

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



TESIS PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL

**“UTILIZACIÓN DE MATERIALES PLÁSTICOS DE RECICLAJE COMO ADICIÓN
EN LA ELABORACION DE CONCRETO EN LA CIUDAD DE NUEVO
CHIMBOTE”**

Tesistas:

Bach. LÉCTOR LAFITTE, Michael Anthony

Bach. VILLARREAL BRRAGÁN, Edson Jesús

Asesor:

Ing. OLASCUAGA CRUZADO, Cirilo Lino.

NUEVO CHIMBOTE – PERÚ

2017

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



TESIS PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL

**“UTILIZACIÓN DE MATERIALES PLÁSTICOS DE RECICLAJE COMO ADICIÓN
EN LA ELABORACION DE CONCRETO EN LA CIUDAD DE NUEVO
CHIMBOTE”**

REVISADO Y APROBADA POR:

ING. CIRILO LINO OLASCUAGA CRUZADO

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



TESIS PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL

“UTILIZACIÓN DE MATERIALES PLÁSTICOS DE RECICLAJE COMO ADICIÓN EN LA ELABORACION DE CONCRETO EN LA CIUDAD DE NUEVO CHIMBOTE”

Sustentada por el siguiente jurado:

Ing. Julio César Rivasplata Díaz
Presidente

Ing. Cirilo Lino Olascuaga Cruzado
Secretario

Ing. Janet Verónica Saavedra Vera
Integrante

DEDICATORIA

A Dios, por permitirme llegar a este momento tan especial en mi vida. Por los triunfos y los momentos difíciles que me han enseñado a valorarlo y la fortaleza espiritual para seguir superándome día a día.

A mi mamá Yanira Lafitte Moreno, la mujer más maravillosa, por ser única, por ser un ejemplo a seguir y apoyarme incondicionalmente en todos mis proyectos y metas.

A mi Papá Edgar Léctor Burgos, por el apoyo en los momentos más difíciles y por sus palabras de aliento para seguir adelante en todo momento.

A mi hijo Iker Sebastián, por su inmenso cariño, muestras de afecto y darme ánimos para alcanzar esta meta tan importante en mi carrera profesional.

Michael Anthony Léctor Lafitte.

DEDICATORIA

A Dios, por permitirme culminar mis estudios superiores iluminándome y guiándome en cada momento para seguir por el camino correcto y así lograr alcanzar mis metas.

A mis padres, Jesús Villarreal y Lucy Barragán, quienes se esfuerzan a diario y me brindan incondicionalmente su apoyo moral y económico.

A mis hermanas, Roxana, Eliana, Adela y a mis demás familiares, que son parte importante en mi vida y por ayudarme de alguna manera a seguir adelante durante mi vida universitaria.

A mis amigos y todas aquellas personas especiales, que en algún momento me aconsejaron, estuvieron a mi lado en los días buenos y malos dándome fuerzas y alegrías necesarias para seguir adelante.

Edson Jesús Villarreal Barragán.

AGRADECIMIENTO

A Dios, por guiar nuestros pasos y estar a nuestro lado ayudándonos a cumplir nuestros objetivos ya que sin el nada sería posible.

A nuestros Padres, por hacer un esfuerzo en apoyarnos en toda la etapa de nuestras vidas.

A la Universidad Nacional Del Santa, por darnos la oportunidad de pertenecer a esta casa de estudios.

A nuestro Asesor, el Ing. Lino Olascuaga, que estuvo en todo momento con nosotros guiándonos y apoyándonos con lo que necesitábamos.

A los docentes de la Escuela Académico Profesional de Ingeniería Civil, por compartir sus enseñanzas durante nuestra vida universitaria.

Michael Anthony y Edson Jesús

INDICE GENERAL

	Pág.
INTRODUCCION.....	18
CAPITULO I: ASPECTOS GENERALES.....	19
1.1. Antecedentes.....	20
1.2. Planteamiento del Problema.....	22
1.3. Justificación del Problema.....	22
1.4. Objetivos.....	23
1.4.1. Objetivo General.....	23
1.4.2. Objetivos Específicos.....	23
1.5. Hipótesis.....	24
1.6. Variables.....	24
1.6.1. Variable Independiente.....	24
1.6.2. Variable Dependiente.....	24
1.7. Diseño de la Investigación.....	24
1.8. Estrategia de Trabajo.....	25
1.8.1. Método de Estudio.....	25
1.8.2. Unidad de Análisis.....	25
1.8.3. Técnicas e Instrumentos.....	25
1.8.4. Técnica de Procesamiento de Datos.....	26
CAPITULO II: MARCO TEORICO.....	27
2.1. Concreto.....	28
2.1.1. Definición.....	28
2.1.2. Componentes del Concreto.....	30
2.1.3. Propiedades del Concreto.....	32

	Pág.
2.1.3.1 Concreto Fresco.....	33
2.1.3.1.1. Trabajabilidad.....	33
2.1.3.1.2. Segregación.....	34
2.1.3.1.3. Exudación.....	35
2.1.3.1.4. Contracción.....	35
2.1.3.2. Concreto Endurecido.....	36
2.1.3.2.1. Elasticidad.....	36
2.1.3.2.2. Resistencia.....	37
2.1.3.2.3. Extensibilidad.....	39
2.2. Cemento Portland.....	39
2.2.1. Fabricación.....	41
2.2.2. Tipos de Cemento Portland.....	42
2.2.2.1. Cemento Tipo I.....	42
2.2.2.2. Cemento Tipo II.....	43
2.2.2.3. Cemento Tipo III.....	44
2.2.2.4. Cemento Tipo IV.....	44
2.2.2.5. Cemento Tipo V.....	45
2.2.2.6. Cemento Tipo MS.....	45
2.2.2.7. Cemento Pozolánico.....	46
2.2.3. Requisitos del Cemento Portland.....	48
2.2.3.1. Requisitos Físicos.....	48
2.2.3.2. Requisitos Químicos.....	49
2.3. Agregados.....	49
2.3.1. Agregado Fino.....	50
2.3.2. Agregado Grueso.....	53
2.3.3. Características.....	57

	Pág.
2.3.3.1. Peso Unitario.....	57
2.3.3.2. Peso Específico.....	58
2.3.3.3. Absorción.....	60
2.3.3.4. Humedad.....	60
2.4. Agua.....	61
2.5. Tereftalato de Polietileno (PET).....	66
2.5.1. Definición.....	66
2.5.2. Comparación del PET con otros Materiales.....	67
2.5.3. Aplicaciones del PET.....	68
2.5.4. Propiedades Físicas del PET.....	69
CAPITULO III: METODOS Y MATERIALES.....	70
3.1. Método de Investigación.....	71
3.2. Obtención en el Laboratorio de Muestras representativas.....	71
3.3. Peso Unitario de los Agregados.....	72
3.3.1. Peso Unitario Suelto.....	72
3.3.2. Peso Unitario Varillado.....	73
3.4. Análisis Granulométrico de Agregados Gruesos y Finos.....	74
3.5. Peso específico y Absorción del Agregado Fino.....	75
3.6. Peso específico y Absorción del Agregado Grueso.....	76
3.7. Contenido de Humedad.....	78
3.8. Diseño de Mezcla.....	78
3.8.1. Selección de Resistencia.....	80
3.8.2. Calculo de la Desviación Estándar.....	80
3.8.3. Calculo de la Resistencia Promedio Requerida.....	83

	Pág.
3.8.4. Selección del Tamaño Máximo Nominal del Agregado Grueso.....	85
3.8.5. Selección del Asentamiento (SLUMP).....	87
3.8.6. Selección del Agua de Mezclado y Contenido de Aire.....	88
3.8.7. Selección de la Relación Agua Cemento (a/c).....	92
3.8.8. Calculo de Contenido de Cemento.....	96
3.8.9. Selección del Agregado.....	96
3.8.10. Ajuste por Humedad de Agregado.....	98
3.9. Procedimiento para la Elaboración del Concreto Adicionando Materiales Plásticos de Reciclaje PET.....	101
3.10. Elaboración y Curado de Especímenes de Concreto en el Laboratorio.....	101
3.10.1. Procedimiento para la preparación de la Mezcla.....	105
3.10.2. Asentamiento.....	117
3.10.3. Resistencia a la Compresión.....	120
CAPITULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIONES.....	125
4.1. Resultados de los Ensayos Realizados.....	126
4.2. Resultado de los Ensayos Realizados a los Agregados utilizados en el Laboratorio para el cálculo de los Diseños de Mezcla.....	127
4.2.1. Agregado Grueso (Piedra Chancada – Cantera “La Sorpresa”).....	127
4.2.2. Agregado Fino (Arena Gruesa – Cantera “La Sorpresa”).....	127
4.2.3. Diseño de Mezcla.....	127
4.3. Resultados de dosificación y Características de Testigos de Concreto realizados en el Laboratorio.....	128
4.3.1. Muestra de Concreto Patrón Sin Adición de PET.....	128

	Pág.
4.3.2. Muestra de Concreto Con Adición de 5% de PET.....	128
4.3.3. Muestra de Concreto Con Adición de 10% de PET.....	128
4.3.4. Muestra de Concreto Con Adición de 15% de PET.....	129
4.4. Comparación entre Testigos de Concreto Con y Sin Adición de PET.....	136
4.5. Análisis y Discusión de Resultados.....	138
4.5.1. Sobre la Hipótesis.....	138
4.5.2. Características del Concreto durante su Elaboración.....	139
4.5.2.1. Testigos de Concreto Patrón elaborados Sin Adición de PET.....	139
4.5.2.2. Testigos de Concreto elaborados Con Adición de PET.....	139
CAPITULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	140
Conclusiones.....	141
Recomendaciones.....	143
CAPITULO VI: BIBLIOGRAFIA.....	144
Referencias Bibliográficas.....	145
Páginas de Internet.....	146
CAPITULO VII: ANEXOS.....	147
Anexo I: Propiedades Físicas de los Agregados.....	148
Anexo II: Diseño de Mezcla.....	153
Anexo III: Panel Fotográfico.....	164

INDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 01: Ficha Técnica de Cemento Portland.....	41
Tabla 02: Requisitos Físicos del Cemento.....	48
Tabla 03: Requisitos Químicos del Cemento.....	49
Tabla 04: Limites Granulométricos del A. Fino.....	51
Tabla 05: Limites Granulométricos del A. Grueso.....	55
Tabla 06: Límites permisibles máximos del Agua.....	62
Tabla 07: Requisitos del Concreto para el Agua de Mezcla.....	65
Tabla 08: Limites Opcionales para el Agua de Mezcla.....	66
Tabla 09: Sistema de Identificación de Envases PET.....	67
Tabla 10: Propiedades Físicas del PET.....	69
Tabla 11: Factor de Corrección.....	83
Tabla 12: Resistencia a la Compresión Promedio.....	84
Tabla 13: Porcentaje que pasa.....	85
Tabla 14: Asentamientos Recomendados para varios tipos de construcción.....	88
Tabla 15: Volumen Unitario del agua.....	89
Tabla 16: Volumen Unitario de agua.....	91
Tabla 17: Relación Agua/Cemento por Resistencia.....	93
Tabla 18: Máxima Relación Agua/Cemento permisible para concretos sometidos a condiciones especiales de exposición.....	95

	Pág.
Tabla 19: Volumen de Agregado Grueso por Unidad de Volumen de concreto.....	97
Tabla 20: Numero de Capas requeridas en la elaboración de Mezclas.....	110
Tabla 21: Diámetro de Varilla y número de golpes por capa.....	114
Tabla 22: Tolerancias.....	122

INDICE DE CUADROS

	Pág.
Cuadro 01: Resultados de los ensayo realizados al Agregados Grueso.....	130
Cuadro 02: Resultado de los ensayos realizados al Agregado Fino.....	130
Cuadro 03: Resultado del Diseño de Mezcla de los Agregados Utilizados en Obra.....	131
Cuadro 04: Resultado del ensayo de Resistencia a la Compresión de los testigos elaborados Sin contenido de materiales plásticos PET.....	132
Cuadro 05: Resultado del ensayo de Resistencia a la Compresión de los testigos elaborados Con 5% de contenido de materiales plásticos PET.....	133
Cuadro 06: Resultado del ensayo de Resistencia a la Compresión de los testigos elaborados Con 10% de contenido de materiales plásticos PET.....	134
Cuadro 07: Resultado del ensayo de Resistencia a la Compresión de los testigos elaborados Con 15% de contenido de materiales plásticos PET.....	135

INDICE DE FIGURAS Y GRAFICOS

Pág.

FIGURAS

Figura 01: Proporciones Típicas en volumen absoluto de los componentes del concreto.....	31
Figura 02: Comparación de PET con otros elementos.....	68
Figura 03: Cuarteo en una superficie plana y limpia.....	72
Figura 04: Molde para determinar el asentamiento.....	117
Figura 05: Varilla Compactadora.....	118
Figura 06: Procedimiento para el asentamiento del concreto fresco.....	120
Figura 07: Esquemas de Tipos de Fallas.....	124

GRAFICOS

Grafico 01: Resultado comparativo de testigos de concreto con resistencia $F'c$ 175kg/cm ²	136
Grafico 02: Resultado comparativo de testigos de concreto con resistencia $F'c$ 210kg/cm ²	137

RESUMEN

La presente investigación tiene como objetivo principal elaborar concreto adicionando plásticos de reciclaje PET.

La tesis consiste en desarrollar una investigación de tipo Aplicativo – Experimental para elaborar concreto de $f'c:175 \text{ Kg/cm}^2$ y 210 Kg/cm^2 a partir de plásticos PET, procedente de envases descartables de bebidas, en combinación con cemento portland como conglomerante, agregado grueso (piedra) y agregado fino (arena gruesa), que luego se depositará en probetas para que se pruebe la resistencia a la compresión a los 7, 14 y 28 días luego de estar sumergidos en agua durante ese tiempo, para luego ser comparadas con una muestra patrón.

Con esta investigación se busca poder elaborar un nuevo concreto ecológico a la vez más ligero que el convencional y nos ayude a generar un entorno más limpio, y crear una nueva cultura de reciclaje, reduciendo la contaminación ambiental generada por los plásticos PET que tardan más de 500 años en descomponerse.

ABSTRACT

The present research has as main objective to elaborate concrete adding plastics of recycling PET.

The thesis consists in developing an Application - Experimental type research to elaborate f'c concrete: 175 Kg/cm² and 210 Kg/cm² from PET plastics, from disposable beverage containers, in combination with portland cement as a binder, Aggregate (stone) and fine aggregate (coarse sand), which will then be deposited in test pieces to test the compressive strength at 7, 14 and 28 days after being submerged in water during that time, and then compared With a standard sample.

This research seeks to develop a new ecological concrete that is both lighter than conventional and helps us generate a cleaner environment, and create a new recycling culture, reducing the environmental pollution generated by PET plastics that take more than 500 years to decompose.

INTRODUCCION

En el presente trabajo se desarrolla la investigación del comportamiento físico-mecánicas que puede alcanzar el concreto adicionando material de botellas plásticas trituradas PET (tereftalato de polietileno), comparando los resultados obtenidos con una mezcla patrón.

La investigación en el sector construcción es cada vez más agresiva, innovadora, tecnológica y eficaz, con el propósito de poder mejorar y garantizar edificaciones más resistentes, livianas y a un menor costo económico, obteniendo beneficios y mejorando la calidad ambiental de nuestra ciudad.

En los últimos años se han realizado investigaciones sobre el uso de desechos sólidos en el concreto, cada uno de los estudios plantean un efecto específico dependiente del material utilizado y su proporción, los mismos han podido no solo disminuir los costos económicos y modificar propiedades del concreto con muchos beneficios en la construcción, sino que también ayudar a la eliminación de desperdicios y contaminación.

En este sentido los materiales plásticos, considerados como contaminantes por ser no biodegradables, pueden constituirse como una alternativa no sólo para alcanzar dicho equilibrio, sino además para minimizar el impacto económico ; al presentar propiedades como: durabilidad y resistencia a la corrosión, efectividad como aislante de frío, calor y ruido, bajo costo frente a otros materiales constructivos, fácil limpieza y mantenimiento, sencilla manipulación y rápida instalación, livianos y con una gran vida útil por ser altamente reutilizables y reciclables.

