 % menos de plástico PEAD.

Fecha de vaceado	Fecha de rotura	Área (cm2)	Edad (días)	Carga máxima (kg)	Resistencia a la compresión (kg/cm2)	% de resistencia
17/10/2019	24/10/2019	174.367	7	15683	89.94	42.83 %
17/10/2019	24/10/2019	172.499	7	15683	90.92	43.29 %

Fuente: elaboración propia – 2021.

**Tabla 52.** Proyección de resistencias-muestra con 5 % menos de plástico PEAD.

Proyectado a 14 días	174.367	14	21715	124.54	59.30 %
Proyectado a 14 días	172.499	14	21715	125.88	59.94 %
Proyectado a 28 días	174.367	28	24128	138.37	65.89 %
Proyectado a 28 días	172.499	28	24128	139.87	66.61 %

Fuente: elaboración propia – 2021.

**Tabla 53.** Resultados de rotura de probetas - muestra con 5 % más de plástico PEAD.

Fecha de vaceado	Fecha de rotura	Área (cm <sup>2</sup> )	Edad (días)	Carga máxima (kg)	Resistencia a la compresión (kg/cm <sup>2</sup> )	% de resistencia
16/10/2019	23/10/2019	175.539	7	16673	94.98	45.23%
16/10/2019	23/10/2019	174.121	7	16355	93.93	44.73%

Fuente: elaboración propia – 2021.

**Tabla 54.** Proyección de resistencias - muestra con 5 % más de plástico PEAD.

Proyectado a 14 días	175.539	14	23086	131.51	62.63 %
Proyectado a 14 días	174.121	14	22645	130.06	61.93 %
Proyectado a 28 días	175.539	28	25651	146.13	69.58 %
Proyectado a 28 días	174.121	28	25162	144.51	68.61 %

Fuente: elaboración propia – 2021.

**Tabla 55.** Resultados de rotura de probetas - muestra con 10 % más de plástico PEAD.

Fecha de vaceado	Fecha de rotura	Área (cm <sup>2</sup> )	Edad (días)	Carga máxima (kg)	Resistencia a la compresión (kg/cm <sup>2</sup> )	% de resistencia
17/10/2019	24/10/2019	174.367	7	14839	85.10	40.52 %
17/10/2019	24/10/2019	172.139	7	14614	84.90	40.43 %

Fuente: elaboración propia – 2021.

**Tabla 56.** Proyección de resistencias - muestra con 10 % más de plástico PEAD.

Proyectado a 14 días	174.367	14	20546	117.83	56.11 %
Proyectado a 14 días	172.139	14	20235	117.55	55.98 %
Proyectado a 28 días	174.367	28	22892	130.93	62.35 %
Proyectado a 28 días	172.139	28	22483	130.61	62.20 %

Fuente: elaboración propia – 2021.

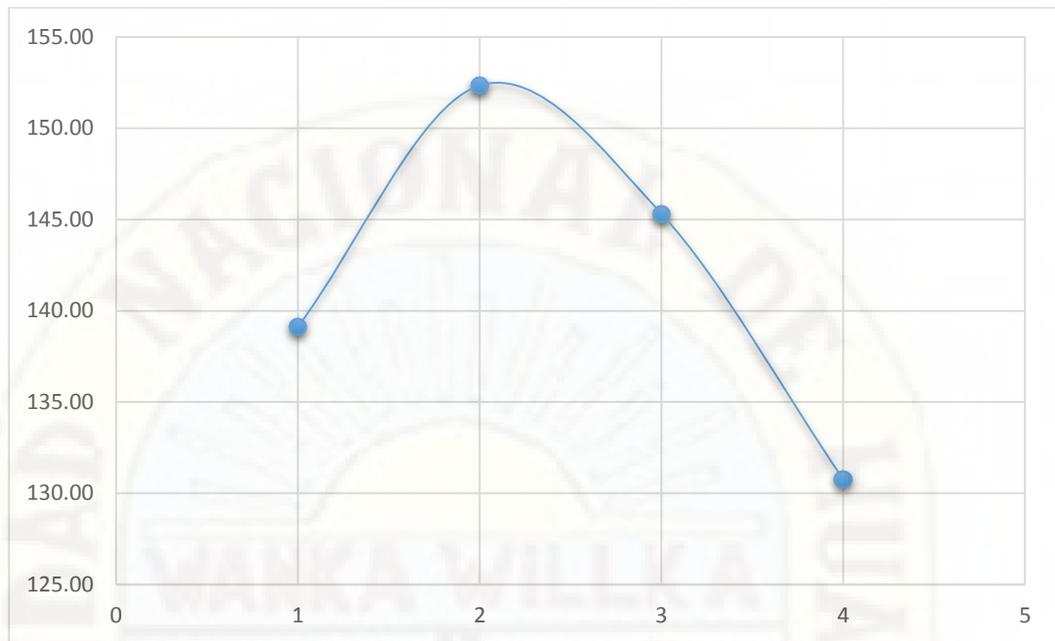
#### RESUMEN DE RESISTENCIAS A LA COMPRESIÓN SIN FACTOR DE SEGURIDAD

**Tabla 57.** Resumen de resistencias a la compresión sin factor de seguridad.

N°	DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA	RESISTENCIA (Kg/Cm2)		
		7 DÍAS	14 DÍAS	28 DÍAS
0	MUESTRA PATRÓN	136.304	188.728	209.698
1	MUESTRA CON 5% MENOS DE PLÁSTICO PEAD	90.429	125.210	139.122
2	MUESTRA CON LA MISMA PROPORCIÓN DE PLÁSTICO PEAD QUE EL AGREGADO FINO.	99.023	137.108	152.343
3	MUESTRA CON 5% MÁS DE PLÁSTICO PEAD	94.455	130.784	145.316
4	MUESTRA CON 10% MÁS DE PEAD	84.999	117.692	130.768

Fuente: elaboración propia – 2021.

**Figura 11.** Resumen de resistencias a la compresión sin factor de seguridad.



Fuente: elaboración propia – 2021.

## 4.2. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

En el análisis realizado a los diferentes ensayos, muestran que el reemplazo del agregado fino por el plástico PEAD reciclado molido, influye significativamente en la resistencia del concreto y demás características.

1. El diseño de mezcla considerando el factor de seguridad nos arroja mejores resultados en cuanto a la resistencia que el diseño sin considerar el factor de seguridad.
2. De la misma forma se observó que el peso del concreto disminuyó considerablemente al reemplazar el agregado fino por el plástico PEAD reciclado molido, hasta en un 25 % que el concreto convencional (peso del concreto convencional = 2372.28 Kg/M3 y peso del concreto con plástico PEAD es de 1801.23 Kg/M3). Ya que el reglamento nos dice que, en cuanto menos sea la densidad de los materiales, menor será el peso del concreto. Y de acuerdo a los ensayos realizados al plástico PEAD nos muestra una baja densidad que posee en comparación al agregado fino.
3. Los incrementos realizados al plástico en la proporción de la mezcla en porcentajes de +5 %, +10 %, nos arrojan resultados menores al utilizar la misma proporción de mezcla que la muestra patrón, de la misma forma se disminuyó un -5% en peso del plástico en el diseño, asimismo se obtuvo resultados inferiores a la muestra patrón. También se realizó el ensayo con las mismas proporciones de mezcla, solo se reemplazó el agregado fino por el plástico PEAD molido reciclado y se obtuvo mejores resultados que los anteriores ensayos, pero aun así se obtuvo resistencia menor a 210 Kg/Cm<sup>2</sup>.

## CONCLUSIONES

1. De nuestra hipótesis general, los resultados obtenidos en los diferentes ensayos que se realizó en el laboratorio de Universidad Nacional de Huancavelica, nos muestran que al reemplazar el agregado fino por el plástico PEAD molido reciclado se obtiene diferencias considerables en las propiedades del concreto, de lo expuesto se concluye que este cambio sí influye en un concreto 210 Kg/Cm<sup>2</sup>.

Los resultados en cuanto a las propiedades específicas que se planteó llega a la conclusión de la siguiente manera:

- a) En cuanto a la **trabajabilidad** del concreto que se obtuvo, los resultados muestran que se obtiene un mínimo aumento de Slump, 3.03” que es de la muestra patrón y 3.09” al reemplazar con el plástico PEAD, debido a que los plásticos presentan bajísimo porcentaje de absorción (0.54 %). Este resultado se muestra para el mejor ensayo obtenido que corresponde a la misma proporción de mezcla que a la muestra patrón, considerando un diseño de mezcla con factor de seguridad. Esta proporción presentó mejor resultado que es de 3.09”.
- b) En un concreto  $f'c = 210$  Kg/Cm<sup>2</sup>, al reemplazar el agregado fino por el plástico PEAD reciclado molido se obtiene menor **módulo de elasticidad** del concreto, obteniendo un módulo de elasticidad convencional de 217370.65 Kg/Cm<sup>2</sup> en comparación de 135192.33 Kg/Cm<sup>2</sup> de elasticidad que se obtuvo al reemplazar el agregado fino por plástico PEAD, debido a que el peso del concreto con plástico es menor que el peso del concreto convencional. Estos datos resultaron del diseño de mezcla con factor de seguridad.
- c) Al reemplazar el agregado fino por el plástico PEAD reciclado molido arrojó **resistencias a la compresión** menores a un concreto convencional de  $f'c = 210$  Kg/Cm<sup>2</sup>. El mejor resultado que se obtuvo fue para el diseño de mezcla con factor de seguridad para la misma proporción de mezcla que el diseño para la muestra patrón. La resistencia a la compresión que se obtuvo a la edad de 28 días fue de 169.21 Kg/Cm<sup>2</sup>.

## RECOMENDACIONES

1. De acuerdo a los resultados obtenidos se recomienda no utilizar este tipo de concreto en elementos estructurales, más bien se recomienda el uso para elementos no estructurales, salvo que los cálculos de diseño recomienden utilizar un concreto con resistencia a la compresión que estén por debajo de los 169 Kg/Cm<sup>2</sup>, como, por ejemplo, falso piso, solado, etc.
2. La obtención del plástico PEAD reciclado es muy complicado, debido a que no hay plantas exclusivas de reciclaje de plástico PEAD. Es recomendable que se instalen plantas de reciclaje para moler estos plásticos, para que de esta forma ayudemos a reducir la contaminación ambiental, e incrementemos el uso los plásticos para otros fines, como es el caso nuestro, se utiliza como agregado fino para elaborar concreto.
3. De igual manera el procedimiento de triturado del material es muy complicado, porque no hay una máquina netamente para el molido de este material. Por lo tanto, se recomienda tener en cuenta este detalle y de alguna manera incentivar a que se creen plantas trituradoras de plásticos para de esta manera tener una producción en grandes cantidades.

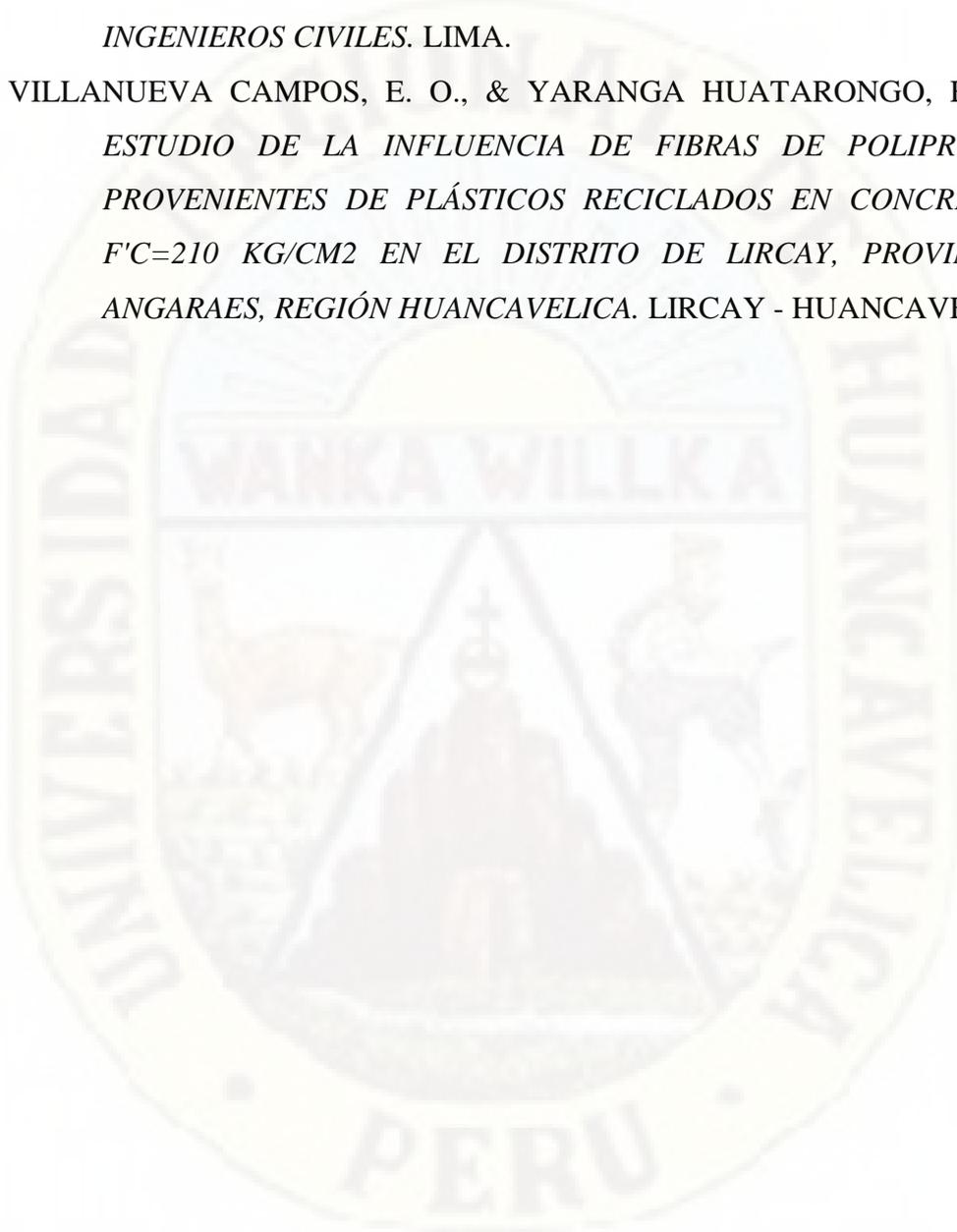
## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