CAPITULO I:

ASPECTOS GENERALES

1. ASPECTOS GENERALES

1.1. Antecedentes

El tema de la utilización de los desechos sólidos cobra gran relevancia en la actualidad, por lo cual es fundamental continuar el proceso de concientización acerca de reducir, transformar y reciclar los materiales que se adquieren para satisfacer las necesidades personales, los cuales en su mayoría son artículos que tienen componentes plásticos que tardan años para descomponerse.

En relación con lo anterior, la presente investigación se enfoca en analizar mezclas de concreto con diferentes proporciones de agregados plásticos, con el fin de reutilizar este material que hoy es uno de los que causan mayor impacto ambiental en el país y a nivel mundial.

La utilización de plásticos reciclados para la elaboración de elementos constructivos nació de una inquietud ecológica del equipo de investigación, que reconoce la importancia del reciclado para reducir la cantidad de residuos que se entierran sin utilidad alguna, o que se acumulan y queman en basurales a cielo abierto produciendo contaminación.

En el Centro Experimental de la Vivienda Económica se ha desarrollado desde su fundación en 1967 y hasta el presente diversos sistemas constructivos, con la finalidad de obtener viviendas económicas aptas para nuestra realidad latinoamericana.

A lo largo de su historia, se usó materiales tradicionales en forma no tradicional (por ejemplo, en el sistema constructivo Ferro cemento se

utilizaron placas de poliestireno expandido como paredes de una vivienda al combinarse con una malla de acero y recibir la aplicación de un revoque, etc.).

Con la nueva tecnología que se presenta en este trabajo se invierte este concepto, puesto que se utilizan materiales no tradicionales (plásticos reciclados) en forma tradicional.

En algunos países se han construido casas con botellas como lo es ; en Bolivia (6 viviendas) , argentina (1 vivienda) , Uruguay (2 viviendas) ; se pretende construir 20 casas más en Argentina y una en México.

En los últimos 25 años en el Perú, los materiales termoplásticos y el PVC de procedencia industrial y de post-consumo han sido reciclados. Al no existir en el Perú una planta petroquímica y una falta de verdadero control del medio ambiente, se ha permitido que surjan 500 compañías dedicadas al proceso del reciclaje plástico cuyo interés tiene más propósitos económicos que de carácter ambientalista. De estas 500 compañías, el 75% se dedican al molido de plásticos y el otro 25% utilizan ésta materia prima para la fabricación de productos finales como son: baldes, galoneras, tuberías, calzado, etc.

Lo que es con respecto al Perú no hay inicios de proyectos en la cual se emplea el rehúso de plástico en la elaboración de materiales de construcción.

1.2. Planteamiento del Problema

Considerando los antecedentes que se presentan en los últimos tiempos respecto al deterioro ambiental en el Perú y el resto del mundo, así también como el aumento de población y demanda en el sector de la construcción, surge como proyecto la reutilización de material plástico PET para ser manejado en una mezcla de concreto convencional, conociendo el comportamiento de la mezcla de concreto con adición de agregado no convencional, con el propósito de poder darle un uso adecuado al concreto con los resultados de los análisis estudiados en el laboratorio, teniendo en cuenta que el mismo puede llegar a disminuir el costo y la densidad del concreto, así como resolver porcentualmente los problemas del medio ambiente.

¿En qué medida influye la incorporación de PET, triturado en las características físicas y mecánicas de concreto convencional en la Localidad de Nuevo Chimbote?

1.3. Justificación del Problema

Este trabajo de investigación tiene como meta contribuir con el mejoramiento del medio ambiente de la mano con un mejor estilo de vida, aportando beneficios en el sector de la construcción.

A lo largo de muchos años, debido al avance de la tecnología, los hábitos de gran parte de la población mundial se han modificado, predominando prácticas como el consumismo, lo cual ha conducido a enfrentarse a

una producción desmedida de productos hechos o derivados del plástico para satisfacer las necesidades personales, sin tener en cuenta al 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 mezclas de concreto más adecuadas, eficientes, livianas, ecológicas y económicas.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo General

- Elaborar concreto convencional adicionando materiales plásticos reciclados triturado (PET)

1.4.2. Objetivos Específicos

- Evaluar las características y propiedades físicas y mecánicas del PET en una mezcla de concreto convencional.
- Definir y dosificar la mezcla patrón y las mezclas de concreto con diferentes porcentajes de agregado plástico.
- Cuantificar y analizar con varias dosificaciones de plástico los cambios en las propiedades físicas y mecánicas de las mezclas como el asentamiento, densidad del concreto, contenido de aire, resistencia a compresión.

1.5. Hipótesis

Si utilizamos materiales plásticos de reciclaje triturados (PET) como adición en la elaboración de concreto, se obtendrá un concreto con mejores propiedades físicas y mecánicas.

1.6. Variables

1.6.1. Variable Independiente

- Dosificaciones de Concreto con PET triturado.

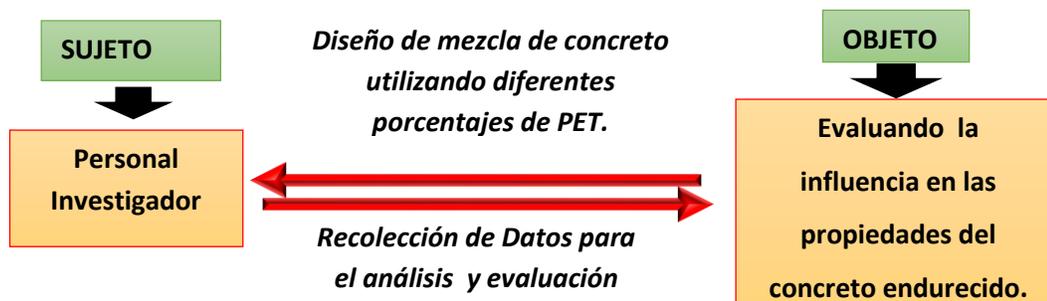
1.6.2. Variable Dependiente

- Concreto elaborado adicionando materiales plásticos de reciclaje (PET) triturado.

1.7. Diseño de la Investigación

Diseño Experimental

La presente investigación es el tipo experimental debido a que el estudio se realizara con la manipulación de las variables, es decir se obtendrá información de la actividad intencional (laboratorio), para luego obtener respuestas con el uso de fórmulas y procesadores de datos, para luego formular los cuadros de resultados.



1.8. Estrategia de trabajo

1.8.1. Método de Estudio

Para la elaboración del presente trabajo se realizará la siguiente secuencia:

- Se tomará referencia bibliográfica y se buscara información acerca de concreto adicionando material plásticos de reciclaje.
- Se realizará un estudio de las propiedades físicas del material plástico de reciclaje.
- Se realizará los estudios del agregado fino (Arena Gruesa).
- Se realizara los estudios del agregado Grueso (Piedra $\frac{3}{4}$ ”)
- Se elaborará una muestra de concreto convencional.
- Partiendo de la muestra patrón se adicionara porcentualmente el material plástico de reciclaje en relación al peso del cemento.
- Se recogerán los datos para ser analizados y evaluados para así finalmente realizar el informe final.

1.8.2. Unidad de Análisis

- Especímenes de concreto.

1.8.3. Técnicas e Instrumentos de recolección de datos

- Hoja o ficha de registro de datos.
- Mezcladora, Balanzas, máquina de Compresión, Tamices, etc.

1.8.4. Técnicas de procesamiento de datos

- Análisis de laboratorio.
- Se realizarán tablas y gráficos para la confrontación de datos obtenidos en las diversas muestras.
- Trabajo de gabinete (cálculos matemáticos y verificaciones).

CAPITULO II:

MARCO TEORICO

2. MARCO TEORICO

2.1. Concreto

2.1.1. Definición

El concreto es el material constituido por la mezcla en ciertas proporciones de cemento, agua, agregados y opcionalmente aditivos, que inicialmente denota una estructura plástica y moldeable, y que posteriormente adquiere una consistencia rígida con propiedades aislantes y resistentes, lo que lo hace un material ideal para la construcción. **(Pasquel Carbajal, 1998-1999, p.10)**

De esta definición se desprende que se obtiene un producto híbrido, que conjuga en mayor o en menor grado las características de los componentes, que bien proporcionados, aportan una o varias de sus propiedades individuales para constituir un material que manifiesta un comportamiento particular y original. **(Pasquel Carbajal, 1998-1999, p.10)**

En consecuencia, para poder dominar el uso de este material, hay que conocer no solo las manifestaciones del producto resultante, sino también la de los componentes y su interrelación, ya que son en primera instancia los que le confiere su particularidad. **(Pasquel Carbajal, 1998-1999, p.11)**

Como cualquier material, se contrae al bajar la temperatura, se dilata si esta aumenta, se ve afectado por sustancias agresivas y se rompe si es sometido a esfuerzos que superan sus posibilidades, por lo que

responde perfectamente a las leyes físicas y químicas. Luego pues, la explicación a sus diversos comportamientos siempre responde a alguna de estas leyes; y la no obtención de los resultados esperados, se debe al desconocimiento de la manera cómo actúan en el material, lo que constituye la utilización artesanal del mismo (por lo que el barco de la practica sin el timón de la ciencia nos lleva a rumbos que no podemos predecir) o porque durante su empleo no se respetaron o se obviaron las consideraciones técnicas que nos da el conocimiento científico sobre él. **(Pasquel Carbajal, 1998-1999, p.11)**

Actualmente el concreto es el material de construcción de mayor uso en nuestro país. Si bien la calidad final del concreto depende en forma muy importante del conocimiento del material y de la calidad profesional del ingeniero, el concreto es, en general, desconocido en mucho de sus siete grandes aspectos: naturaleza, materiales, propiedades, selección de las proporciones, procesos de puesta en obra, control de calidad e inspección, y mantenimiento de los elementos estructurales. **(Rivva López, 2000, p.8).**

2.1.2. Componentes del concreto

La tecnología del concreto moderna define para este material cuatro componentes: Cemento, agua, agregados y aditivos como elementos activos y el aire como elemento pasivo. **(Rivva López, 2000, p.16).**

Si bien la definición tradicional consideraba a los aditivos como un elemento opcional, en la práctica moderna mundial estos constituyen un ingrediente normal, por cuanto está científicamente demostrada la conveniencia de su empleo en mejorar condiciones de trabajabilidad, resistencia y durabilidad, siendo a la larga una solución más económica si se toma en cuenta el ahorro en mano de obra y equipo de colocación y compactación, mantenimiento, reparaciones e incluso en reducción de uso de cemento. **(Rivva López, 2000, p.16).**

Ya hemos establecido conceptualmente la necesidad de conocer a profundidad las propiedades de los componentes del concreto, pero debemos puntualizar que de todos ellos, el que amerita un conocimiento especial es el cemento. Si analizamos la Fig.1 en que se esquematizan las proporciones típicas en volumen absoluto de los componentes del concreto. Concluiremos en que el cemento es el ingrediente activo que interviene en menor cantidad, pero sin embargo es el que define las tendencias del comportamiento. **(Pasquel Carbajal, 1998-1999, p.15)**

Aire =	1 % a 3 %
Cemento =	7 % a 15 %
Agua =	15 % a 22 %
Agregados =	60 % a 75 %

Figura 01. Proporciones típicas en volumen absoluto de los componentes del concreto

Fuente: Tópicos de Tecnología del Concreto-Enrique Pasquel.

Pese a que en nuestra formación en Ingeniería Civil todos asimilamos los conceptos básicos de química, no es usual que entre los colegas exista mucha afición hacia este campo (como es también el caso nuestro). Sin embargo es necesario tener el conocimiento general de las consecuencias de las reacciones que se producen, por lo que durante el desarrollo de estos temas insistiremos en los aspectos prácticos ates que en el detalle de fórmulas y combinaciones químicas si no aportan información de aplicación directa para el Ingeniero Civil. **(Pasquel Carbajal, 1998-1999, p.16)**

2.1.3. Propiedades del concreto

Para cada caso particular de empleo se requieren en el concreto determinadas propiedades. Es por ello que el conocimiento de todas y cada una de las propiedades del concreto, si como de la interrelación entre ellas, es de importancia para el ingeniero el cual debe decidir, para cada caso particular de empleo del concreto, la mayor o menor importancia de cada una de ellas. **(Rivva López, 2000, p.22).**

Al analizar las propiedades del concreto, el ingeniero debe recordar las limitaciones de las mismas en función de las múltiples variables que pueden actuar sobre el concreto modificándolo. En este análisis es importante que el ingeniero recuerde que el concreto, como cualquier otro material, puede sufrir adicionalmente modificaciones en el tiempo y que puede claudicar por fallas atribuibles a problemas de durabilidad, aun cuando su resistencia haya sido la adecuada. **(Rivva López, 2000, p.22).**

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

2.1.3.1. Concreto Fresco

2.1.3.1.1. Trabajabilidad

Está definida por la mayor o menor dificultad para el mezclado, transporte, colocación y compactación del concreto. Su evaluación es relativa, por cuanto depende realmente de las facilidades manuales o mecánicas de que se disponga durante las etapas del proceso, ya que un concreto que puede ser trabajable bajo ciertas condiciones de colocación y compactación, no necesariamente resulta tal si dichas condiciones cambian. **(Rivva López, 2000, p.31).**

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

Por lo general un concreto es trabajable en la mayoría de circunstancias, cuando durante su desplazamiento mantiene siempre una película de mortero de al menos $\frac{1}{4}$ " sobre el agregado grueso. **(Rivva López, 2000, p.31).**

El método tradicional de medir la trabajabilidad ha sido desde hace muchos años el “Slump” o asentamiento con el cono de Abrams, ya que permite una aproximación numérica a esta propiedad del concreto, sin embargo debe tenerse clara la idea que es más una prueba de uniformidad que de trabajabilidad,

pues es fácilmente demostrable que se pueden obtener concretos con igual slump pero trabajabilidades notablemente diferentes para las mismas condiciones de trabajo. (**Rivva López, 2000, p.31**).

2.1.3.1.2. Segregación

Las diferencias de densidades entre los componentes del concreto provocan una tendencia natural a que las partículas más pesadas desciendan, pero en general, la densidad de la pasta con los agregados finos es solo un 20% menor que la de los gruesos (para agregados normales) lo cual sumado a su viscosidad produce que el agregado grueso quede suspendido e inmerso en la matriz. (**Rivva López, 2000, p.32**).

Cuando la viscosidad del mortero se reduce por insuficiente concentración de la pasta, mala distribución de las partículas o granulometría deficiente, las partículas gruesas se separan del mortero y se produce lo que se conoce como segregación. En los concretos con contenidos de piedra > del 55% en peso con respecto al peso total del agregados, es frecuente confundir la segregación con la apariencia normal de estos concretos, lo cual es muy simple de verificar obteniendo dos muestras de concreto fresco de sitios diferentes y comparar el contenido de gruesos por lavado, que no deben inferir en más del 6%. (**Rivva López, 2000, p.31**).

2.1.3.1.3. Exudación

Propiedad por la cual una parte del agua de mezcla se separa de la masa y se sube hacia la superficie del concreto.

Es un caso típico de sedimentación en que los sólidos se asientan dentro de la masa plástica. El fenómeno está gobernado por las leyes físicas del flujo de un líquido en un sistema capilar, antes que el efecto de la viscosidad y la diferencia de densidades. **(Rivva López, 2000, p.31).**

Está influenciada por la cantidad de finos en los agregados y la finura del cemento, por lo que cuanto más fina es la molienda de este y mayor es el porcentaje de material menor que la malla N°100, la exudación será menor pues se retiene el agua de la mezcla. **(Rivva López, 2000, p.32).**

La exudación se produce inevitablemente en el concreto, pues es una propiedad inherente a su estructura, luego lo importante es evaluarla y controlarla en cuanto a los efectos negativos que pudiera tener. **(Rivva López, 2000, p.32).**

2.1.3.1.4. Contracción

Es una de las propiedades más importantes en función de los problemas de fisuración que acarrea con frecuencia. **(Rivva López, 2000, p.33).**

Ya hemos visto que la pasta de cemento necesariamente se contrae debido a la reducción del volumen original de agua por

combinación química, y a esto se le llama contracción intrínseca que es un proceso irreversible. **(Rivva López, 2000, p.33).**

Pero además existe otro tipo de contracción inherente también a la pasta de cemento y es la llamada contracción por secado, que es la responsable de la mayor parte de los problemas de fisuración, dado que ocurre tanto en el estado plástico como en el endurecido si se permite la pérdida de agua en la mezcla. Este proceso no es irreversible, ya que si se repone el agua perdida por secado, se recupera gran parte de la contracción acaecida. **(Rivva López, 2000, p.33).**

Esta propiedad se tratara con mucha amplitud al tocar el tema de los cambios volumétricos en el concreto, siendo lo fundamental en este capítulo, el tener claro que el concreto de todas maneras se contrae y si no tomamos las medidas adecuadas indefectiblemente se fisura, y en muchos casos esta figuración es inevitable por lo que solo resta preverla y orientarla. **(Rivva López, 2000, p.34).**

2.1.3.2. Concreto endurecido

2.1.3.2.1. Elasticidad

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

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

Los módulos de elasticidad normales oscilan entre 250,000 a 350,000 Kg/cm² y están en relación directa con la resistencia en compresión del concreto y en relación inversa con la relación agua/cemento.