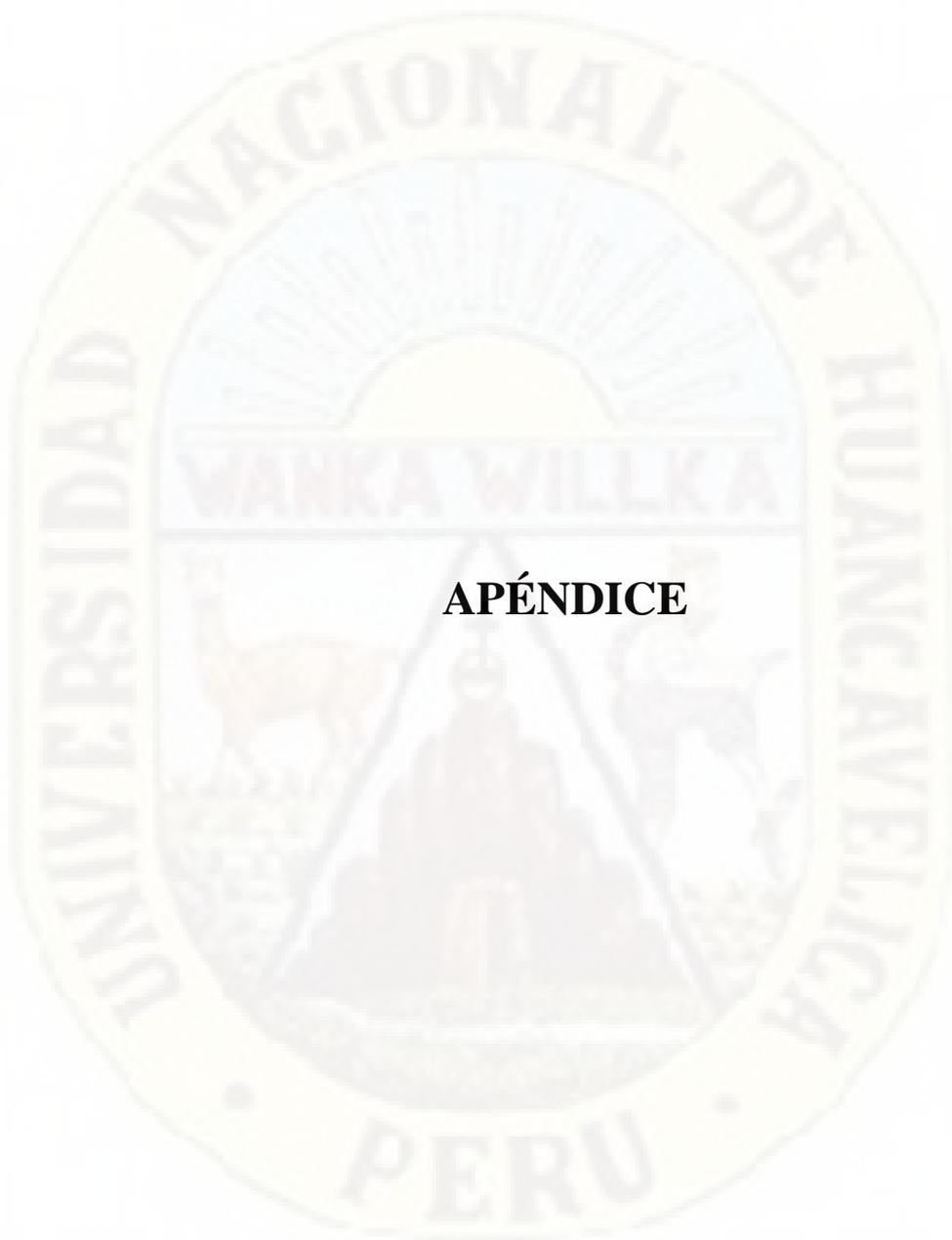
- PEÑALOZA GARZÓ, C. R. (2015). *COMPORTAMIENTO MECÁNICO DE UNA MEZCLA PARA CONCRETO RECICLADO USANDO NEUMÁTICOS TRITURADOS COMO REEMPLAZO DEL 10% Y 30% DEL VOLUMEN DEL AGREGADO FINO PARA UN CONCRETO CON FINES DE USO ESTRUCTURAL*. BOGOTA.
- DOGDI, D. (2011). *AGREGADOS DE PLÁSTICO A UNA MEZCLA DE CONCRETO COMÚN "ECOCRETO"*. MEXICO: UNIVERSIDAD AUTONOMA DE MEXICO.
- ECHEVERRÍA GARRO, E. R. (2017). *LADRILLOS DE CONCRETO CON PLÁSTICO PET RECICLADO*. CAJAMARCA.
- ESPINOZA, A. (2005). *TECNOLOGIA: APUNTES DE LOS PLASTICOS*. LIMA.
- GUTIÉRREZ DE LÓPEZ, L. (2003). *EL CONCRETO Y OTROS MATERIALES PARA LA CONSTRUCCIÓN*. COLOMBA: Centro de Publicaciones Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales.
- HARMSSEN, T. (2002). *DISEÑO DE ESTRUCTURAS DE CONCRETO ARMADO*. LIMA PERU: FONDO EDITORIAL 2002.
- HUAMANI ARANGO, F., & MONGE HURTADO, E. (2018). *ESTUDIO DE LA INFLUENCIA DE LA FIBRA DE CABUYA EN CONCRETOS DE  $F'c = 175$  KG/CM<sup>2</sup> Y  $F'c = 210$  KG/CM<sup>2</sup> EN EL DISTRITO DE LIRCAY PROVINCIA DE ANGARAES*. LIRCAY - HUANCABELICA.
- PASQUEL CARBAJAL, E. (1998). *TOPICOS DE TECNOLOGIA DEL CONCRETO EN EL PERU*. LIMA.
- PORTUGAL BARRIGA, P. (2007). *TECNOLOGIA DEL CONCRETO DE ALTO DESEMPEÑO*. PARIS: IMPRIMERIE LAFAYETTE.
- REYNA PARI, C. A. (2016). *REUTILIZACIÓN DE PLÁSTICO PET, PAPEL Y BAGAZO DE CAÑA DE AZÚCAR, COMO MATERIA PRIMA EN LA ELABORACIÓN DE CONCRETO ECOLÓGICO PARA LA CONSTRUCCIÓN DE VIVIENDAS DE BAJO COSTO*. TRUJILLO - PERU.
- RIVVA LOPEZ, E. (1992). *TECNOLIGIA DE CONCRETO "DISEÑO DE MEZCLA"*. LIMA - PERU: HOZLO S.CR.L.

RIVVA LOPEZ, E. (2000). *NATURALEZA Y MATERIALES DEL CONCRETO*. LIMA.

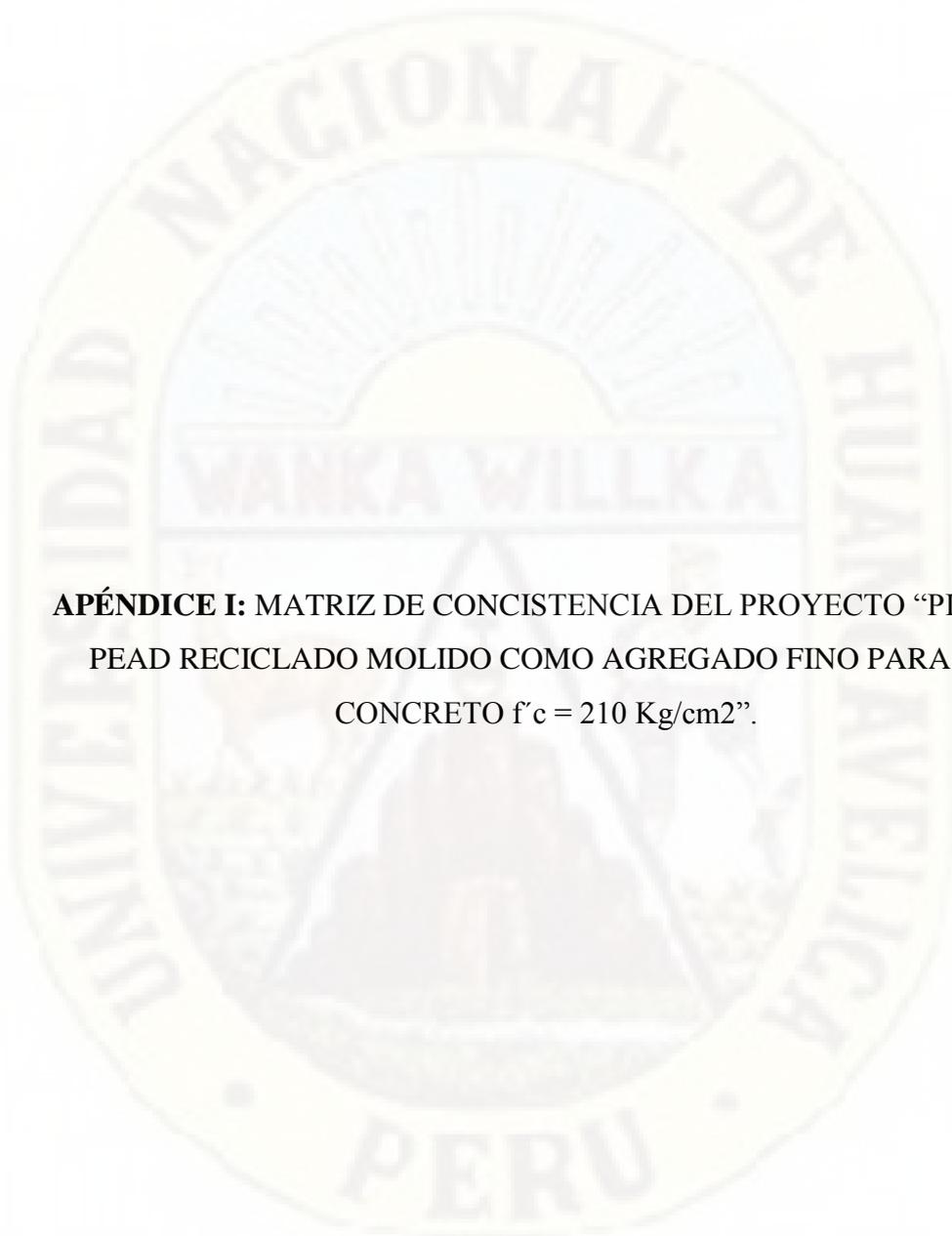
TORRE C., A. (2004). *CURSO BASICO DE TECNOLOGIA DEL CONCRETO PARA INGENIEROS CIVILES*. LIMA.

VILLANUEVA CAMPOS, E. O., & YARANGA HUATARONGO, H. (2015). *ESTUDIO DE LA INFLUENCIA DE FIBRAS DE POLIPROPILENO PROVENIENTES DE PLÁSTICOS RECICLADOS EN CONCRETOS DE  $F'C=210$  KG/CM<sup>2</sup> EN EL DISTRITO DE LIRCAY, PROVINCIA DE ANGARAES, REGIÓN HUANCVELICA*. LIRCAY - HUANCVELICA.