Conceptualmente, las mezclas más ricas tienen módulos de Elasticidad mayores y mayor capacidad de deformación que las mezclas pobres. La norma que establece como determinar el Modulo de elasticidad estático del concreto es la ASTM C-469. **(Rivva López, 2012).**

2.1.3.2.2. Resistencia

Es la capacidad de soportar cargas y esfuerzos, siendo su mejor comportamiento en compresión en comparación con la tracción, debido a las propiedades adherentes de la pasta de cemento. **(Rivva López, 2012)**

Depende principalmente de la concentración de la pasta de cemento, que se acostumbra expresar en términos de la relación Agua/Cemento en peso. **(Rivva López, 2012)**

La afectan además los mismos factores que influyen en las características resistentes de la pasta, como son la temperatura y el tiempo, aunados a otros elementos adicionales constituidos por el tipo y características resistentes del cemento en particular que se use y de la calidad de los agregados, que complementan la estructura del concreto. **(Rivva López, 2012)**

Un factor indirecto pero no por eso menos importante en la resistencia, lo constituye el curado ya que es el complemento del proceso de hidratación sin el cual no se lleguen a desarrollar completamente las características resistentes del concreto. **(Rivva López, 2012)**

Los concretos normales usualmente tienen resistencias en compresión del orden de 100 a 400 Kg/cm², habiéndose logrado optimizaciones de diseños sin aditivos que han permitido obtener resistencias sobre los 700 Kg/cm². **(Rivva López, 2012)**

Tecnologías con empleo de los llamados polímeros, constituidos por aglomerantes sintéticos que se añaden a la mezcla, permiten obtener resistencias en compresión que

bordean los 1500 kg/cm², y todo parece indicar que el desarrollo de estas técnicas permitirá en el futuro superar incluso estos niveles de resistencia. *(Rivva López, 2012)*

2.1.3.2.3. Extensibilidad

Es la propiedad del concreto de deformarse sin agrietarse. Se define en función de la deformación unitaria máxima que puede asumir el concreto sin que ocurran fisuraciones.

Depende de la elasticidad y del denominado flujo plástico, constituido por la deformación que tiene el concreto bajo carga constante en el tiempo. *(Rivva López, 2012)*

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

La microfisuración aparece normalmente alrededor del 60% del esfuerzo último, y a una deformación unitaria de 0.0012, y en condiciones normales la fisuración visible aparece para 0.003 de deformación unitaria. *(Rivva López, 2012)*

2.2. Cemento Portland

Se define como cemento a los materiales pulverizados que poseen la propiedad que, por adición de una cantidad conveniente de agua, forman una pasta conglomerante capaz de endurecer tanto bajo el agua como el

aire y formar compuestos estables.

(<http://www.cementospacasmayo.com.pe/>).

- El cemento portland normal es el producto obtenido por la pulverización del clinker portland con la adición eventual de sulfato de calcio. Se admite la adición de otros productos siempre que no excedan el 1% en peso del total y que la Norma correspondiente determine que su inclusión no afecta las propiedades del cemento resultante. Los productos adicionados deberán ser pulverizados conjuntamente con el clinker.
- El cemento empleado en la preparación del concreto deberá cumplir con los requisitos de las siguientes de las siguientes normas:
- Los cementos Pórtland normal tipo I,II y V respectivamente con las Normas ITINTEC 334.038, ó 334.040; o con las Normas ASTM C 150.
- Los cementos Pórtland puzolánicos Tipo 1P y 1PM deberán cumplir con los requisitos de la norma ITINTEC 334.044, o con la Norma ASTM C 595.

Tabla 01: Ficha técnica Cemento Extraforte

COMPOSICIÓN QUÍMICA		CPSAA	Requisito NTP 334.090
MgO	%	2.2	Máximo 6.0
SO3	%	2.4	Máximo 4.0

PROPIEDADES FÍSICAS		CPSAA	Requisito NTP 334.090
Contenido de Aire	%	4	Máximo 12
Expansión en Autoclave	%	0.07	Máximo 0.80
Superficie Especifica	cm2/g	5640	NO ESPECIFICA
Retenido M325	%	4.2	NO ESPECIFICA
Densidad	g/mL	2.92	NO ESPECIFICA

Resistencia Compresión :

Resistencia Compresión a 3días	MPa (Kg/cm2)	23.4 (239)	Mínimo 13.0 (Mínimo 133)
Resistencia Compresión a 7días	MPa (Kg/cm2)	29.6 (302)	Mínimo 20.0 (Mínimo 204)
Resistencia Compresión a 28días	MPa (Kg/cm2)	36.7 (374)	Mínimo 25.0 (Mínimo 255)

Tiempo de Fraguado Vicat :

Fraguado Inicial	min	134	Mínimo 45
Fraguado Final	min	290	Máximo 420

Fuente: Cementos Pacasmayo

2.2.1. Fabricación

Para la fabricación del cemento portland se procede, esquemáticamente de la siguiente manera:

La materia prima, material calizo y material arcilloso, se tritura, mezcla y muele hasta reducirla a un polvo fino. Los procedimientos de mezcla y molido pueden efectuarse en seco o húmedo. La dosificación de los materiales debe ser la adecuada a fin de evitar perjuicio en la calidad.

(<http://www.cementospacasmayo.com.pe/>).

El polvo fino pasa a un horno rotatorio donde es calentado lentamente hasta el punto de clinkerización. En la etapa inicial de proceso de calentamiento el agua y el anhídrido carbónico son expulsados. Al acercarse la mezcla a las regiones más calientes del horno se producen las reacciones químicas entre los constituyentes de la mezcla cruda. Durante estas reacciones se forman nuevos compuestos, algunos de los cuales alcanzan el punto de fusión.

(<http://www.cementospacasmayo.com.pe/>).

El producto resultante, clinker, cae a uno de los diversos tipos de enfriadores, o se deja enfriar al aire. Posteriormente se combina con un porcentaje determinado de yeso y el conjunto se muele hasta convertirlo en un polvo muy fino al que se conoce como cemento portland.

(<http://www.cementospacasmayo.com.pe/>).

2.2.2. Tipos de cemento portland

2.2.2.1. Cemento Tipo I

El cemento Tipo I se conoce como el cemento normal de uso común. Se emplea en todas aquellas obras para las cuales no se desea una protección especial, o las condiciones de trabajo de la obra no involucran condiciones climáticas severas ni el contacto con sustancias perjudiciales como los sulfatos. En este tipo de cemento el silicato tricalcico (C3S) se encarga de generar una notable resistencia a edades cortas, como consecuencia, genera

también la mayor cantidad de calor de hidratación. Por su parte el silicato dicálcico (C₂S) se encarga de generar resistencia a edades tardías. En este cemento los aluminatos se hidratan también de una forma rápida pero coadyuvan de una manera menos significativa en la resistencia final, sin embargo son compuestos potencialmente reactivos, pues en caso de la presencia de sulfatos en solución forman sulfoaluminatos, los cuales producen expansiones que llegan a desintegrar totalmente al concreto o a cualquier otro producto a base de cemento.

(<http://www.cementospacasmayo.com.pe/>).

2.2.2.2. Cemento Tipo II

El cemento Tipo II se conoce como cemento Portland de moderado calor de hidratación y de moderada resistencia a los sulfatos, esto se explica por la disminución del silicato tricálcico y de aluminato tricálcico con respecto al cemento normal. El cemento Tipo II se emplea en estructuras moderadamente masivas como grandes columnas o muros de concreto muy anchos, el objetivo es el de evitar que el concreto se agriete debido a los cambios térmicos que sufre durante la hidratación.

También se aconseja usar este tipo de cemento en estructuras donde se requiere una protección moderada contra la acción de los

sulfatos, como en cimentaciones y muros bajo tierra, donde las concentraciones de sulfatos no sean muy elevadas.

(<http://www.cementospacasmayo.com.pe/>).

2.2.2.3. Cemento Tipo III

El cemento Tipo III se conoce como de resistencia rápida, este tipo de cemento se usa cuando hay la necesidad de desencofrar rápido con el objeto de acelerar otros trabajos y poner en servicio la obra lo más pronto posible. La resistencia que desarrolla durante los primeros siete días es notable debido principalmente a la presencia de altos contenidos de silicato tricálcico y bajos contenidos de silicato dicálcico.

Además de la composición química, los cementos adquieren la propiedad de ganar resistencia rápidamente cuando la finura a la que se muele el clinker es mayor que la del cemento normal.

(<http://www.cementospacasmayo.com.pe/>).

2.2.2.4. Cemento Tipo IV

El cemento Tipo IV o de bajo calor de hidratación desarrolla su resistencia más lentamente que el cemento normal debido a los bajos contenidos de silicato tricálcico, por esta misma razón el calor que desarrolla durante la etapa de fraguado es mucho menor que el del cemento normal.

El cemento Tipo IV se emplea en la construcción de estructuras masivas como las presas de concreto, donde se requiere controlar

el calor de hidratación a un mínimo con el objeto de evitar el agrietamiento. (<http://www.cementospacasmayo.com.pe/>).

2.2.2.5. Cemento Tipo V

El cemento Tipo V o resistente a los sulfatos se emplea en todo tipo de construcciones que estarán expuestas al ataque severo de sulfatos en solución o que se construirán en ambientes industriales agresivos. Estos cementos se consideran resistentes a los sulfatos debido a su bajo contenido de aluminato tricalcico, se caracterizan por su ganancia moderada de resistencia a edades tempranas, pero al igual que el cemento de bajo calor desarrolla buena resistencia a edades tardías gracias a sus altos contenidos de silicato dicalcico. (<http://www.cementospacasmayo.com.pe/>).

2.2.2.6. Cemento Tipo MS

El cemento Tipo MS se emplea donde sean importantes las precauciones contra el ataque moderado por los sulfatos, tales como en estructuras de drenaje, donde las concentraciones de sulfatos en el agua subterráneo son mayores que lo normal pero no llegan a ser severas.

Este cemento se usa de la misma manera que el cemento portland Tipo II. Como el Tipo II, se debe preparar el concreto de cemento Tipo MS con baja relación agua materiales cementantes para que se garantice la resistencia a los sulfatos.

Es un cemento portland con adiciones de escoria de altos hornos, el cual tiene una actividad potencial brindando al concreto moderado calor de hidratación, moderada resistencia a los sulfatos y otras características.

Este cemento es más resistente a la agresión química, ya que debido a la acción química de sus adiciones activas es más resistente cuando se encuentra en contacto con suelos húmedos que contienen sulfatos y sustancias salitrosas que deterioran el concreto. Es adecuado para estructuras, cimentaciones y pisos.

Este cemento desarrolla con el tiempo una resistencia mecánica superior a la del cemento de uso común.

Está compuesto por 30% de escoria, 5% yeso y 65% clinker. Debido a sus propiedades de moderado calor de hidratación y moderada resistencia a los sulfatos se compara con el cemento tradicional Tipo III que tiene requisitos físicos iguales, a excepción del tiempo de fraguado que para el Cemento tipo MS es de 420 minutos y para el Cemento Tipo II de 375 minutos.

El cemento Tipo MS esta normado por la ASTM C 1157 y en el Perú por la NTP 334.082. (<http://www.cementospacasmayo.com.pe/>).

2.2.2.7. Cemento Puzolánico

Este tipo de cemento es de mayor resistencia a los agentes químicos, se caracteriza por desarrollar menos calor al fraguar,

tener menor dilatación y ser más impermeable que el Cemento Portland, disminuyendo la exudación y segregación.

Su nombre deriva de la puzolana, una fina ceniza volcánica de la región del Lazio y la Campania, cuyo nombre se debe a la localidad de Pozzuoli, cercana a Nápoles, situada en las faldas del Vesubio. Posteriormente se ha generalizado el nombre para los cementos con cenizas volcánicas de otros lugares.

Cuando la puzolana se mezcla con cal (en la relación de 2 a 1) se comporta como el cemento puzolánico, y permite la preparación de una buena mezcla en grado de fraguar incluso bajo agua.

Esta propiedad permite el empleo de hormigón resistente al embate del agua, ya entendido por los romanos durante el imperio: El antiguo puerto de Cosa fue construido con puzolana mezclada con cal apenas antes de su uso y colada bajo agua, mediante un tubo, para depositarla en el fondo sin que se diluya en el mar. Los tres muelles aún perduran después de 2100 años.

La puzolana es una piedra de naturaleza ácida, muy reactiva, al ser muy porosa y puede obtenerse a bajo precio.

Un cemento puzolánico está formado por:

- 55 a 70% de clinker Portland
- 30 a 45% de puzolana
- 2 a 4% de yeso

Este cemento es ideal para ser usado en climas calurosos o para coladas de grandes dimensiones.

Nota: De los Cementos Portland mencionados en el Perú solo se fabrican: Cemento Tipo I, Cemento tipo II, Cemento Tipo V, Cemento tipo MS y Cemento Pozolánico.

2.2.3. Requisitos del Cemento Portland

2.2.3.1. Requisitos Físicos

Tabla 02. Requisitos físicos del cemento

REQUISITOS FÍSICOS	MÉTODO DE ENSAYO APLICABLE	TIPOS DE CEMENTO ^A				
		IS(<70), IP, IL, I(PM) IT(P<S<70) IT(P≥S) IT(P>L) IT(L≥P) IC _o	IS(<70)(MS) IP(MS) IT(P<S<70)(MS) IT(P≥S)(MS)	IS(<70)(HS) IT(P<S<70)(HS) IP(HS) IT(P≥S)(HS)	IS(≥70), IT(S≥70)	IP(LH), ^A IT(P≥S)(LH) ^A IL(LH) ^A IT(<S<70)(LH) ^A IT(P>L)(LH) ^A IT(L≥S)(LH) ^A IT(L≥P)(LH) ^A
Finura	334.002/334.045	B	B	B	B	B
Expansión en autoclave, max. %	334.004	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80
Contracción en autoclave, max. % ^C	334.004	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20
Tiempo de fraguado, ensayo Vicat. ^D	334.006					
Fraguado, minutos, no menos de		45	45	45	45	45
Fraguado, horas, no más de		7	7	7	7	7
Contenido de aire del mortero, volumen %, max.	334.048	12	12	12	12	12
Resistencia a compresión, mín , MPa	334.051					
3 días		13,0	11,0	11,0
7 días		20,0	18,0	18,0	5,0	11,0
28 días		25,0	25,0	25,0	11,0	21,0
Calor de hidratación, kJ/kg (Cal/g), ^F máx.	334.064					
7 días		290(70) ^E	290(70) ^E	290(70) ^E	...	250(60)
28 días		330(80) ^E	330(80) ^E	330(80) ^E	...	290(70)

- A. No aplicable.
- B. Promedio de las últimas cinco muestras consecutivas.
- C. Los resultados de ensayo representan los valores más recientes y son suministrados solamente para información.