## **APÉNDICE**



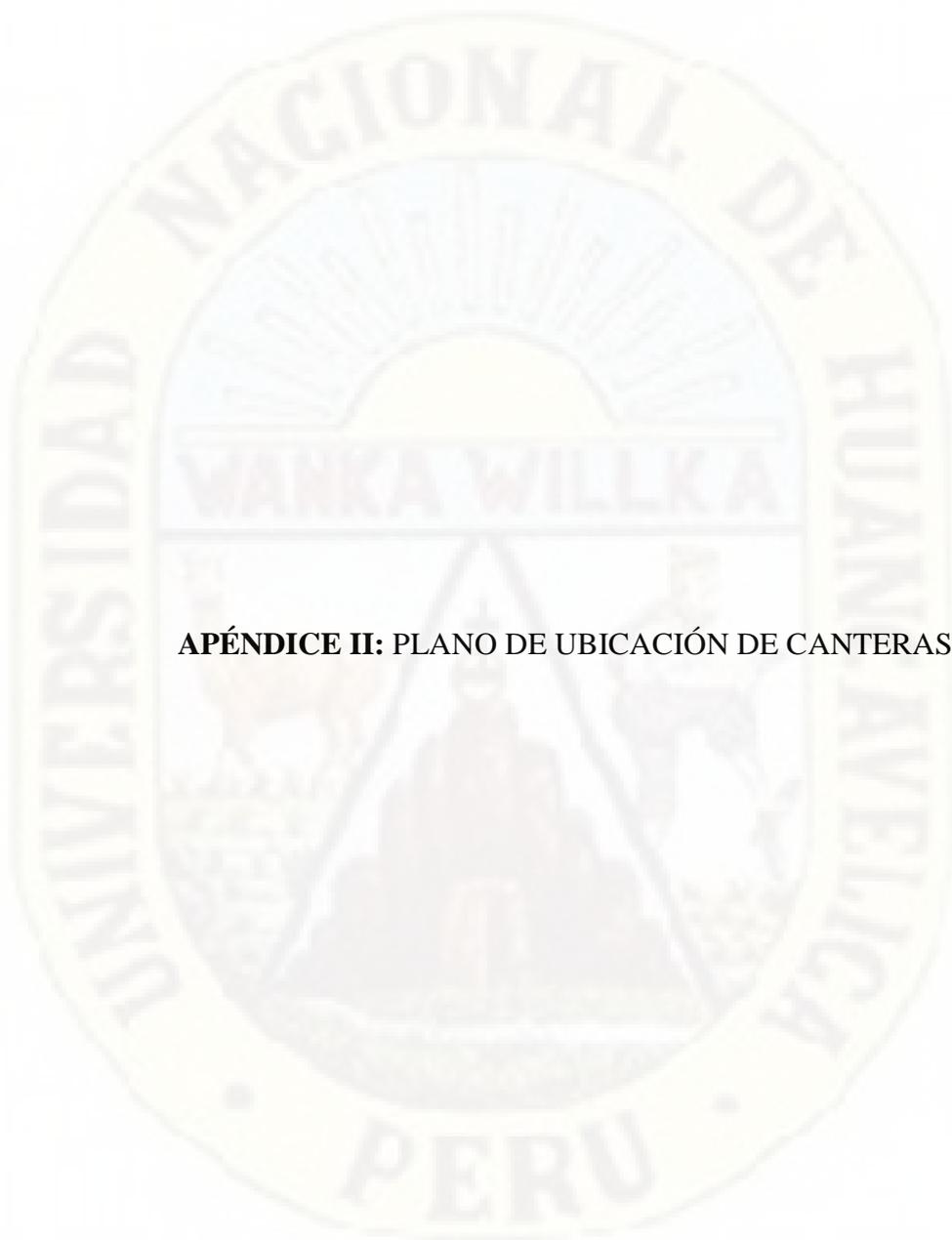
**APÉNDICE I: MATRIZ DE CONCISTENCIA DEL PROYECTO “PLÁSTICO  
PEAD RECICLADO MOLIDO COMO AGREGADO FINO PARA UN  
CONCRETO  $f'_c = 210 \text{ Kg/cm}^2$ ”.**

TEMA: “PLÁSTICO PEAD RECICLADO MOLIDO COMO AGREGADO FINO PARA UN CONCRETO  $f'c = 210 \text{ Kg/cm}^2$ ”.

DEFINICIÓN DEL PROBLEMA	OBJETIVOS	MARCO TEOÓRICO	HIPÓTESIS	VARIABLES	METODOLOGÍA
<p><b>Problema general</b></p> <p>¿Influye el plástico PEAD reciclado molido como agregado fino en un concreto <math>f'c = 210 \text{ Kg/cm}^2</math>?</p> <p><b>Problemas específicos:</b></p> <p>a. ¿Influye el plástico PEAD reciclado molido como agregado fino en la trabajabilidad de un concreto <math>f'c = 210 \text{ Kg/cm}^2</math>?</p> <p>b. ¿Influye el plástico PEAD reciclado molido como agregado fino en la</p>	<p><b>Objetivo general</b></p> <p>Determinar la influencia del plástico PEAD reciclado molido como agregado fino en un concreto <math>f'c = 210 \text{ Kg/cm}^2</math>.</p> <p><b>Objetivos Específicos:</b></p> <p>a. Determinar la influencia del plástico PEAD reciclado molido como agregado fino en la trabajabilidad de un concreto <math>f'c = 210 \text{ Kg/cm}^2</math>.</p> <p>b. Determinar la influencia del plástico PEAD reciclado molido</p>	<p><b>Antecedentes</b></p> <p><b>A NIVEL INTERNACIONAL</b></p> <p>- <b>PEÑALOZA (2015)</b> “Comportamiento mecánico de una mezcla para concreto reciclado usando neumáticos triturados como reemplazo de 10% y 30% del volumen del agregado fino para un concreto con fines de uso estructural”, Universidad Católica de Colombia.</p> <p><b>A NIVEL NACIONAL</b></p> <p>- <b>ECHEVARRÍA (2017)</b> “Ladrillos de concreto con plástico</p>	<p><b>Hipótesis general</b></p> <p>Los plásticos PEAD reciclados molidos como agregado fino influyen en el concreto <math>f'c=210 \text{ Kg/Cm}^2</math>.</p> <p><b>Hipótesis específicas:</b></p> <p>a. Los plásticos PEAD reciclados molidos como agregado fino influyen en la trabajabilidad de un concreto <math>f'c=210 \text{ Kg/Cm}^2</math>.</p>	<p><b>Identificación de Variables:</b></p> <p>a. <b>Variable 1:</b> Plástico PEAD reciclado molido.</p> <p><b>Dimensiones:</b></p> <p>1. Granulometría.</p> <p>b. <b>Variable 2:</b> Concreto <math>f'c=210 \text{ Kg/cm}^2</math>.</p> <p><b>Dimensiones:</b></p> <p>1. Trabajabilidad. 2. Elasticidad. 3. Resistencia.</p>	<p><b>Tipo :</b> Aplicada.</p> <p><b>Nivel:</b> Explicativo.</p> <p><b>Método de investigación:</b> Científico.</p> <p><b>Diseño:</b> Experimental</p> <p><b>GE: 01 X02</b></p> <p><b>GC: 03 04</b></p> <p><b>Dónde:</b></p> <p><b>G.E:</b> Grupo Experimental.</p> <p><b>G.C:</b> Grupo de Control</p> <p><b>O1 y O3:</b> Pre Test.</p> <p><b>O2 y O4:</b> Post Test.</p> <p><b>X:</b> Manipulación de la Variable Independiente.</p>

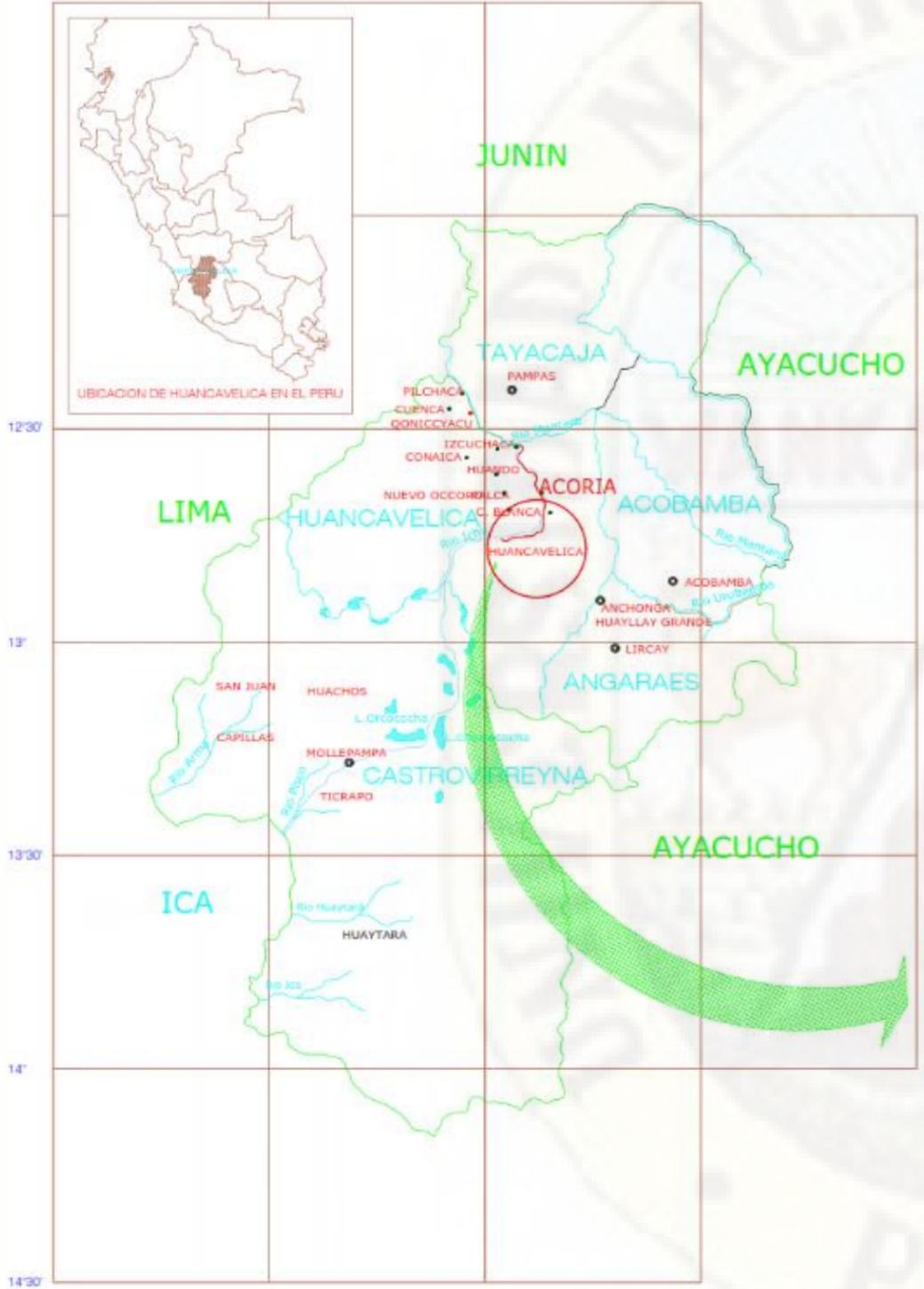
<p>elasticidad de un concreto <math>f'c = 210 \text{ Kg/cm}^2</math>?</p> <p>c. ¿Influye el plástico PEAD reciclado molido como agregado fino en la resistencia en un concreto <math>f'c = 210 \text{ Kg/cm}^2</math>?</p>	<p>como agregado fino en la elasticidad de un concreto <math>f'c = 210 \text{ Kg/cm}^2</math>.</p> <p>c. Determinar la influencia del plástico PEAD reciclado molido como agregado fino en la resistencia de un concreto <math>f'c = 210 \text{ Kg/cm}^2</math>.</p>	<p>PET reciclado”, Universidad Nacional de Cajamarca.</p> <p>- <b>VILLANUEVA Y YARANGA (2015)</b>. “Estudio de la influencia de fibras de polipropileno provenientes de plásticos reciclados en concreto de <math>f'c=210 \text{ Kg/Cm}^2</math> en el Distrito de Lircay, provincia de Angaraes, Región Huancavelica”, Universidad Nacional de Huancavelica.</p> <p>- <b>REYNA Y SILVA (2016)</b>. “Reutilización de Plástico PET, papel y Bagazo de caña de azúcar, como materia prima en la elaboración de concreto ecológico para la construcción de viviendas de bajo costo”, Universidad Nacional de Trujillo.</p>	<p>b. Los plásticos PEAD reciclados molidos como agregado fino influyen en la elasticidad de un concreto <math>f'c=210 \text{ Kg/Cm}^2</math>.</p> <p>c. Los plásticos PEAD reciclados molidos como agregado fino influyen en la resistencia de un concreto <math>f'c=210 \text{ Kg/Cm}^2</math>.</p>		<p><b>Población y muestra:</b></p> <p><b>-Población</b></p> <p>30 probetas de ensayo.</p> <p><b>-Muestra</b></p> <p>20 probetas de ensayo con un diseño de mezcla con factor de seguridad y 10 probetas con un diseño de mezcla sin factor de seguridad.</p> <p><b>Tipo de muestreo</b></p> <p>La muestra, de la cual se extraerá los datos para su posterior tratamiento será probabilístico aleatorio estratificado.</p>
--	--	--	---	--	--

		<p><b>- HUAMANI Y MONGE (2018).</b> “Estudio de la influencia de la fibra de cabuya en concretos de <math>f'c=175</math> Kg/Cm<sup>2</sup> y <math>f'c=210</math> Kg/Cm<sup>2</sup> en el distrito de Lircay y provincia de Angaraes”, Universidad Nacional de Huancavelica.</p>		
--	--	--	--	--



**APÉNDICE II: PLANO DE UBICACIÓN DE CANTERAS**

# LOCALIZACIÓN



## UBICACIÓN

Localidad : CHUÑURANRA  
 Distrito : ASCENSIÓN  
 Provincia : HUANCAVELICA  
 Departamento : HUANCAVELICA

UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCAVELICA



ESCUELA PROFESIONAL DE ING. CIVIL - HVCA

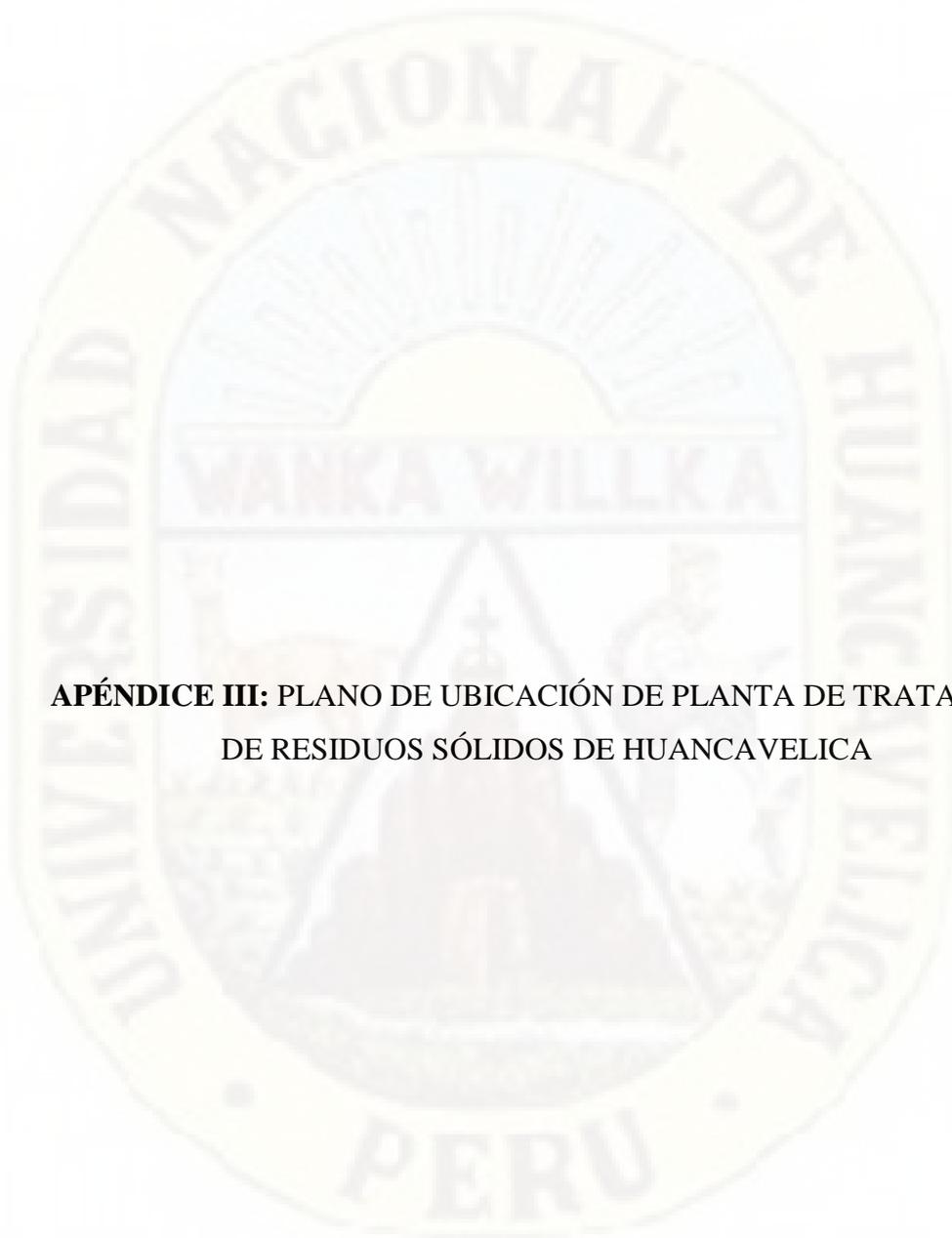


REGION HUANCAVELICA  
 PROVINCIA HUANCAVELICA  
 DISTRITO ASCENSIÓN  
 LUGAR CHUÑURANRA

TESISTAS:  
 -BACH. HUGO RAUL SAENZ ACOSTA  
 -BACH. ISAI DENIS RAMOS GONZALES

PROYECTO:  
 "PLÁSTICO PEAD RECICLADO MOLIDO COMO AGREGADO FINO PARA UN CONCRETO f'c = 210 Kg/cm<sup>2</sup>"