Fuente: Norma Técnica Peruana NTP 334.090, INDECOPI 2013

2.2.3.2. Requisitos Químicos

Tabla 03. Requisitos químicos del cemento

REQUISITOS QUÍMICOS	MÉTODO DE ENSAYO APLICABLE	TIPOS DE CEMENTO			
		IS(<70) IT(P<S<70) IT(L<S<70)	IS(≥70) IT(S≥70)	IP, I(PM) IT(P≥S) IT(P≥L)	ICo IL IT(L≥S) IT(L≥P)
Óxido de magnesio (MgO), máx. %	334.086	6,0	...
Azufre como trióxido de azufre (SO ₃), máx. ^A %	334.086	3,0	4,0	4,0	3,0
Azufre (S), máx. %	334.086	2,0	2,0
Residuo insoluble, máx. % ^B	334.086	1,0	1,0
Pérdida por ignición, máx. %	334.086	3,0 ^C	4,0 ^C	5,0 ^C	10,0

A. No aplicable.

B. Promedio de las últimas cinco muestras consecutivas.

Fuente: Norma Técnica Peruana NTP 334.090, INDECOPI 2013

2.3. Agregados

Se definen como los elementos inertes del concreto que son aglomerados por la pasta de cemento para formar la estructura resistente. Ocupan alrededor de las $\frac{3}{4}$ partes del volumen total y tienen una importancia primordial en el producto final. **(Pasquel Carbajal, 1998-1999, p.69)**

La denominación de inertes es relativa, porque si bien no intervienen directamente en las reacciones químicas entre el cemento y el agua, para producir el aglomerante o pasta de cemento, sus características afectan notablemente el producto resultante, siendo en algunos casos tan importantes como el cemento para el logro de ciertas propiedades particulares de resistencia, conductibilidad, durabilidad, etc.

Están constituidos usualmente por partículas minerales de arenisca, granito, basalto, cuarzo o combinaciones de ellos, y sus características físicas y químicas tienen influencia en prácticamente todas las propiedades del concreto. **(Pasquel Carbajal, 1998-1999, p.69)**

La distribución volumétrica de las partículas tiene gran trascendencia en el concreto para obtener una estructura densa y eficiente así como una trabajabilidad adecuada. Está científicamente demostrado que debe haber un ensamble casi total entre las partículas, de manera que las más pequeñas ocupen los espacios entre las mayores y el conjunto este unido por la pasta de cemento. **(Pasquel Carbajal, 1998-1999, p.69)**

2.3.1. Agregado Fino

Se define como agregado fino a aquel, proveniente de la desintegración natural o artificial de las rocas, que pasa el Tamiz ITINTEC 9,5mm (3/8”) y que cumple con los límites establecidos en la Norma ITINTEC 400.037. El agregado fino puede consistir de arena natural o manufacturada, o una combinación de ambas. Sus partículas limpias, de perfil preferentemente angular, duro, compacto y resistente. **(Pasquel Carbajal, 1998-1999, p.74)**

El agregado fino deberá estar libre de cantidades perjudiciales de polvo, terrones, partículas escamosas o blandas, esquistos, pizarras, álcalis, materia orgánica, sales, u otras sustancias dañinas. **(Pasquel Carbajal, 1998-1999, p.74)**

El agregado fino deberá estar graduado dentro de los límites indicados en la Norma ITINTEC 400.037. Es recomendable tener en cuenta lo siguiente. **(Rivva López, 2000, p.64).**

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. **(Rivva López, 2000, p.64).**

El agregado no deberá retener más del 45% en dos tamices consecutivos cualesquiera. **(Rivva López, 2000, p.64).**

En general, es recomendable que la granulometría se encuentre dentro de los siguientes límites:

Tabla 04. Límites Granulométricos del A. 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.

El porcentaje indicado para las mallas N°50 y N°100 podrá ser reducido a 5% y 0% respectivamente, si el agregado es empleado en concretos con aire incorporado cuyo contenido de cemento es mayor de 225 kg/m³, o en concretos sin aire incorporado cuyo contenido de cemento

es mayor de 300 kg/m³, o si se emplea un aditivo mineral para suplir la deficiencia en el porcentaje que pasa por estas mallas. **(Rivva López, 2000, p.65).**

El módulo de fineza del agregado fino se mantendrá dentro del límite de más o menos 0,2 del valor asumido para la selección de las proporciones del concreto, siendo recomendable que el valor asumido este entre 2.35 y 3.15. **(Rivva López, 2000, p.65).**

Si se excede el limite indicado de más o menos 0,2, el agregado podrá ser rechazado por la inspección o, alternativamente, ésta podrá autoriza ajustes en las proporciones de la mezcla para compensar las variaciones en la granulometría. Estos ajustes no deberán significar reducciones en el contenido de cemento. **(Rivva López, 2000, p.65).**

El agregado fino no deberá indicar presencia de materia organica cuando ella es determinada de acuerdo a los requisitos de la Norma ITINTEC 400.013. **(Rivva López, 2000, p.66).**

Podrá emplearse agregado fino que no cumple con los requisitos indicados siempre que:

La coloración en el ensayo se deba a la presencia de pequeñas partículas de carbón, o partículas similares. **(Rivva López, 2000, p.66).**

Realizado el ensayo, la resistencia a los siete días de morteros preparados con dicho agregado no sea menor del 95% de la resistencia de morteros similares preparados con otra porción de la misma muestra

de agregado fino previamente lavada con una solución al 3% de hidróxido de sodio. **(Rivva López, 2000, p.66).**

El porcentaje de partículas inconvenientes en el agregado fino no deberá exceder de los siguientes límites:

- Lentes de arcilla y partículas desmenuzables.....3%

Material más fino que la malla N°200

- Concreto sujetos a abrasión.....3%
- Otros concretos.....5%

Carbón:

- Cuando la apariencia superficial del concreto es impórtate...0,5%
- Otros concretos.....1%

(Pasquel Carbajal, 1998-1999, p.76)

2.3.2. Agregado Grueso

Se define como agregado grueso al material retenido en el Tamiz ITINTEC 4.75mm (N°4) y cumple los límites establecidos en la Norma ITINTEC 400.037. **(Pasquel Carbajal, 1998-1999, p.78)**

El agregado grueso podrá consistir de grava natural o triturada, piedra partida, o agregados metálicos naturales o artificiales. El agregado grueso empleado en la preparación de concretos livianos podrá ser natural o artificial. **(Pasquel Carbajal, 1998-1999, p.78)**

El agregado grueso deberá estar conformado por partículas limpias, de perfil preferentemente angular o semiangular, duras, compactas,

resistentes, y de textura preferentemente rugosa. **(Pasquel Carbajal, 1998-1999, p.78)**

Las partículas deberán ser químicamente estables y deberán estar libres de escamas, tierra, polvo, limo, humos, incrustaciones superficiales, materia orgánica, sales u otras sustancias dañinas. **(Pasquel Carbajal, 1998-1999, p.78)**

El agregado grueso deberá estar graduado dentro de los límites especificados en la Norma ITINTEC 400.037 o en la Norma ASTM C 33, los cuales está en la tabla 6 .Es recomendable tener en consideración lo siguiente:

- La granulometria seleccionada debera ser de preferencia continua.
- La granulometria seleccionada deberá permitir obtener l maxima densidad del concreto, con una adecuada trabajabilidad y consistencia en funcion de las condiciones de colocacion de las mezclas.
- La granulometria sleccionada no deberá tener mas del 5% del agregado retenido en la malla de 1 ½” y no mas de 6% del agregado que pasa la malla de 1/4”. **(Rivva López, 2000, p.70).**

Tabla 05. Límite de graduación del A. Grueso

Tamaño Máximo Nominal	Porcentaje que pasan por las siguientes fallas							
	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	90-100	40-70	0-15	0-5
3/8"	-	-	-	-	100	85-100	10-30	0-10

Fuente: *Diseño de mezclas - Enrique Rivva López*

- El tamaño máximo nominal del agregado grueso no deberá ser mayor de:
 - Un quinto de la menor dimesion entre caras de encofrados.
 - Un tercio del peralte de las losas.
 - Tres cuartos del espacio libre minimo entre barras o alambres individuales de refuerzo; paquetes de barras; torones; o ductos de preesfuerzo.
 - En elementos de espesor reducido, o ante la presencia de gran cantidad de armadura, se podrá, con autorización de la inspección, reducir el tamaño máximo nominal del agregado grueso, siempre que se mantenga una

adecuada trabajabilidad, se cumpla con el asentamiento requerido, y se obtenga las propiedades especificadas para el concreto.

- Las limitaciones anteriores podrán ser igualmente obviadas si, a criterio de la Inspección, la trabajabilidad y los procedimientos de compactación utilizados en el concreto permiten colocarlo sin formación de vacíos o cangrejeras.

(Rivva López, 2000, p.71).

- El porcentaje de partículas inconvenientes en el agregado grueso no deberá exceder de los siguientes valores:

- Arcilla.....0,25%
- Partículas deleznable.....5,00%
- Material más fino que la malla N°200.....1,00%
- Carbón y lignito:
 - Cuando el acabado superficial del concreto es de importancia.....0,50%
 - Otros concretos.....1,00%

(Rivva López, 2000, p.72).

El agregado grueso cuyos límites de partículas perjudiciales exceden a los indicados, podrá ser aceptado siempre que un concreto, preparado con agregado de la misma procedencia, haya dado un servicio satisfactorio cuando ha estado expuesto de manera similar al estudiado o, en ausencia de un registro de servicios, siempre que el concreto

preparado con el agregado tenga características satisfactorias cuando es ensayado en el laboratorio. **(Rivva López, 2000, p.73).**

El agregado grueso empleado en concreto para pavimento, o en estructuras sometidas a procesos de erosión, abrasión o cavitación, no deberá tener una pérdida mayor del 50% en el ensayo de abrasión realizado de acuerdo a las Normas ITINTEC 400.019 ó 400.020, o a la Norma ASTM C 131. **(Rivva López, 2000, p.73).**

El lavado de las partículas de agregado grueso se deberá hacer con agua preferentemente potable. De no ser así, el agua empleada deberá estar libre de sales, materia orgánica, o sólido en suspensión. **(Rivva López, 2000, p.73).**

2.3.3. Características.

2.3.3.1. Peso Unitario

Es el cociente de dividir el peso de las partículas entre el volumen total incluyendo los vacíos. Al incluir los espacios entre partículas; está influenciado por la manera en que se acomodan éstas, o que lo convierte en un parámetro hasta cierto punto relativo. **(Pasquel Carbajal, 1998-1999, p.74)**

El peso unitario está influenciado por:

- Su gravedad específica
- Su granulometría
- Su perfil y textura superficial
- Su condición de humedad

- Su grado de compactación de masa.

El peso unitario varía con el contenido de humedad. En el agregado grueso incrementos en el contenido humedad incrementan el peso unitario. En el agregado fino incrementos más allá de la condición de saturados superficialmente seco pueden disminuir el peso unitario debido a que la película superficial de agua origina que las partículas estén juntas facilitando la compactación con incremento en el volumen y disminución del peso unitario. **(Rivva López, 2000, p.152)**

2.3.3.2. Peso Específico

El peso específico de los agregados, que se expresa también como densidad, adquiere importancia en la construcción cuando se requiere que el concreto tenga un peso límite. Además, el peso específico es un indicador de calidad, en cuanto que los valores elevados correspondan a materiales de buen comportamiento, mientras que el peso específico bajo generalmente corresponde a agregados absorbentes y débiles, caso en que es recomendable efectuar pruebas adicionales. **(Rivva López, 2000, p.153)**

Es el cociente de dividir el peso de las partículas entre el volumen de las mismas sin considerar los vacíos entre ellas. Su valor para agregados normales oscila entre 2.5 y 2.7 kg/m³. **(Pasquel Carbajal, 1998-1999, p.74)**

La norma ASTM C 128 considera tres formas de expresión del peso específico.

- Peso específico de masa; el cual es definido por la Norma ASTM E 12 como la relación, a una temperatura estable, de la masa en el aire de un volumen unitario de material permeable (incluyendo los poros permeables e impermeables naturales del material) a la masa en el aire de la misma densidad, de un volumen igual de agua destilada libre de gas.
- Peso específico de masa saturado superficialmente seco: el cual es definido como el mismo peso específico de masa, excepto que esta incluye el agua en los poros permeables.
- Peso específico aparente; el cual es definido como la relación, a una temperatura estable, de la masa en el aire de un volumen unitario de un material, a la masa en el aire de igual densidad de un volumen unitario de un material, a la masa en el aire de igual densidad de un volumen de agua destilada libre de gas. Si el material es un sólido, el volumen es aquel de la porción impermeable.

(Rivva López, 2000, p.159)

2.3.3.3. Absorción

La 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. **(Pasquel Carbajal, 1998-1999, p.76)**

La capacidad de absorción es una medida de la porosidad del agregado, estimándose que valores en exceso del 2% al 3% pueden ser un índice de agregados de alta porosidad efectiva. Agregados que absorben valores mayores que los indicados pueden ser aceptables si el tamaño de los poros es grande. **(Rivva López, 2000, p.160)**

2.3.3.4. Humedad

Es la cantidad de agua superficial retenida en un momento determinado por las partículas de agregado.

Es una característica importante 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, para que se cumplan las hipótesis asumidas. **(Pasquel Carbajal, 1998-1999, p.77)**

2.4. Agua

El agua empleada en la preparación y curado del concreto deberá cumplir con los requisitos de la Norma ITINTEC 334.088 y ser, de preferencia, potable. **(Rivva López, 2012)**

Está prohibido el empleo de aguas ácidas; calcáreas; minerales; carbonatadas; aguas provenientes de minas o relaves; aguas que contengan residuos minerales o industriales; aguas con un contenido de sulfatos mayor del 1%; aguas que contengan algas, materia orgánica, humus, o descargas de desagües; aguas que contengan azúcares o sus derivados. **(Rivva López, 2012)**

Igualmente está prohibido el empleo de aquellas aguas que contengan porcentajes significativos de sales de sodio o de potasio disueltas, en todos aquellos casos en que la reacción álcali-agregado es posible.

Podrá utilizarse aguas naturales no potables, previa autorización de la inspección, únicamente si:

- Estan limpias y libres de cantidades perjudiciales de aceites, ácidos, álcalis, sales, materia organica, u otras sustancias que puedan ser dañinas al concreto, acero de refuerzo, o elementos embebidos.

Al seleccionar el agua deberá recordarse que aquellas con alta concentración de sales deberán ser evitadas. Ello debido a que no solo pueden afectar el tiempo de fraguado, la resistencia del concreto y su estabilidad del volumen, sino que, adicionalmente, pueden originar eflorescencias o corrosión del acero de refuerzo.

- La calidad del agua, determinada mediante analisis de laboratorio, cumple con los valores que a continuacion se indican; debiendo ser aprobados por la inspeccion las excepciones a los mismos.

(Rivva López, 2012)

Tabla 06. Límites permisibles máximo del agua

Descripción	Limite permisible
Sólidos en suspensión	5000 p.p.m. máximo
Materia orgánica	3 p.p.m. máximo
Alcalinidad (NaHCO ₃)	1000 p.p.m. máximo
Sulfato (Ion SO ₄)	600 p.p.m. máximo
Cloruros (Ion Cl)	1000 p.p.m. máximo
pH	5 a 8

Fuente: NTP.339.088

- La selección de las proporciones finales del concreto se basa en resultados de ensayos de resistencias en compresion en los que se ha utilizado en la preparacion del concreto, agua de la fuente elegida.
- Los cubos de mortero preparados con el agua seleccionada, y ensayados siguiendo las recomendaciones de la Norma ASTM C 109 tienen, a los 7 y 28 dias resistencia en compresion no menores del 90% de las muestras similares preparadas con agua potable.
- Las sales y otras materias dañinas que pudieron estar presente en los agregados y/o aditivos, deberán sumarse a aquellas que aporta el

agua de mezclado, a fin de evaluar el contenido total de sustancias inconvenientes que pueden dañar el concreto, el acero de refuerzo, o los elementos embebidos.

- Si en el concreto han de estar embebidos elementos de aluminio y/o fierro galvanizado, el contenido de cloruro deberá disminuir a 50ppm
- .El contenido de ión cloruro presente en el agua y demás ingredientes del concreto no deberá exceder, expresado como porcentaje en peso del cemento, de los siguientes valores:
 - Concreto presforzado.....0,06%
 - Concreto armado, con elementos de aluminio ó de fierro galvanizado embe.....0,06%
 - Concreto armado no protegido, el cual puede estar sometido a un ambiente humedo pero no expuesto a cloruros.....0,15%
 - Concreto armado que deberá estar seco o pretegido de la humedad durante su vida por medio de recubrimiento impermeable.....0,80%

(Rivva López, 2012)

- El agua de mar sólo podrá utilizarse en la preparacion del concreto si se cuenta con la autorizacion escrita del ingeniero proyectista y la inspeccion. Esta prohibido el empleo de agua de mar como agua de mezclado en los siguientes casos:

- Es Concreto persforzado
- Concretos cuya resistencia a la compresion a los 28 días sea mayor de 175 kg/cm²
- Concretos en los que estan embebidos elementos de aluminio o fierro galvanizado
- Concretos vaciados en climas cálidos.
- Concretos con acabados superficial de importancia, concretos expuestos; concretos caravista.

(Rivva López, 2012)

- Cuando se empleen otras fuentes o cuando se mezcle agua de 2 o más procedencias, el agua deberá ser calificada mediante ensayos. Los requisitos primarios para esta calificación será recomendable que la mezcla tenga un contenido de cemento minimo de 350 kg/m³, una relacion agua-cemento maxima de 0,50; consistencia plastica y de recubrimiento al a cero de refuerzo no menor de 70mm.

(Rivva López, 2012)

Tabla 07. Requisitos del concreto para el agua de mezcla

Ensayo	Limites	Metodo de ensayo
pH	5.5 – 8.5	NTP 339.073
Resistencia a compresion, minimo, % del control a 7 dias.	90	NTP 339.034
Tiempos de fraguado,desviacion respecto al control,horas,minutos	De 1h mas temprano a 1.5 h mas tarde	NTP 339.082

Fuente: Manual de carreteras-EG 2013

Los requisitos que se muestran en la Tabla 7 se consideran opcionales y sirven para que el productor de la mezcla mantenga documentada la quimica y el contenido del agua. **(Rivva López, 2012)**

Tabla 08. *Limites opcionales para el agua de mezcla*

Contaminante	Limite ppm	Metodo de ensayo
Cloruro como Cl	500	
En concreto pretensado, tableros de puentes o designados de otra manera	1.000	NTP. 339.076
Otros concretos reforzados en ambientes humedos o que contengan	3.000	NTP. 339.074
Alcalis como (NA ₂ O + 0.658 K ₂ O)	600	ASTM C 114
Solidos totales por masa	90.000	ASTM C 1603

Fuente: *Manual de carreteras-EG 2013*

2.5. Tereftalato de Polietileno (PET)

2.5.1. Definición

Polímero que se obtiene mediante la reacción entre el ácido Tereftálico y el etilenglicol. Mas conocido como PET, tipo de plástico muy usado en envases de bebidas y textiles (**Méndez (2012) (p. 18)**);

El plástico es un material compuesto por resinas, proteínas y otras sustancias, las cuales son fáciles de moldear, modificar su forma y color de manera permanente o temporal, esto con un bajo costo de fabricación, que lo convierte en uno de los materiales más utilizados y populares en los últimos tiempos. (**Méndez (2012) (p. 18)**);

Tabla 09. Sistema de identificación de envases PET.

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

Fuente: Méndez, 2012

Según **Méndez (2012) (p. 27)**; "Existen diferentes grados de PET, los cuales se diferencian por su peso molecular y cristalinidad" ; en general, estos se caracterizan por su elevada pureza, ligereza, alta resistencia y tenacidad. De acuerdo con su dirección presenta propiedades de transparencia y resistencia química.

2.5.2. Comparación del PET con otros materiales

En la última década el PET ha sido el material más utilizado e importante en el mundo y en el mercado de las botellas de agua, refrescos y alimentos con una producción aproximada de 11 millones de toneladas, debido a su buena combinación de propiedades como la transparencia, baja densidad, alta resistencia, flexibilidad de formatos, buenas propiedades organolépticas, entre otros.

Cabe destacar que en la actualidad los puntos débiles del PET han disminuido por medio de la tecnología al combinarse con otros materiales. **(Méndez 2012, p. 31).**

	PET	PVC	HOPE	PP	PS	HOPE con barreras de Nylon	Vidrio	Aluminio
Transparencia	↑	↑	↓	↓	↑	↓	↑	↓
Resistencia	↑	↑	↑	↑	↓	↑	↓	↑
Impermeabilidad	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑
Barrera para el paso de gases	↑	↑	↓	↓	↓	↑	↑	↑
Capacidad de llenado en caliente	↑	↓	↓	↑	↓	↓	↑	↑
Resistencia a microondas	↑	↓	↓	↓	↓	↓	↑	↓
Capacidad de reciclaje	↑	↓	↑	↓	↓	↓	↑	↑
Propiedades organolépticas	↑	↑	↓	↑	↓	↓	↑	↑
Flexibilidad de formas	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↓

→ Subtítulo
 ↑ Excelente ↑ Aceptable ↓ Malo ↓ Pésimo

Figura 02. Comparación del PET con otros elementos.

Fuente: Méndez, 2012

2.5.3. Aplicaciones del PET

Las aplicaciones más comunes del PET son en botellas plásticas para el consumo de bebidas, bandejas y láminas. También puede ser utilizado para otros usos no tan conocidos como es el sector textil. **(Méndez 2012, p. 41).**

2.5.4. Propiedades Físicas del PET

Tabla 10. Propiedades físicas del PET

PROPIEDADES FÍSICAS DEL PET	
Densidad bruta	520 kg/m ³
Densidad neta	1400 kg/m ³
Módulo de Young	2800 – 3100 Mpa
Resistencia a la Tracción	900 Kg/cm ²
Resistencia a la tensión	0.60 - 0.74 kg/cm ²
Resistencia a la compresión	260 – 480 kg/cm ²
Resistencia al calor	80 -120 °C
Resistencia a flexión	1450 kg/cm ²

Fuente: (Hernández et al. 2010)

CAPITULO II: MATERIALES Y METODOS

3. METODOS Y MATERIALES

3.1. Método de Investigación

El método más adecuado para este tipo de investigación es el Experimental, en esencia se trata de analizar el comportamiento del concreto añadiendo diferentes porcentajes de materiales plásticos de reciclaje (PET) triturado, de tal forma que se pueda llegar a establecer el porcentaje óptimo de este que será utilizado en el concreto. Se trabajó en el laboratorio para luego obtener respuestas con el uso de fórmulas y procesadores de datos, para luego formular los cuadros de resultados.

3.2. Obtención en Laboratorio de Muestras Representativas (Cuarteo)

Procedimiento

Se colocó la muestra sobre una superficie dura, limpia y horizontal evitando cualquier pérdida de material o la adición de sustancias extrañas.

Se mezcló bien hasta formar una pila en forma de cono, repitiendo esta operación cuatro veces.

Cada parte tomada de la base se deposita en el lado superior del cono, de modo que el material caiga uniformemente por los lados del mismo.

Cuidadosamente se aplanan y extienden la pila cónica hasta darle una base circular, espesor y diámetro uniforme, presionando hacia abajo con la cuchara de la pala, de tal manera que cada cuarteo del sector contenga el material original. El diámetro debe ser aproximadamente cuatro a ocho veces el espesor.

Se procede luego a dividir diametralmente el material en cuatro partes iguales, de las cuales se separan dos cuartos diagonalmente opuestos, incluyendo todo el material fino limpiando luego con cepillo o escoba los espacios libres. Los dos cuartos restantes se mezclan sucesivamente y se repite la operación hasta obtener la cantidad de muestra requerida.

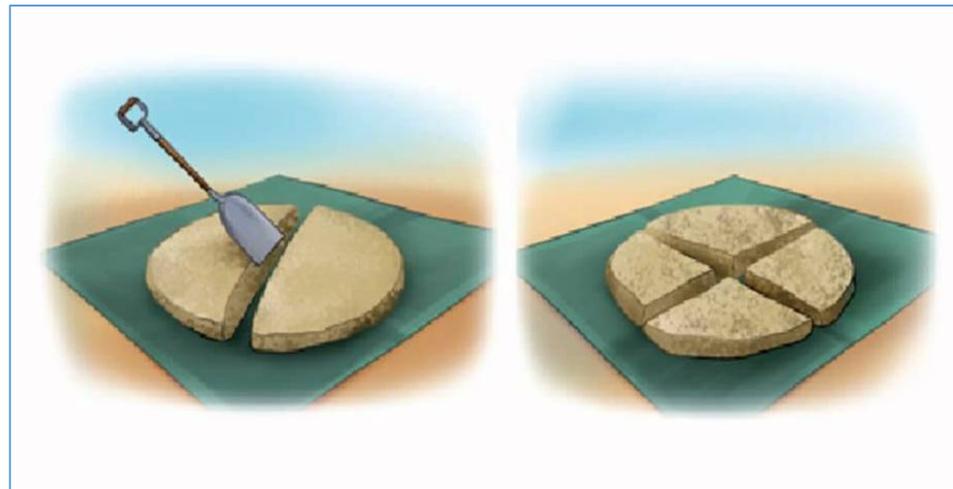


Figura 01. Cuarteo en una superficie plana y limpia

Fuente: <http://es.slideshare.net/jorgesilva84/basegranular-procesoconstructivo101122120048phpapp01>

3.3. Peso Unitario de los Agregados

3.3.1. Peso Unitario Suelto

El recipiente se llenó con una pala o cuchara, que descarga el agregado desde una altura no mayor de 50 mm (2”) hasta que rebose el recipiente.

El agregado sobrante se niveló con una regla hasta quedar al ras.

Se pesó el recipiente de medida más el contenido y el peso del recipiente, y se registró los pesos con aproximación de 0,05 kg (0,1 lb) Después de haber realizado nuestros ensayos obtuvimos un P.U suelto de 1491.47 kg/m³ para el Agregado Fino y 1449.38 kg/m³ para el agregado grueso.

3.3.2. Peso Unitario varillado

Se llenó el recipiente con el agregado en 3 capas.

Se apisonó la capa de agregado con 25 golpes de la varilla distribuidos uniformemente, utilizando el extremo semiesférico de la varilla. Luego se llenó las 2/3 partes del recipiente, volviendo a emparejar la superficie y apisonar como anteriormente se describe. Finalmente llenar el recipiente hasta colmarlo y apisonar otra vez de la manera antes mencionada.

Al apisonar la primera capa, evitamos que la varilla golpee el fondo del recipiente, y al apisonar las capas superiores, se tuvo que aplicar la fuerza necesaria para que la varilla atravesase solamente la respectiva capa.

Una vez colmado el recipiente, se enraso la superficie con la varilla, usándola como regla y se determinó el peso del recipiente lleno y peso del recipiente solo, y registrar pesos con aproximación de 0,05 kg (0,1lb).

Después de haber realizado nuestros ensayos obtuvimos un P.U compactado de 1630.08 kg/m³n para el Agregado Grueso.

3.4. Análisis Granulométricos de Agregados Gruesos y Finos

Procedimiento

Cuando se desea resultados rápidos, no es necesario secar el agregado grueso para el ensayo debido que el resultado es poco afectado por el contenido de humedad a menos que:

- El Tamaño Máximo nominal sea menor de 12 mm (1/2")
- El agregado grueso tenga una cantidad apreciable de finos menos que el tamiz N° 4,75 mm (N°4).
- El agregado grueso se a latamente absorbente (por ejemplo los agregados ligeros.)
- Las muestras también se pueden secar a temperaturas altas usando planchas calientes sin que afecten resultados, si se mantienen los escapes de vapor sin generar presiones suficientes para fracturar las partículas y temperaturas que no sean mayores para causar rompimiento químico del agregado.

Se seleccionó la serie de tamices de tamaños adecuados para cumplir con las especificaciones del material a ensayar. Se encajó los tamices en orden decreciente, por tamaño de abertura, y se colocó la muestra sobre el tamiz superior y se efectuó el tamizado de forma manual o por medio de un tamizador mecánico, durante un período adecuado.

Se hizo el tamizado por un período suficiente, de tal forma que después de terminado, no pase más del 1% de la cantidad en peso retenida en cada tamiz, durante un (1) minuto de tamizado manual como sigue: sostener

individualmente cada tamiz, con su tapa y un fondo bien ajustado, con la mano en una posición ligeramente inclinada. Luego el filo del tamiz se hizo un movimiento hacia arriba contra la palma de la otra mano.

Se determinó el peso de la muestra retenido en cada tamiz, con una balanza. El peso total del material después del tamizado, debe ser verificado con el peso original de la muestra ensayada. Si la cantidad difiere en más del 0.3% del peso seco original de la muestra, el resultado no debe ser usado con fines de aceptación.

3.5. Peso Específico y Absorción del Agregado Fino

Procedimiento

Se muestreo el agregado, luego se mezcló uniformemente y reducir por cuarteo hasta obtener un espécimen de ensayo de aproximadamente 1 kg.

Se colocó el agregado fino obtenido por cuarteo y secado a peso constante a una temperatura de 110 ± 5 °C en un recipiente y cubrir con agua dejando reposar durante 24 horas. Luego se decantó el agua evitando pérdida de finos y se extendió el agregado sobre una superficie plana expuesta a una corriente de aire tibio y se removió frecuentemente para el secado uniforme, hasta que las partículas del agregado no se adhieran marcadamente entre sí. La muestra se colocó en el molde cónico, se golpeó la superficie suavemente 25 veces con la varilla para apisonado y luego se levantó el molde. Si existe humedad libre en el cono y el agregado fino mantiene su forma entonces se sigue secando, se revolvió constantemente y probó hasta

que el cono se derrumbe al quitar el molde, lo que indica que el agregado fino alcanzó una condición de superficie seca.

Se introdujo en el frasco una muestra de 500 g de material preparado, y se llenó parcialmente con agua a una temperatura de 23 ± 2 °C hasta alcanzar la marca de 500 cm³. Se agito el frasco para eliminar burbujas de aire de manera manualmente.

Manualmente se hizo rodar, invirtió y agitó el frasco para eliminar todas las burbujas de aire cerca de 15 a 20 minutos que son normalmente requeridos para eliminar las burbujas de aire.

Después de eliminar las burbujas de aire, se ajustó la temperatura del frasco y su contenido a 23 ± 2 °C, se llenó el frasco hasta la capacidad calibrada y se determinó el peso total del frasco, espécimen y agua.

Luego se removió el agregado fino del frasco, se secó en el horno hasta peso constante a una temperatura de 110 ± 5 °C, se enfrió a temperatura ambiente por $\frac{1}{2}$ a $1 \frac{1}{2}$ hora y se determinó el peso.

Los resultados del Peso Específico del agregado Fino en el laboratorio fue de 2.75 kg/m³ y de la Absorción fue de 1.41%.

3.6. Peso Específico y Absorción del Agregado Grueso

Procedimiento

Se mezcló la muestra y se redujo aproximadamente a la cantidad necesaria.

Se descartó todo el material que pase el tamiz 4,75 mm (Nº4) por tamizado seco y luego se lavó el material para remover polvo u otras impurezas superficiales.

Se secó la muestra a peso constante, a una temperatura de $110\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$, se ventiló en un lugar fresco a temperatura ambiente de 1 a 3 horas, Inmediatamente se sumergió el agregado en agua a una temperatura ambiente por un período de $24\text{ h} \pm 4\text{ h}$.

Luego se removió la muestra del agua y se hizo rodar sobre un paño grande y absorbente, hasta hacer desaparecer toda película de agua visible, aunque la superficie de las partículas aún parezca húmeda. Se secó separadamente en fragmentos más grandes. Se debe tener cuidado en evitar la evaporación durante la operación del secado de la superficie.

Después de haberse pesado, se colocó de inmediato la muestra saturada con superficie seca en la cesta de alambre y se determinó su peso en agua a una temperatura entre $23\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1,7\text{ }^{\circ}\text{C}$. Hay que tener cuidado de remover todo el aire atrapado antes del pesado sacudiendo el recipiente mientras se sumerge.

Se secó la muestra hasta peso constante, a una temperatura entre $100\text{ }^{\circ}\text{C} + 5^{\circ}\text{C}$ y se dejó enfriar hasta la temperatura ambiente, durante 1 a 3 h o hasta que el agregado haya enfriado a una temperatura que sea cómoda al tacto (aproximadamente $50\text{ }^{\circ}\text{C}$) y finalmente se pesó.

Los resultados del Peso Específico del agregado Fino en el laboratorio fue de 2.70 kg/m^3 y de la Absorción fue de 0.22% .

3.7. Contenido de Humedad

Procedimiento

Se colocó la muestra en una tara y se determinó el peso de la tara y material húmedo usando una balanza seleccionada de acuerdo al peso del espécimen y se registró este valor.

Se colocó el material húmedo en el horno y se secó el material hasta alcanzar una masa constante a 110 ± 5 °C.

En la mayoría de los casos, el secado de un espécimen de ensayo durante toda la noche (de 12 a 16 horas) es suficiente.

Luego que el material se secó a peso constante, se removió la tara del horno. Se determinó el peso de la tara y el material secado al horno usando la misma balanza usada en este ensayo. Se registró este valor.