PLANO:	UBICACION LOCALIZACION
LABEL:	<b>UL- 01</b>
TIPO:	INDICADA
FECHA:	MAYO - 2020



**APÉNDICE III: PLANO DE UBICACIÓN DE PLANTA DE TRATAMIENTO  
DE RESIDUOS SÓLIDOS DE HUANCAVELICA**





**APÉNDICE IV: PANEL FOTOGRÁFICO DE ENSAYOS DE  
LABORATORIO DESARROLLADOS**

**Figura 12.** Fraccionamiento de los componentes del concreto.



**Figura 13.** Lavado de los materiales que componen el concreto.



**Figura 14.** Secado de los materiales a una temperatura superficial de los materiales.



**Figura 15.** Saturación de la piedra chancada.



**Figura 16.** Ensayos a fin de determinar el peso específico de la arena gruesa.



**Figura 17.** Ensayos a fin de determinar el peso específico del plástico PEAD.



**Figura 18.** Ensayos a fin de determinar el peso específico del plástico PEAD.



**Figura 19.** Ensayo de granulometría de los materiales.



**Figura 20.** Diseño de mezcla y determinación de los asentamientos.



**Figura 21.** Proceso de preparación del concreto.



Figura 22. Curado de los testigos de concreto.



Figura 23. Muestras de concreto con un porcentaje de menos 5% del peso del agregado fino.



Figura 24. Muestras de concreto con el mismo porcentaje de peso del agregado fino.



Figura 25. Muestras de concreto con un porcentaje de 5% más del peso del agregado fino.



**Figura 26.** Muestras extraídas del tanque de curado en los tiempos estimados de 7, 14 y 28 días respectivamente.



**Figura 27.** Ensayo de rotura de las muestras de concreto (muestra patrón) a fin de determinar la resistencia a la compresión.



**Figura 28.** Ensayo de rotura de las muestras de concreto (muestra patrón) a fin de determinar la resistencia a la compresión.



**Figura 29.** Ensayo de rotura de las muestras de concreto (5% menos de plásticos PEAD) a fin de determinar la resistencia a la compresión.



**Figura 30.** Ensayo de rotura de las muestras de concreto (5% menos de plásticos PEAD) a los 14 días a fin de determinar la resistencia a la compresión.

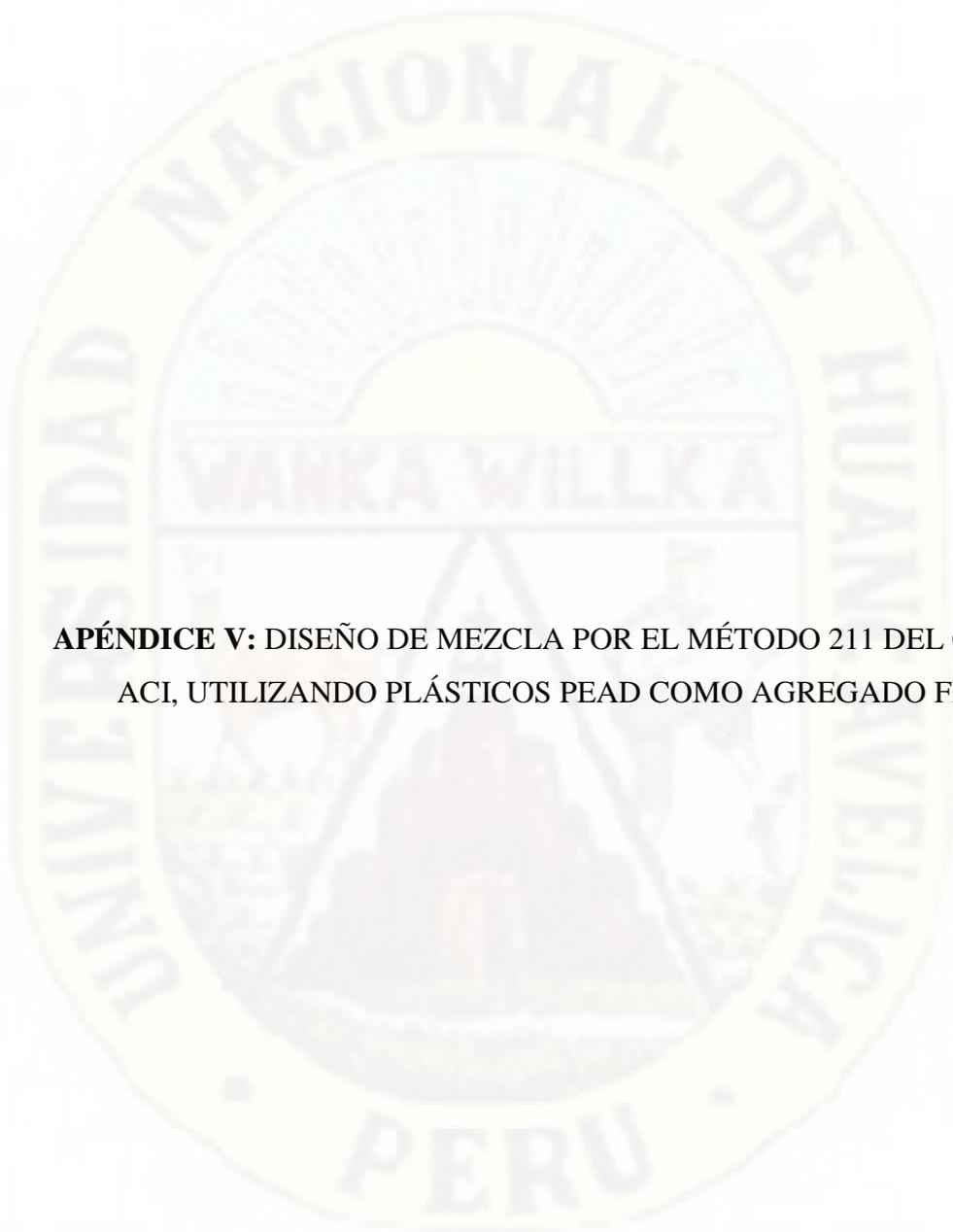


**Figura 31.** Ensayo de rotura de las muestras de concreto (5% más de plásticos PEAD) a los 7 y 14 días a fin de determinar la resistencia a la compresión.



**Figura 32.** Ensayo de rotura de las muestras de concreto (con igual porcentaje de plásticos PEAD que la muestra patrón) a los 14 días a fin de determinar la resistencia a la compresión.





**APÉNDICE V: DISEÑO DE MEZCLA POR EL MÉTODO 211 DEL COMITÉ  
ACI, UTILIZANDO PLÁSTICOS PEAD COMO AGREGADO FINO**



## DISEÑO DE MEZCLAS DE CONCRETO CON FS



DATOS: Resistencia a la compresión	:	<b>210</b>	Kg/cm <sup>2</sup>
Tamaño máximo del agregado	:	1	Pulgadas
Asentamiento (Slump)	:	3	Pulgadas

Datos proporcionados por el solicitante:

	arena gruesa	piedra chancada
DESCRIPCIÓN:	<b>AGREGADO FINO</b>	<b>AGREGADO GRUESO</b>
P. U. Suelto seco	1,499 Kg/m <sup>3</sup>	1,343 Kg/m <sup>3</sup>
P. U. Compactado seco	1,719 Kg/m <sup>3</sup>	1,487 Kg/m <sup>3</sup>
Peso Específico	2.56 gr/cm <sup>3</sup>	2.61 gr/cm <sup>3</sup>
Humedad	0.74 %	1.03 %
Absorción	3.80 %	2.11 %
Módulo de Fineza	2.78	

Resultados: según el método de la A.C.I.