Se obtuvo un Contenido de Humedad en el Agregado Fino de 0.73 y en el Agregado Grueso de 0.31.

3.8. Diseño de Mezcla

El diseño de mezclas de concreto, es conceptualmente la aplicación técnica y practica de los conocimientos científicos sobre sus componentes y la interacción entre ellos, para lograr un material resultante que satisfaga de la manera más eficiente los requerimientos particulares del proyecto constructivo. **(Rivva López, 2000, p.171)**

El comité 211 del ACI ha desarrollado un procedimiento de diseño de mezclas bastante simple el cual, basándose en algunas tablas presentadas

en los capítulos anteriores, permite obtener valores de los diferentes materiales que integran la unidad cubica de concreto.

El procedimiento para la selección de las proporciones que se presentan en este capítulo es aplicable a concretos de peso normal y a las condiciones que para cada una de las tablas se indican en ellas.

Aunque los mismos datos básicos y procedimientos pueden ser empleados en el diseño de concretos pesados y concretos ciclópeos, al tratar estos se da la información complementaria.

Es usual que las características de obra establezcan limitaciones a quien tiene la responsabilidad de diseñar la mezcla. Entre limitaciones pueden estar:

- Relación agua-cemento máxima.
- Contenido mínimo de cemento.
- Contenido máximo de aire.
- Asentamiento.
- Tamaño máximo nominal del agregado grueso.
- Resistencia en compresión mínima.
- Requisitos especiales relacionados con la resistencia promedio, el empleo de aditivos, o la utilización de tipos especiales de cemento o agregados.

La estimación de las cantidades de materiales requeridas para preparar una unidad cúbica de concreto implica una secuencia cuyo cumplimiento

permite, en función de las características de los materiales, preparar la mezcla adecuada para el trabajo que se va a efectuar.

Pasos en el Diseño de Mezcla del Concreto

3.8.1. Selección de la resistencia promedio (f'_{cr})

Las mezclas de concreto deben diseñarse para una resistencia promedio cuyo valor es siempre superior al de la resistencia de diseño especificada por el ingeniero proyectista.

La diferencia entre ambas resistencias está dada y se determina en función del grado de control de la uniformidad y de la calidad del concreto realizado por el contratista y la inspección.

Nuestros f'_{cr} fueron de 245kg/cm² y 294kg/cm².

3.8.2. Calculo de la Desviación estándar

Si la compañía constructora tiene un registro de sus resultados de ensayos de obras durante los últimos doce meses, el cual está basado en por lo menos 30 resultados de ensayos consecutivos de resistencia en compresión, o en dos grupos de resultados de ensayos que totalizan por lo menos 30 y se han efectuado en dicho período, deberá calcularse la desviación estándar de estos resultados.

El registro de los resultados de ensayos de resistencia en compresión, a partir del cual se calculará la desviación estándar deberá:

- Representar materiales, procedimientos de control de calidad, y condiciones de trabajo similares a aquellos que se espera en la obra que se va a iniciar. Las diferencias existentes en

materiales y proporciones del registro del conjunto de ensayos no deberán ser más rigurosos que aquellas que se ha especificado para la otra propuesta.

- Representar a concretos preparados para alcanzar una resistencia en compresión de diseño especificada del orden de la del trabajo a ser iniciado; aceptándose un rango de variación de 35 kg/cm², para resistencias en compresión hasta de 280 kg/cm², y de 70 kg/cm² para resistencias mayores en relación a la resistencia de diseño especificada para la otra propuesta.
- Consistir de por lo menos 30 resultados de ensayos consecutivos, o de dos grupos de ensayos consecutivos que totalicen por lo menos 30 ensayos.

Para las condiciones indicadas la desviación estándar se calculará a partir de los resultados con que se cuenta, aplicando la siguiente ecuación:

$$S = \sqrt{\frac{(X_1 - X)^2 + (X_2 - X)^2 + \dots + (X_n - X)^2}{n - 1}}$$

Dónde:

S = Desviación estándar.

n = Numero de ensayos de la serie.

X₁, X₂... X_n, = Resultados de resistencia de muestras de ensayos individuales

$X =$ Promedio de todos los ensayos individuales de una serie.

Si se utiliza dos grupos de registros de resultados de muestras de ensayo para totalizar por lo menos 30, la desviación estándar a ser empleada en el cálculo de la resistencia promedio, deberá ser el promedio estadístico de los valores calculados para cada grupo de ensayos.

Para determinarla se utilizará la siguiente ecuación:

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

Dónde:

\check{s} = Promedio estadístico de las desviaciones estándar cuando se utiliza los registros de ensayo para calcular la desviación estándar, en kg/cm²

S_1, S_2 = Desviación estándar calculada para los grupos 1 y 2 respectivamente, en kg/cm².

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

Si se tiene un registro de resultados de ensayo basado en 15 a 29 pruebas consecutivas, se deberá determinar la desviación estándar de estas y luego multiplicarla por el factor de corrección indicado en la Tabla 11, obteniéndose así la desviación estándar a ser utilizada en el cálculo de la resistencia promedio.

Este procedimiento da un valor más conservador para la resistencia promedio. El valor de la Tabla 11 se basa en la distribución muestral de la desviación estándar y proporciona protección contra la posibilidad de que el menor número de muestras de una desviación estándar que se aparte significativamente del valor que debería ser empleado.

Tabla 11. Factor de corrección

Ensayos	Factor de corrección
menos de 15	Usar tabla 7.4.3
15	1.16
20	1.08
25	1.03
30	1

Fuente: Diseño de mezclas - Enrique Rivva López

3.8.3. Calculo de la Resistencia Promedio Requerida

La resistencia a la compresión promedio requerida, la cual ha de emplearse como base para la selección de las proporciones de la mezcla de concreto, deberá ser el mayor de los valores obtenidos a partir de la solución de las ecuaciones 1 y 2, en las que se empleará, según el caso, la desviación estándar calculada de acuerdo a lo indicado en lo anterior.

$$f'_{cr} = f'_{c.} + 1.33 s \dots\dots\dots(1)$$

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

Dónde:

S = Desviación estándar, en kg /cm²

La ecuación (1) da una probabilidad de 1 en 100 de que el promedio de tres resultados de ensayos esté por debajo de la resistencia de diseño especificada. La ecuación (2) da una probabilidad similar de que los resultados individuales de ensayos estén 35 kg/cm² por debajo de la resistencia de diseño especificada.

Cuando no se cuente con un registro de resultados de ensayos que posibilite el cálculo de desviación estándar de acuerdo a lo indicado anteriormente, la resistencia promedio requerida deberá ser determinada empleando los valores de la Tabla 12.

Tabla12. Resistencia a la compresión Promedio

f'c	f'cr
Menos de 210	f'c + 70
210 a 350	f'c + 84
sobre 350	f'c + 98

Fuente: Diseño de mezclas - Enrique Rivva López

3.8.4. Selección del tamaño máximo nominal del agregado grueso.

La norma ITINTEC 400.037 define al “Tamaño Máximo” como aquel que “corresponde al menor tamiz por el que pasa toda la muestra de agregado grueso”.

La norma ITINTEC 400.037 define al “Tamaño Máximo Nominal” como aquel que “corresponde al menor tamiz de la serie utilizada que produce el primer retenido”.

La Tabla 13 presenta las curvas granulométricas que corresponden a tamaños nominales comprendidos entre 2” y 3/8”. Esta tabla corresponde a la clasificación de la Norma ASTM C 33.

Tabla 13. Porcentaje que pasa.

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	90-100	40-70	0-15	0-5
3/8"	-	-	-	-	100	85-100	10-30	0-10

Fuente: Diseño de mezclas - Enrique Rivva López

Las Normas de Diseño Estructural recomiendan que el tamaño máximo nominal del agregado grueso sea el mayor que sea económicamente disponible, siempre que sea compatible con las dimensiones y características de la estructura. El ACI 318 y la Norma Técnica de Edificación E. 060 prescribe que el agregado grueso no deberá ser mayor de:

- $1/5$ de la menor dimensión entre las caras de encofrados;
- $1/3$ del peralte de la losa; o
- $3/4$ del espacio libre mínimo entre barras individuales de refuerzo, paquetes de barras, tendones o ductos de refuerzo.

En elementos de espesor reducido, o antes la presencia de gran cantidad de armadura, se podrá disminuir el tamaño del agregado grueso siempre que se mantenga una adecuada trabajabilidad, se cumpla con el asentamiento requerido y se obtenga la resistencia especificada. **(Rivva López, 2000, p.183).**

En nuestro caso El Tamaño Máximo Nominal según nuestro agregado fue de $3/4$ ".

3.8.5. Selección del Asentamiento (Slump).

La consistencia es aquella propiedad del concreto no endurecido que define el grado de humedad de la mezcla. De acuerdo a su consistencia, las mezclas de concreto se clasifican en:

- Mezclas secas; aquellas cuyo asentamiento esta entre cero y dos pulgadas (0 mm a 50mm).
- Mezclas plásticas; aquellas cuyo asentamiento esta entre cero y dos pulgadas (75 mm a 100mm).
- Mezclas fluidas; aquellas cuyo asentamiento esta entre cero y dos pulgadas (mayor de 125mm).

Si las especificaciones de obra no indican la consistencia, ni asentamiento requeridos para la mezcla a ser diseñada, utilizando la tabla 14 podemos seleccionar un valor adecuado para un determinado trabajo que se va a realizar. Se deberán usar las mezclas de la consistencia más densa que puedan ser colocadas eficientemente.

Tabla 14. Asentamientos recomendados para varios tipos de construcción

Tipo de construcción	Asentamiento	
	Máximo	Mínimo
Zapatas y muros de cimentación armados	3"	1"
Cimentaciones simples, cajones y subestructuras de muros	3"	1"
Vigas y muros armados	4"	1"
Columnas de edificios	4"	1"
Losas y pavimentos	3"	1"
Concreto ciclópeo	2"	1"

Fuente: Diseño de mezclas - Enrique Rivva López

El asentamiento recomendado para nuestra investigación fue de máximo 4”.

3.8.6. Selección del agua de mezclado y contenido de aire.

La selección del volumen unitario de agua se refiere a la determinación de la cantidad de agua que se debió incorporar a la mezcladora, por unidad cubica de concreto, para obtener una consistencia determinada cuando el agregado está al estado seco. La tabla 15 ha sido preparada en base a las recomendaciones del Comité 211 del ACI. Ella permitió seleccionar el volumen unitario de agua, para agregados al estado seco, en concretos preparados con y sin aire incorporado; teniendo como factores a ser considerados la consistencia que se desea para

la mezcla y el tamaño máximo nominal del agregado grueso seleccionado.

Tabla 15. Volumen unitario de agua

Asentamiento	Agua en 1/m ³ , para los tamaños máx. Nominales de agregado grueso y consistencia indicados							
	3/8"	1/2"	3/4"	1"	1 1/2"	2"	3"	6"
	Concreto sin aire incorporado							
1" a 2"	207	199	190	179	166	154	130	113
3" a 4"	228	216	205	193	181	169	145	124
6" a 7"	243	228	216	202	190	178	160	-
	Concretos con aire incorporado							
1" a 2"	181	175	168	160	150	142	122	107
3" a 4"	202	193	184	175	165	157	133	119
6" a 7"	216	205	197	184	174	166	154	-

Esta tabla ha sido confeccionada por el comité 211 del ACI

Fuente: *Diseño de mezclas - Enrique Rivva López*

Los valores de esta tabla se emplearan en la determinación del factor cemento en mezclas preliminares de prueba. Son valores máximos y corresponde a agregado grueso de perfil angular y granulometría comprendida dentro de los límites de la Norma ASTM C 33.

Como se observa, la tabla 15 no toma en cuenta para la estimación del agua de mezclado las incidencias del perfil, textura y granulometría de los agregados. Debemos hacer presente que estos valores tabulados son lo suficientemente aproximados para una primera estimación y que dependiendo del perfil, textura y granulometría de los agregados, los valores requeridos de agua de mezclado pueden estar algo por encima o por debajo de dichos valores. Al mismo tiempo, podemos usar la tabla 16 que ha sido preparada, en su oportunidad, por el Departamento de Concreto del Laboratorio de Ensayos de Materiales de la Universidad Nacional de Ingeniería.

Esta tabla permitió calcular el volumen unitario de agua, tomando en consideración, además de la consistencia y el tamaño máximo nominal del agregado, el perfil del mismo. Los valores de las Tablas corresponden a mezclas sin aire incorporado y debió ser ajustado en función del porcentaje de absorción y contenido de humedad de los agregados fino y grueso.

Tabla16. Volumen unitario de agua

Tamaño Máximo Nominal del Agregado Grueso	Volumen unitario de agua, expresado en lt/m ³ , para los Asentamientos y perfiles de agregado grueso indicados.					
	1" a 2"		3" a 4"		6" a 7"	
	Agregado Redondeado	Agregado Angular	Agregado Redondeado	Agregado Angular	Agregado Redondeado	Agregado Angular
3/8"	185	212	201	227	230	250
1/2"	182	201	197	216	219	238
3/4"	170	189	185	204	208	227
1"	163	182	178	197	97	216
1 1/2"	1	167	163	185	185	204
2"	148	163	163	178	178	197
3"	136	151	151	167	163	182

Fuente: Diseño de mezclas - Enrique Rivva López

Los valores de ambas tablas pueden ser empleadas con seguridad en la estimación preliminar de las proporciones de la mezcla. En aquellos en que el agregado posee características que obligan a un aumento en el volumen de agua, deberá aumentarse igualmente el contenido de cemento a fin de mantener invariable la relación agua-cemento, excepto si los resultados de los ensayos de resistencia realizados con

mezclas de prueba preparadas en el Laboratorio indican que tal incremento no es necesario.

3.8.7. Selección de la relacion agua/cemento (a/c).

Desde que la mayoría de las propiedades deseables en el concreto endurecido dependen de la calidad de la pasta, producto final del proceso de hidratación del cemento, se considera que una de las etapas fundamentales en la selección de las proporciones de una mezcla de concreto es la elección de la relación agua-cemento más adecuada.

La relación agua-cemento de diseño, que es el valor a ser seleccionado de las Tablas, se refiere a la cantidad de agua que intervino en la mezcla cuando el agregado está en condición de saturado superficialmente seco, es decir q no toma ni aporta agua. La relación agua-cemento efectiva se refiere a la cantidad de agua de la mezcla cuando se tiene en consideración la condición real de humedad del agregado.

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

Por resistencia. La selección de la relación agua-cemento por resistencia se hace partiendo del criterio de que esta propiedad es la más fácilmente mensurable y que, dentro de ciertas limitaciones, está regulada por la relación de la cantidad de agua a la cantidad de cemento en la unidad cubica de mezcla.

La tabla 17 es una adaptación confeccionada por el Comité 211 del ACI. Esta tabla de las relaciones agua-cemento en peso máximas permisibles para diferentes valores de la resistencia promedio, ya sea que se trate de concretos sin o con aire incorporado.

Tabla 17. Relación Agua/cemento por Resistencia.

f'cr (28 días)	Relación agua-cemento de diseño en peso	
	Concretos sin aire incorporado	Concretos con aire incorporado
150	0.8	0.71
200	0.7	0.61
250	0.62	0.53
300	0.55	0.46
350	0.48	0.4
400	0.43	-
450	0.38	-

Fuente: Diseño de mezclas - Enrique Rivva López

Por durabilidad. Este capítulo tiende a enfatizar la importancia que el diseñador considere, además de los de resistencia en compresión, los requisitos de durabilidad antes de proceder a seleccionar las proporciones finales de la mezcla de concreto y el espesor del recubrimiento del acero de refuerzo.

La Norma Técnica de Edificación E.060 prescribe que si se desea un concreto de baja permeabilidad, o el concreto ha de estar sometido a procesos de congelación y deshielo en condición húmeda. Se deberá cumplir con los requisitos indicados en la tabla 18.

Tabla 18. *Máxima relación agua/cemento permisible para concretos sometida a condiciones especiales de exposición.*

CONDICIONES DE EXPOSICION	RELACION AGUA/CEMENT O MAXIMA.
Concreto de baja permeabilidad : a) Expuesto a agua dulce. b) Expuesto a agua de mar o aguas saladas. c) Expuesto a la acción de aguas cloacales. (*)	0.5 0.45 0.45
Concreto expuesto a procesos de congelación y deshielo en condición húmeda : a) Sardineles, cunetas, secciones delgadas.	0.45 0.50

(*) La resistencia $f'c$ no deberá ser menor de 245 kg/cm² por razones de durabilidad.

Fuente: *Diseño de mezclas - Enrique Rivva López*

3.8.8. Cálculo del contenido del cemento.

Conocidos el volumen unitario de agua por unidad de volumen del concreto y la relación agua-cemento seleccionada, se pudo determinar el factor cemento por unidad cúbica de concreto mediante el simple expediente de dividir el volumen unitario de agua, expresado en litros por metro cúbico, entre la relación agua-cemento, obteniéndose el número de kilos de cemento de la unidad cúbica de concreto.

3.8.9. Selección del Agregado.

La selección de las proporciones de los agregados fino y grueso en la unidad cúbica de concreto tiene por finalidad obtener una mezcla en la que, con un mínimo contenido de pasta, se puedan obtener las propiedades deseadas en el concreto.

Para ellos es deseable que la granulometría total de las partículas de agregado sea tal que el volumen de vacíos, o espacios entre partículas, sea mínimo.

Se determinó el contenido de agregado grueso mediante la tabla 20, elaborada por el Comité 211 del ACI, en función del tamaño máximo nominal del agregado grueso y del módulo de fineza del agregado fino. Ello permitió obtener un coeficiente b/b_0 resultante de la división del peso seco del agregado grueso requerido por la unidad cúbica de

concreto entre el peso unitario seco y varillado del agregado grueso expresado en kg/m³.

Tabla 19. Volumen del agregado grueso por unidad de volumen de concreto

TAMAÑO MAXIMO DEL AGREGADO GRUESO		Volumen de agregado grueso, seco y compactado (*) por unidad de volumen de concreto, para diferentes módulos de fineza del agregado fino.			
		MODULO DE FINEZA DEL AGREGADO FINO			
mm	Pulg.	2.40	2.60	2.80	3.00
	3/8"	0.50	0.48	0.46	0.44
	1/2"	0.59	0.57	0.55	0.53
	3/4"	0.66	0.64	0.62	0.60
	1"	0.71	0.69	0.67	0.65

Fuente: Diseño de mezclas - Enrique Rivva López

El agregado grueso se encuentra en la condición de seco compactado, tal como es definida por la norma ASTM C 29.

El cálculo del contenido de agregado grueso a partir del coeficiente b/b_0 , permite obtener concretos con una trabajabilidad adecuada para concreto armado usual. Para concretos menos trabajables, tales como los que se requiere en pavimentos, la relación puede incrementarse en un 10%. Para concretos más trabajables, tales como los concretos bombeados, os valores pueden reducirse en un 10%.

Con el método del Comité 211 del ACI se determinó el volumen absoluto de agregado fino por diferencia entre la unidad y la suma de los volúmenes absolutos de cemento, agua de diseño, aire, y agregado grueso seco.

El volumen absoluto, o volumen desplazado por los diferentes ingredientes de la unidad cúbica de concreto, conocido también como volumen de sólidos, es igual al peso con que entra dicho material en la unidad cúbica de concreto dividido entre su peso sólido, definido este último como el producto del peso específico del material por el peso unitario de agua.

3.8.10. Ajuste por Humedad del Agregado.

Las cantidades de agregado que deben ser pesadas para preparar el concreto deberán considerar la humedad de aquel. Generalmente en obra los agregados están en condición de humedad y su peso seco deberá incrementarse en el porcentaje de agua que ellos contienen, tanto la absorbida como la superficial.

El agua de mezclado incorporada a la mezcladora deberá ser algebraicamente reducida en un volumen igual a la humedad superficial o humedad libre aportada por los agregados, considerándose como tal al contenido de humedad del agregado menos su porcentaje de absorción.

El agregado, desde el punto de vista de humedad, puede estar en obra en cuatro condiciones:

- **Seco**, cuando su superficie como sus poros internos están totalmente libres de agua. Esta es una condición teórica para la cual se calcula los contenidos de agregados fino y grueso antes de corregir la mezcla por humedad del agregado.
- **Semiseco**, cuando la superficie del agregado está seca pero sus poros internos están parcialmente llenos de agua. Esta condición es también conocida como secado al aire. Ella siempre es menor que la absorción del agregado.
- **Saturado superficialmente seco**, cuando la superficie del agregado está húmeda, pero la totalidad de sus poros internos están llenos de agua. Se considera la condición ideal del agregado porque en ella ni aporta ni toma agua de la mezcla.
- **Húmedo o mojado**, cuando el agregado está saturado superficialmente seco y adicionalmente presenta humedad superficial, la cual puede contribuir a incrementar el agua de mezclado y obliga a una corrección en la mezcla por humedad del agregado.

Los conceptos de absorción, contenido de humedad y humedad superficial deben ser igualmente definidos:

- La capacidad de absorción de un agregado está dada por la cantidad de agua que él necesita para pasar del estado seco al

estado saturado superficialmente seco. Normalmente se expresa en porcentaje.

$$\% \text{ Absorción} = 100(\text{SSS}-\text{S})/\text{S}$$

Dónde:

SSS = Peso del agregado al estado saturado superficialmente seco.

S = Peso del agregado al estado seco.

- El contenido de humedad de un agregado es la cantidad total de agua que el tiene y se determina por la diferencia entre su peso y su peso seco:

$$\text{Contenido de humedad} = 100(\text{H}-\text{S})/\text{S}$$

Dónde:

H = Peso del agregado

- La humedad superficial está dada por la diferencia entre el contenido de humedad y el porcentaje de absorción. Puede ser positiva en cuyo caso el agregado aporta agua a la mezcla y dicha cantidad debe ser disminuida del agua de diseño para determinar el agua efectiva; o puede ser negativa, en cuyo caso el agregado tomará agua de la mezcla para llegar al estado de saturado superficialmente seco, debiendo adicionarse dicha cantidad de agua a la mezcla para no modificar el agua de diseño.

En la corrección de las proporciones de la mezcla por condición de humedad del agregado pueden presentarse tres casos: (a) que ambos agregados aporten agua a las mezclas; (b) que uno de los agregados aporte agua y el otro quite agua a la mezcla; y (c) que ambos agregados disminuyan el agua de la mezcla. A continuación se desarrollara tres ejemplos que permitirán explicar cómo proceder en cada uno de estos casos.

3.9. Procedimiento para la elaboración del concreto adicionando materiales plásticos de reciclaje Triturados (PET)

Luego de ser lavado, secado y tamizado el PET triturado, se obtuvo como tamaño máximo nominal $\frac{3}{4}$ “, para luego ser adicionado directamente en la preparación de la mezcla de concreto instantes luego de agregar el agregado grueso y fino según las dosificaciones de PET diseñadas, al 5%, 10%, 15% en relación al peso del cemento para los diseños de mezcla de 175kg/cm² y 210kg/cm².

3.10. Elaboración y Curado de los Especímenes de concreto en el laboratorio.

El objetivo es establecer el procedimiento para la elaboración y curado de muestras de concreto en el laboratorio bajo estricto control de materiales y condiciones de ensayo, usando concreto compactado por apisonado o vibración.

- **Moldes:** Los moldes para las muestras y los sujetadores de dichos moldes que deben estar en contacto con el concreto deben ser de acero, hierro forjado o de otro material no absorbente y que no reaccione con el concreto utilizado en los ensayos. Los moldes deben estar hechos conforme a las dimensiones y tolerancias especificadas en el método en el cual van a ser usados. Los moldes deben de ser herméticos de tal forma que no se escape el agua de la mezcla contenida.

Los moldes cilíndricos deben estar hechos de un metal de alta resistencia o de otro material rígido no absorbente.
- **Varilla compactadora:** Debe ser de acero, cilíndrica y su extremo compactador debe ser hemisférico con radio igual al radio de la varilla. Pueden ser de diámetro de 5/8” con 24” de longitud o diámetro de 5/8” con 12” de longitud.
- **Martillo:** Debe ser de caucho, que pese $0,57 \pm 0,23$ kg
- **Vibradores Internos:** Pueden ser de eje rígido o flexible, preferiblemente accionados por motores eléctricos. La frecuencia de vibración debe ser de 7000 rpm o mayor. El diámetro de un vibrador redondo no debe ser mayor de la cuarta parte del diámetro del cilindro ni de la cuarta parte del ancho de la viga o del molde prismático. Vibradores de otras formas deberán tener un

perímetro equivalente a la circunferencia de un vibrador redondo apropiado.

- **Vibradores externos:** Pueden ser de mesa o de plancha. La frecuencia de vibración debe ser de 3600 rpm o mayor y su construcción debe ser tal, que el molde quede firme y asegurado sobre la mesa. Se debe usar un tacómetro para controlar la frecuencia de vibración.
- **Recipientes para muestreo y mezcla:** Deben ser de fondo plano, metálico, de alto calibre, impermeable, de profundidad adecuada y de suficiente capacidad para permitir una mezcla fácil de toda la bachada con una pala o palustre o, si la mezcla se hace de manera mecánica, para recibir toda la bachada de la descarga del mezclador y permitir la remezcla en el recipiente con la pala o palustre.
- **Mezcladora de concreto:** La mezcladora puede ser mecánica o manual. Para concretos con asentamiento inferior a 25 mm (1"), es más apropiado utilizar un recipiente mezclador (mezcla manual) que una mezcladora de tambor reclinable. Es aconsejable, cuando en tal caso tenga que utilizarse esta última, reducir la rata de rotación y el ángulo de inclinación del tambor y trabajarla a una capacidad inferior a la especificada por el fabricante.

- **Equipo Misceláneo:** Tamices, palas, palustres, reglas, guantes de caucho, calibrador de espesores, etc.
- **Número de muestras:** El número de especímenes y el número de bachadas de ensayo dependen de la práctica local y de la naturaleza del programa de ensayos. Los métodos de ensayo o las especificaciones para los cuales se elaboran los especímenes suelen dar orientaciones sobre el particular.

En todas las bachadas se debe elaborar un número igual de especímenes.

Cuando sea imposible moldear al menos un espécimen para cada variable en un día determinado, la mezcla para completar la serie entera de especímenes se debe efectuar tan pronto como sea posible (cuestión de pocos días) y una de las mezclas deberá ser repetida cada día, como un estándar de comparación.

Generalmente, los ensayos se hacen a edades de 7 y 28 días para compresión y a edades de 14 y 28 días para flexión. Los especímenes que contienen cemento tipo III son ensayados frecuentemente a 1, 3, 7 y 28 días. Tanto para el ensayo de compresión como el de flexión, se pueden hacer ensayos a 3 meses, 6 meses y un año. Para otras edades de ensayo se pueden requerir otros tipos de especímenes.

3.10.1. Procedimiento para Preparación de la mezcla.

La mezcla de concreto debe ser tal que deje un 10 % de residuo después de haber moldeado el espécimen del ensayo.

- **Mezcla con maquina:** Antes que empiece la rotación de la mezcladora se debe introducir el agregado grueso con algo del agua que se use en la mezcla y la solución del aditivo, cuando ésta se requiera. Siempre que sea posible, el aditivo se debe dispersar en el agua antes de su adicción a la mezcla. Se pone en funcionamiento la mezcladora, al cabo de unos cuantas revoluciones se adicionan el agregado fino, el cemento y el agua, con la mezcladora en funcionamiento.

Si para una mezcla particular o para un determinado ensayo no resulta práctico incorporar al agregado fino, el cemento y el agua con la mezcladora funcionando, ellos se incluirán con la máquina detenida, luego de haberse permitido algunas revoluciones.

Seguidamente se debió mezclar el concreto durante 3 minutos a partir del momento en que todos los ingredientes estén en la mezcladora. Se apaga la mezcladora durante 3 minutos y se pone en funcionamiento durante 2 minutos de agitación final.

Se debió cubrir el extremo abierto de mezcladora para evitar la evaporación durante el periodo de reposo.

Debe restituir todo mortero que se pierda por adhesión a la mezcladora, para conservar las proporciones.

El concreto se debe recibir en el recipiente limpio y seco y se debe remezclar con un palustre o pala, hasta hacerlo uniforme y evitar la segregación.

Es difícil recobrar todo el mortero impregnado en las partes de las mezcladoras. Para compensar esta dificultad puede seguirse unos de los procedimientos siguientes para asegurar las proporciones finales correctas en la Mezcla:

- **Embadurnando la Mezcladora:** Justo antes de mezclar la bachada, la mezcladora es “embadurnada” mezclando una bachada proporcionada de tal forma que simule cercanamente la bachada del ensayo. El mortero que se adhiera a la mezcladora después de descargar la bachada intenta compensar la pérdida de mortero de la bachada del ensayo.
- **Sobre proporción de la mezcla:** La mezcla de ensayo se proporcionó con una cantidad de mortero en exceso,

cantidad estimada de antemano. Que pretende compensar en promedio aquella que se quede adherida a la mezcladora. En este caso, el tambor es limpiado antes de mezclar la bachada de ensayo.

- **Mezcla manual:** Se mezcló en una bandeja o vasija metálica, impermeable, limpia y húmeda, con un palustre despuntado de albañil, utilizando el siguiente procedimiento: Se debe mezclar el cemento, aditivo en polvo insoluble, si se va a utilizar, y el agregado fino sin adición de agua hasta que se logre una mezcla homogénea. Seguidamente, se adiciona el agregado grueso mezclándolo sin adición de agua, hasta que se distribuya uniformemente en la mezcla.

Vaciado del Concreto

- **Lugar del moldeo:** Se deben moldear los especímenes lo más cerca posible al lugar donde se van a guardar para sufragado en las siguientes 24 horas. Los moldes se llevarán al depósito inmediatamente después de su elaboración y se colocarán sobre una superficie rígida y libre de vibraciones, evitando inclinaciones y movimientos bruscos. Durante el transporte, se deben evitar sacudidas, golpes, inclinaciones o raspaduras de la superficie.

- **Colocación:** El concreto se debe colocar en los moldes utilizando un palustre o utensilio similar. Se debe seleccionar cada palada de concreto de tal manera que sea representativa de la bachada; además, la mezcla de concreto en el recipiente se debe remezclar continuamente durante el moldeo de los especímenes, con el objeto de prevenir la segregación. El palustre se debe mover alrededor del borde superior del molde a medida que se descarga el concreto, con el fin de asegurar una distribución simétrica de éste y minimizar la segregación del agregado grueso dentro del molde. Posteriormente se distribuye el concreto con la varilla compactadora, antes del inicio de la consolidación. En la colocación de la capa final se debe intentar colocar una capa de concreto que complete exactamente el relleno del molde. No se permite la adición de muestras que no sean representativas del concreto dentro de un molde insuficientemente llenado.
- **Número de capas:** El número de capas con el cual se fabrica serán según lo indicado en la tabla 20.
- **Compactación:** La selección del método de compactación debe hacerse con base en el asentamiento, a menos que el método sea establecido en las

especificaciones bajo las cuales se trabaja (Tabla 20). Los dos métodos de compactación son: apisonado (por varillado) y vibración (externa o interna). Si el concreto tiene un asentamiento mayor de 75 mm (3") debe usarse el método de apisonado. Si el asentamiento es de 25 a 75 mm (1 a 3") debe usarse el método de apisonado o el de vibración, prefiriéndose el método usado en la ejecución de la obra. Si el asentamiento es inferior a 25 mm (1") debe usarse el método de vibración. No se debe usar vibración interna para cilindros con diámetro inferior a 100 mm y para prismas de 100 mm de profundidad o menos. Los concretos con contenido de agua tal que no pueden ser compactados por los ensayos aquí descritos no estarán contemplados por la presente norma.

Tabla 20. *Numero de capas requeridas en la elaboración de las mezclas*

Tipo de tamaño de la muestra en mm (pulgadas)	Método de Compactación	Número de Capas	Altura aproximada de la capa en mm (pulgadas)
Cilindros			
Hasta 300(12)	Apisonado(varillado)	3 iguales	100 (4)
Mayor que 300(12)	Apisonado(varillado)	las requeridas	
Hasta 460(18)	Vibración	2 iguales	200(4)
Mayor que 460(18)	Vibración	3 ó mas	
Prismas			
Hasta 200(8)	Apisonado(varillado)	2 iguales	100 (4)
Mayor que 200(8)	Apisonado(varillado)	3 ó mas	
Hasta 200(8)	Vibración	1	200(8) C172
Mayor que 200(8)	Vibración	2 ó mas	

Fuente: *Manual de ensayo de materiales – MTC*

- **Apisonado por varillado.** Se colocó el concreto en el molde con el número de capas requeridas (Tabla 20) aproximadamente del mismo volumen.