<b>1. Asentamiento</b>	3 Pulgadas	
<b>2. Tamaño máximo nominal</b>	3/4" Pulgadas	
<b>3. Volumen de agua de diseño</b>	205 Litros por metro cúbico.	Tabla 2 ACI
<b>4. Aire atrapado</b>	2.0 % exposición severa.	Tabla 2 ACI
<b>5. Relación agua-cemento</b>	W/C = 0.560 (Sin aire incorporado)	Tabla 3 ACI
	Resistencia de Diseño = 294.00 Kg/cm <sup>3</sup>	
	( $f'_{cr} = f'_c + 84.00$ )	
<b>6. Contenido de cemento</b>	C = 366.00 Kg/m <sup>3</sup>	9.00 Bolsas
<b>7. Contenido de agregado grueso</b>	b/bo = 0.62	Tabla 5 ACI
	entonces agregado grueso seco = 924.783	
<b>8. Contenido de agregado fino</b>		
Volumen absoluto cemento	= 0.116 m <sup>3</sup>	
Volumen absoluto agua	= 0.205 m <sup>3</sup>	
Volumen absoluto aire	= 0.020 m <sup>3</sup>	
Volumen absoluto agregado grueso	= 0.354 m <sup>3</sup>	
	<b>0.695</b> m <sup>3</sup>	
Volumen absoluto agregado fino	= 0.305 m <sup>3</sup>	
Agregado fino seco	= 780.80 Kg/m <sup>3</sup>	
<b>9. Corrección por humedad</b>		
Peso fino húmedo	= 786.58 Kg/m <sup>3</sup>	

Peso grueso húmedo	=	934.31 Kg/m <sup>3</sup>
Humedad superficial fino	=	-3.06 %
Humedad superficial grueso	=	-1.08 %
Aporte de agua en agregado fino	=	-23.89 Lts/m <sup>3</sup>
Aporte de agua en agregado grueso	=	-9.99 Lts/m <sup>3</sup>
Aporte total de agua por los agregados	=	-33.88 Lts/m <sup>3</sup>
Agua efectiva	=	238.88 Lts/m <sup>3</sup>

DESCRIPCIÓN	DISEÑO	OBRA
Cemento Portland tipo I 42.50	366.00 Kg/m <sup>3</sup>	366.00 Kg/m <sup>3</sup>
Agua	205.00 Lts/m <sup>3</sup>	238.88 Lts/m <sup>3</sup>
Agregado fino	780.80 Kg/m <sup>3</sup>	786.58 Kg/m <sup>3</sup>
Agregado grueso	924.78 Kg/m <sup>3</sup>	934.31 Kg/m <sup>3</sup>
Aire atrapado	2.00 %	2.00 %

RELACIÓN EN PESO DE OBRA:

$\frac{366.00}{366.00}$	:	$\frac{786.58}{366.00}$	:	$\frac{934.31}{366.00}$	
1.00	:	2.149	:	2.553	26.54 LTS/SACO

**CANTIDAD DE MATERIALES POR METRO CÚBICO DE CONCRETO:**  
**f'c = 210 Kg/cm<sup>2</sup>**

Cemento Portland tipo I 42.50 Kg.	=	8.612 Bolsas
Agua	=	<b>0.239 M3</b>
Agregado fino (Arena gruesa)	=	<b>0.525 M3</b>
Agregado grueso (Piedra chancada 3/4")	=	<b>0.695 M3</b>

Con esta cantidad en M3 de los materiales para un diseño de mezcla con factor de seguridad se determina las cantidades en peso de los materiales.

MATERIAL	PATRÓN	PATRÓN	PEAD =%	PEAD - 5 %	PEAD + 5 %	PEAD + 10 %
	M3	KG	KG	KG	KG	KG
Cemento	0.0477	2.03	2.03	2.03	2.03	2.03
agua	0.0013	1.27	1.27	1.27	1.27	1.27
Ag. fino	0.0028	4.17	1.20	1.14	1.26	1.32
Ag. grueso	0.0037	4.95	4.95	4.95	4.95	4.95
Peso total de una probeta		<b>12.41</b>	<b>9.45</b>	<b>9.39</b>	<b>9.51</b>	<b>9.57</b>



## DISEÑO DE MEZCLAS DE CONCRETO SIN FS



DATOS: Resistencia a la compresión : **210** Kg/cm<sup>2</sup>  
 Tamaño máximo del agregado : 1 Pulgadas  
 Asentamiento (Slump) : 3 Pulgadas

Datos proporcionados por el solicitante:

DESCRIPCIÓN:	arena gruesa		piedra chancada	
	AGREGADO FINO		AGREGADO GRUESO	
P. U. Suelto seco :	1,499	Kg/m <sup>3</sup>	1,343	Kg/m <sup>3</sup>
P. U. Compactado seco :	1,719	Kg/m <sup>3</sup>	1,487	Kg/m <sup>3</sup>
Peso Específico :	2.56	gr/cm <sup>3</sup>	2.61	gr/cm <sup>3</sup>
Humedad :	0.74	%	1.03	%
Absorción :	3.80	%	2.11	%
Módulo de Fineza :	2.78			

Resultados: según el método de la A.C.I.

1. **Asentamiento** 3 Pulgadas
2. **Tamaño máximo nominal** 3/4" Pulgadas
3. **Volumen de agua de diseño** 205 Litros por metro cúbico. Tabla 2 ACI
4. **Aire atrapado** 2.0 % exposición severa. Tabla 2 ACI
5. **Relación agua-cemento** W/C = 0.684 (Sin aire incorporado) Tabla 3 ACI
- valor recomendable Resistencia de Diseño = 210.00 Kg/cm<sup>3</sup>  
 (  $f'_{cr} = f'_c + 0.00$  )
6. **Contenido de cemento** C = 300.00 Kg/m<sup>3</sup> 7.00 Bolsas
7. **Contenido de agregado grueso** b/bo = 0.62 Tabla 5 ACI  
 entonces agregado grueso seco = 924.783
8. **Contenido de agregado fino**

Volumen absoluto cemento	=	0.095 m <sup>3</sup>
Volumen absoluto agua	=	0.205 m <sup>3</sup>
Volumen absoluto aire	=	0.020 m <sup>3</sup>
Volumen absoluto agregado grueso	=	0.354 m <sup>3</sup>
		<b>0.674</b> m <sup>3</sup>
Volumen absoluto agregado fino	=	0.326 m <sup>3</sup>
Agregado fino seco	=	834.56 Kg/m <sup>3</sup>
9. **Corrección por humedad**

Peso fino húmedo	=	840.74 Kg/m <sup>3</sup>
------------------	---	--------------------------

Peso grueso húmedo	=	934.31 Kg/m <sup>3</sup>
Humedad superficial fino	=	-3.06 %
Humedad superficial grueso	=	-1.08 %
Aporte de agua en agregado fino	=	-25.54 Lts/m <sup>3</sup>
Aporte de agua en agregado grueso	=	-9.99 Lts/m <sup>3</sup>
Aporte total de agua por los agregados	=	-35.53 Lts/m <sup>3</sup>
Agua efectiva	=	240.53 Lts/m <sup>3</sup>

DESCRIPCIÓN	DISEÑO	OBRA
Cemento Portland tipo I 42.50	300.00 Kg/m <sup>3</sup>	300.00 Kg/m <sup>3</sup>
Agua	205.00 Lts/m <sup>3</sup>	240.53 Lts/m <sup>3</sup>
Agregado fino	834.56 Kg/m <sup>3</sup>	840.74 Kg/m <sup>3</sup>
Agregado grueso	924.78 Kg/m <sup>3</sup>	934.31 Kg/m <sup>3</sup>
Aire atrapado	2.00 %	2.00 %

RELACIÓN EN PESO DE OBRA:

$$\frac{300.00}{300.00} : \frac{840.74}{300.00} : \frac{934.31}{300.00}$$

$$1.00 : 2.802 : 3.114 \quad 34.36 \text{ LTS/SACO}$$

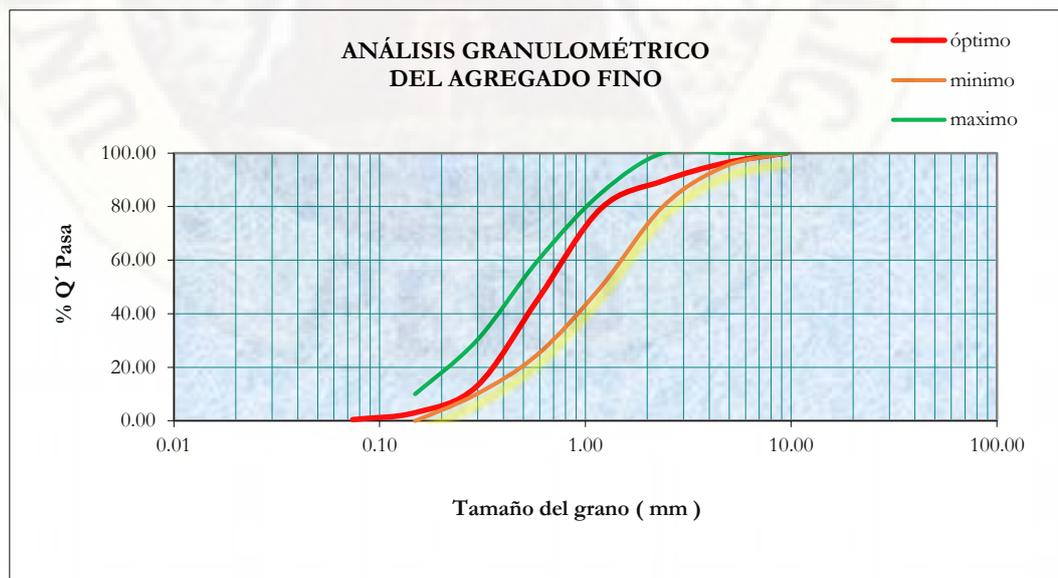
**CANTIDAD DE MATERIALES POR METRO CÚBICO DE CONCRETO:**  
**f'c = 210 Kg/cm<sup>2</sup>**

Cemento Portland tipo I 42.50 Kg.	=	7.059 Bolsas
Agua	=	<b>0.241 M3</b>
Agregado fino (Arena gruesa)	=	<b>0.561 M3</b>
Agregado grueso (Piedra chancada 3/4")	=	<b>0.695 M3</b>

Con esta cantidad en M3 de los materiales para un diseño de mezcla con factor de seguridad se determina las cantidades en peso de los materiales.

MATERIAL	PATRÓN	PATRÓN	PEAD =%	PEAD - 5 %	PEAD + 5 %	PEAD + 10 %
	M3	KG	KG	KG	KG	KG
Cemento	0.0371	1.58	1.58	1.58	1.58	1.58
agua	0.0013	1.27	1.27	1.27	1.27	1.27
Ag. fino	0.0030	4.46	1.28	1.22	1.35	1.41
Ag. grueso	0.0037	4.95	4.95	4.95	4.95	4.95
Peso total de una probeta		<b>12.26</b>	<b>9.09</b>	<b>9.02</b>	<b>9.15</b>	<b>9.22</b>

<b>Proyecto:</b>	<b>"PLÁSTICO PEAD RECICLADO COMO AGREGADO FINO PARA EL CONCRETO F'C=210 KG/CM2"</b>						
<b>Proyectistas:</b>	<b>Bach. RAMOS GONZALES DENIS ISAI Bach. SÁENZ ACOSTA HUGO RAÚL</b>						
<b>Ensayo:</b>	<b>ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO DE LA ARENA GRUESA</b>						
<b>Norma:</b>							
<b>Fecha de muestreo:</b>	17/09/2018						
<b>Norma:</b>	NTP 400.012 C33 ASTM						
<b>Chequeado por:</b>	Laboratorio de mecánica de suelos - UNH						
<b>Peso inicial de la muestra seca</b>	<b>3000.00</b>					<b>Gr</b>	
D60 =	<b>0.88</b>	Cu =	1.872	Ubicación:			
D30 =	<b>0.68</b>	Cc =	1.118	Estrato:			
D10 =	<b>0.47</b>	Mf =	2.7321	Potencia:			
Tamiz	Abertura (mm)	Retenido		% Q' Pasa	% Q' Ret. Acumulado	% Q' Pasa mín.	% Q' Pasa máx.
		(gr.)	(%)				
3/8	9.500	0	0.00	100.00	0.00	100.00	100.00
4	4.760	112.2	3.74	96.26	3.74	95.00	100.00
8	2.380	200.08	6.67	89.59	10.41	80.00	100.00
16	1.190	308.00	10.27	79.32	20.68	50.00	85.00
30	0.590	1011.06	33.70	45.62	54.38	25.00	60.00
50	0.297	980.23	32.67	12.95	87.05	10.00	30.00
100	0.149	297.05	9.90	3.05	96.95	0.00	10.00
200	0.074	78.04	2.60	0.44	99.56		
<b>Cazoleta</b>		<b>13.34</b>	0.44		100.00		
<b>Total retenido:</b>		3000.00	100.00				



<b>Proyecto:</b>	<b>"PLÁSTICO PEAD RECICLADO COMO AGREGADO FINO PARA EL CONCRETO F'C=210 KG/CM2"</b>						
<b>Proyectistas:</b>	Bach. RAMOS GONZALES DENIS ISAI Bach. SÁENZ ACOSTA HUGO RAÚL						
<b>Ensayo:</b>	<b>ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO DEL PLÁSTICO</b>						
<b>Norma:</b>	NTP 400.012 C33 ASTM						
<b>Fecha de muestreo:</b>	17/09/2018						
<b>Chequeado por:</b>	Laboratorio de mecánica de suelos - UNH						
<b>Peso inicial de la muestra seca</b>	<b>1000.00</b>					<b>Gr</b>	
D60 =	<b>0.94</b>	Cu =	4.273				
D30 =	<b>0.56</b>	Cc =	1.516				
D10 =	<b>0.22</b>	Mf =	2.7815				
<b>Tamiz</b>	<b>Abertura (mm)</b>	<b>Retenido</b>		<b>% Q' Pasa</b>	<b>% Q' Ret. Acumulado</b>	<b>% Q' Pasa mín.</b>	<b>% Q' Pasa máx.</b>
		<b>(gr.)</b>	<b>(%)</b>				
3/8	9.500	0	0.00	100.00	0.00	100.00	100.00
4	4.760	43.45	4.35	95.66	4.35	95.00	100.00
8	2.380	119.67	11.97	83.69	16.31	80.00	100.00
16	1.190	125.81	12.58	71.11	28.89	50.00	85.00
30	0.590	274.76	27.48	43.63	56.37	25.00	60.00
50	0.297	217.00	21.70	21.93	78.07	10.00	30.00
100	0.149	160.93	16.09	5.84	94.16	0.00	10.00
200	0.074	49.40	4.94	0.90	99.10		
<b>Cazoleta</b>		<b>8.98</b>	<b>0.90</b>		<b>100.00</b>		
<b>Total retenido:</b>		<b>1000.00</b>	<b>100.00</b>				

**ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DEL PLÁSTICO PEAD**

— ÓPTIMO  
— MÁXIMO  
— MÍNIMO

% Q' Pasa

Tamaño del grano ( mm )

<b>Proyecto:</b>	<b>"PLÁSTICO PEAD RECICLADO COMO AGREGADO FINO PARA EL CONCRETO F'C=210 KG/CM2"</b>					
<b>Proyectistas:</b>	Bach. RAMOS GONZALES DENIS ISAI Bach. SÁENZ ACOSTA HUGO RAÚL					
<b>Ensayo:</b>	<b>ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO PIEDRA CHANCADA</b>					
<b>Norma:</b>						
<b>Fecha de muestreo:</b>	17/09/2018					
<b>Norma:</b>	NTP 400.012 C33 ASTM					
<b>Chequeado por:</b>	Laboratorio de mecánica de suelos - UNH					
<b>Peso inicial de la muestra seca</b>	<b>4000.00</b>				<b>Gr</b>	
D60 =	<b>30.12</b>	Cu =	3.000	Ubicación:		
D30 =	<b>20.08</b>	Cc =	1.333	Estrato:		
D10 =	<b>10.04</b>			Potencia:		
Tamiz	Abertura (mm)	Retenido		% Q' Pasa	% Q' Pasa mín.	% Q' Pasa máx.
		(gr.)	(%)			
2 1/2	63.500	<b>0.00</b>	0.00	100.00		
2	50.800	<b>0.00</b>	0.00	100.00		
1 1/2	38.100	<b>0.00</b>	0.00	100.00	100.00	100.00
1	25.400	<b>279.21</b>	6.98	93.02	90.00	100.00
3/4	19.050	<b>1799.87</b>	45.00	48.02	40.00	85.00
1/2	12.700	<b>976.92</b>	24.42	23.60	10.00	40.00
3/8	9.500	<b>595.32</b>	14.88	8.72	0.00	15.00
4	4.760	<b>340.36</b>	8.51	0.21	0.00	5.00
<b>Cazoleta</b>		<b>8.32</b>	0.21			
<b>Total retenido:</b>		4000.00	100.00			