Se apisonó cada capa con la parte redonda de la varilla, utilizando el número de golpes y el tamaño de la varilla especificado en la Tabla 21. La capa inicial se apisona introduciendo la varilla hasta el fondo del molde. La distribución de golpes para cada capa debe ser uniforme sobre toda la sección transversal del molde.

Para cada capa superior a la inicial se debe atravesar aproximadamente en 12 mm ($\frac{1}{2}$ ") la capa anterior cuando la profundidad de la capa sea menor de 100 mm (4"); aproximadamente en 25 mm (1") cuando la profundidad de la capa sea mayor de 100 mm (4"). En caso de dejar algunos huecos por la varilla se deben golpear ligeramente los lados del molde para cerrar dichos huecos. En los elementos prismáticos, introdúzcase el badilejo (o similar) por los costados y extremos después de apisonar cada capa.

- **Vibración.** Se tuvo que mantener un mismo tiempo de vibración para un conjunto particular de concreto, vibrador y molde que se esté utilizando. La vibración se transmitió al cilindro durante el tiempo suficiente para lograr la adecuada

compactación del concreto, pues un exceso de vibrado puede causar segregación. El molde se llenó y vibró en capas iguales aproximadamente. Todo el concreto para cada capa se debe colocar en el molde antes de iniciar el vibrado. La duración del vibrado depende de la manejabilidad del concreto y la efectividad del vibrador. Se considera suficiente el vibrado, cuando el concreto presente una superficie relativamente lisa.

- **Vibración interna.** El diámetro del eje o dimensión lateral de un vibrador interno no debe ser mayor de $1/3$ del ancho del molde en el caso de vigas o prismas. Para cilindros, la relación del diámetro del cilindro al diámetro del vibrador debe ser igual o mayor de 4,0. Al compactar la muestra el vibrador no debe tocar el fondo, las paredes del molde u objetos embebidos en el concreto. El vibrador se debió extraer cuidadosamente de tal manera que no queden bolsas de aire dentro de las muestras. Se deben golpear ligeramente los lados del molde para asegurarse que no queden aprisionadas burbujas de aire en su superficie.
- **Vibración interna para cilindros.** En cada capa se debió introducir el vibrador en tres sitios diferentes en cada capa el vibrador debe penetrar en la capa anterior aproximadamente 25 mm.

- **Vibración interna para vigas y prismas.** Se introdujo el vibrador en puntos separados por una distancia no mayor de 150 mm (6") a lo largo de la línea central de la mayor dimensión de la muestra. Para moldes de ancho mayor de 150 mm (6") se debe introducir el vibrador en dos líneas alternando las inserciones. Se debe permitir penetrar el eje del vibrador en la capa del fondo aproximadamente 25 mm (1").

Tabla 21. Diámetro de varilla y número de golpes por capa

CILINDROS		
Diámetro del cilindro mm (pulgadas)	Diámetro de varilla en mm (pulgadas)	Número de golpes por capa
50 (2) a 150 (6)	10 (3/8)	25
150 (6)	16 (5/8)	25
200 (8)	16 (5/8)	50
250 (10)	16 (5/8)	75
VIGAS Y PRISMAS		
Área de la superficie superior De la muestra en cm ² (pulg ²)	Diámetro de varilla en mm (pulgadas)	Número de golpes por capa
160 (25)	10 (3/8)	25
165 (26) a 310 (49)	10 (3/8)	1 por cada 7cm ² (1pulg ²) de área
320 (50) o más	16 (5/8)	1 por cada 14cm ² (2pulg ²) de área

Fuente: Manual de ensayo de materiales – MTC

Para nuestro en el caso de nuestro ensayo, en los cilindros se trabajó con un diámetro de 150mm en donde el diámetro de la varilla fue de 5/8” y el número de golpes por capa fue de 25.

- **Acabado.** Después de la compactación, se efectuó el acabado con las manipulaciones mínimas, de tal manera que la superficie quede plana y pareja a nivel del borde del cilindro o lado del molde, y no debió tener depresiones o protuberancias mayores de 3,2 mm (1/8”).
- **Acabados de cilindros.** Después de la compactación, se efectuó el acabado de la superficie por medio de golpes con la varilla apisonadora cuando la consistencia del concreto lo permita o con un badilejo o llana de madera. Si se desea, puede colocarse una capa de pasta de cemento sobre el espécimen a manera de refrentado (capping)
- **Curado.**
 - **Cubrimiento después del acabado.** Para evitar la evaporación de agua del concreto sin endurecer, los testigos debieron ser cubiertos inmediatamente después del acabado, preferiblemente con una platina no reactiva con el concreto, o con una lámina de plástico dura e impermeable. Se permite el uso de lona húmeda para el

cubrimiento de la muestra, pero se evitará el contacto directo de la muestra con la lona, la cual debe permanecer húmeda durante las 24 horas contadas a partir del acabado de la muestra.

- **Extracción de la muestra.** Las muestras debieron ser removidas de sus moldes en un tiempo no menor de 20 horas ni mayor de 48 horas después de su elaboración cuando no se empleen aditivos; en caso contrario, se pudo emplear tiempos diferentes.
- **Ambiente de curado:** Las muestras se mantuvieron en condiciones de humedad con temperatura de $23,0^{\circ} \pm 2,0^{\circ}\text{C}$ desde el momento del moldeo hasta el momento de ensayo

El almacenamiento durante las primeras 48 horas de curado se hizo en un medio libre de vibraciones.

La condición de humedad debe lograrse por inmersión de la muestra sin el molde en agua. Se permitió lograr la condición de humedad por el almacenamiento en un cuarto húmedo.

No deben exponerse los especímenes a condiciones de goteo o de corrientes de agua.

Debió evitarse que se sequen las paredes de la muestra luego del periodo de curado.

3.10.2. Asentamiento (Slump).

a) **Molde:** Debió ser metálico, inatacable por el concreto, con espesor de lámina no inferior a 1,14 mm (0,045"). Su forma interior debía ser la superficie lateral de un tronco de cono de 203 ± 2 mm ($8" \pm 1/8"$) de diámetro en la base mayor, 102 ± 2 mm ($4" \pm 1/8"$) de diámetro en la base menor y 305 ± 2 mm ($12" \pm 1/8"$) de altura. Las bases deben ser abiertas, paralelas entre sí y perpendiculares al eje del cono. El molde debió estar provisto de agarraderas y de dispositivos para sujetarlo con los pies, como se indica en la Figura 4. La costura de la lámina debe ser esencialmente como la indicada en la Figura 4. El interior del molde debe estar libre de abolladuras, ser liso y sin protuberancias.

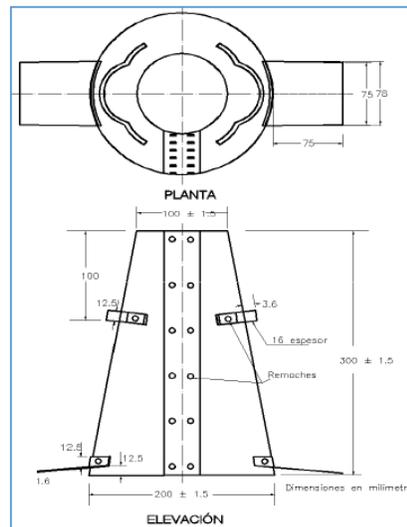


Figura 04. Molde para determinar el Asentamiento

Fuente: Manual ensayo de materiales – MTC

Varilla compactadora: Debió ser de hierro liso, cilíndrica, de 16 mm (5/8") de diámetro y de longitud aproximada de 600 mm (24"); el extremo compactador debe ser hemisférico con radio de 8 mm (5/16") como se muestra en la figura 5.

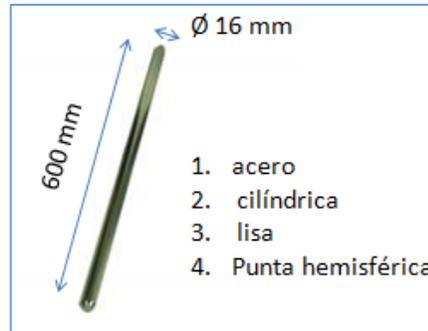


Figura 05. Varilla compactadora

Fuente: Manual ensayo de materiales – MTC

b) Procedimiento. Se humedeció el molde y se coloca sobre una superficie horizontal rígida, plana, húmeda y no absorbente. Se sujetó firmemente con los pies y se llena con la muestra de concreto en tres capas, cada una de ellas de un tercio del volumen del molde, aproximadamente. Un tercio del volumen del molde corresponde, aproximadamente, a una altura de 67 mm; dos tercios del volumen corresponden a una altura de 155 mm.

Cada capa debió compactarse con 25 golpes de la varilla, distribuidos uniformemente sobre su sección transversal. Para

la capa del fondo es necesario inclinar ligeramente la varilla dando aproximadamente la mitad de los golpes cerca del perímetro y avanzando con golpes verticales en forma de espiral, hacia el centro. La capa del fondo se debió compactar en todo su espesor; las capas intermedia y superior en su espesor respectivo, de modo que la varilla penetre ligeramente en la capa inmediatamente inferior.

Al llenar la capa superior se debió apilar concreto sobre el molde antes de compactar. Si al hacerlo se asienta por debajo del borde superior, se debe agregar concreto adicional para que en todo momento haya concreto sobre el molde. Después que la última capa ha sido compactada se debió alisar a ras la superficie del concreto. Inmediatamente el molde es retirado, alzándolo cuidadosamente en dirección vertical.

El concreto del área que rodea la base del cono debió ser removido para prevenir interferencia con el proceso de asentamiento. El alzado del molde debió hacerse en un tiempo aproximado de 5 ± 2 segundos, mediante un movimiento uniforme hacia arriba, sin que se impartiera movimiento lateral o de torsión al concreto.

La operación completa, desde que se comienza a llenar el molde hasta que se retira, se debe hacer sin interrupción en un tiempo máximo de 2 minutos 30 segundos.

El ensayo de asentamiento se comenzó a más tardar 5 minutos después de tomada la muestra.

Inmediatamente después, se midió el asentamiento, determinando la diferencia entre la altura del molde y la altura medida sobre el centro original de la base superior del espécimen, como se puede ver en la Fig.6

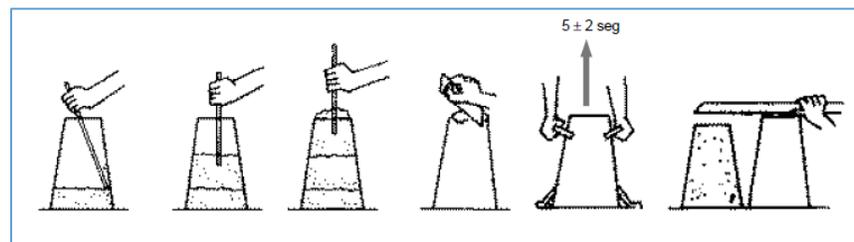


Figura 02. Procedimiento para el asentamiento del concreto fresco

Fuente: Ing. José Álvarez Cangahuala

Si ocurre un derrumbamiento pronunciado o desprendimiento del concreto hacia un lado del espécimen, se debe repetir el ensayo sobre otra porción de la muestra. Si dos ensayos consecutivos sobre una muestra de concreto dan este resultado, el concreto carece probablemente de la plasticidad y

cohesión necesarias para que el ensayo de asentamiento sea aplicable.

3.10.3. Resistencia a la Compresión

El ensayo consiste en aplicar una carga axial de compresión a cilindros moldeados o a núcleos, a una velocidad de carga prescrita, hasta que se presente la falla. La resistencia a la compresión del espécimen se determina dividiendo la carga aplicada durante el ensayo por la sección transversal de éste. Los resultados de este ensayo se pueden usar como base para el control de calidad de las operaciones de dosificación, mezclado y colocación del concreto; para el cumplimiento de especificaciones y como control para evaluar la efectividad de aditivos y otros usos similares.

Se debió tener cuidado en la interpretación del significado de las determinaciones de la resistencia a la compresión mediante este método de ensayo, por cuanto la resistencia no es una propiedad intrínseca fundamental del concreto elaborado con determinados materiales.

Los valores obtenidos dependen del tamaño y forma del espécimen, de la tanda, de los procedimientos de mezclado, de los métodos de muestreo, moldes y fabricación, así como

de la edad, temperatura y condiciones de humedad durante el curado.

Tabla 22. Tolerancias

Edad del Ensayo	Edad del Ensayo
12 horas	0.25 0 2.1 %
24 horas	+ - 0.5 horas o 2.1%
3 días	2horas ó 2.28%
7 días	6 horas ó 3.6%
28 días	20 horas 3,0%
56 días	40 horas ó 3.0%
90 días	2días ó 2.2%

Fuente: Manual de ensayo de materiales – MTC

a) Procedimiento

- **Colocación de la Muestra:** Se colocó el bloque de carga inferior sobre la plataforma de la máquina de ensayo, directamente debajo del bloque superior. Se limpió con un paño las superficies de los bloques superior e inferior y se colocó el espécimen sobre el bloque inferior. Se alineó cuidadosamente el eje del espécimen con el centro de presión del bloque superior. El bloque con

rótula se tuvo que rotar inmediatamente antes de proceder al ensayo, para asegurar la libertad de movimiento requerida.

Antes de ensayar el espécimen se debió verificar que el indicador de carga esté ajustado en cero.

- **Velocidad de Carga:** Se aplicó la carga continuamente sin golpes bruscos.

La carga se debió aplicar a una velocidad correspondiente a una tasa de aplicación de carga comprendida en el rango de $0,25 \pm 0,05$ MPa/s (35 ± 7 psi/s). La velocidad escogida se tuvo que mantener, al menos, durante la segunda mitad del ciclo de ensayo, para la fase de carga prevista. Sin embargo, no se deberá ajustar la velocidad de movimiento a medida que se está alcanzando la carga última y la tasa de aplicación de carga decrece debido al agrietamiento del cilindro.

Durante la aplicación de la primera mitad de la fase de carga prevista, se permite una velocidad de carga mayor, siempre que ésta se controle para evitar cargas por impacto.

Para máquinas de tipo tornillo o de deformación controlada, se requiere un ensayo preliminar para establecer la velocidad de movimiento requerida para generar la tasa de carga especificada. Dicha velocidad dependerá del tamaño del cilindro, del módulo elástico del concreto y de la rigidez de la máquina de ensayo.

Cuando se ensayan cilindros sin refrentar, puede ocurrir una fractura de esquina antes de alcanzar la carga última; en tal caso se debe continuar la compresión hasta que se tenga la certeza de haber alcanzado la carga última.

Se registró la carga máxima soportada por el cilindro durante el ensayo y se anotó el patrón de falla de acuerdo con los modelos de la Figura 17, si se ajusta a alguno de ellos. En caso contrario se harán un dibujo y una descripción del tipo de falla producido.

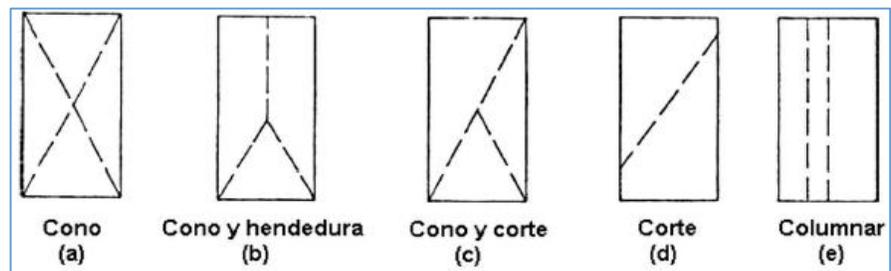


Figura 07. Esquemas de tipos de falla.

Fuente: Manual de Ensayo de Materiales del MTC.

CAPITULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIONES

4. RESULTADOS Y DISCUSIONES

4.1. RESULTADOS DE LOS ENSAYOS REALIZADOS

En este capítulo se presentan los resultados de los ensayos realizados a los agregados utilizados en obra para calcular el Diseño de Mezcla de acuerdo al Método de Diseño del Comité 211 del ACI.

Luego con el resultado obtenido se precedió a la elaboración de los testigos de concreto de 175 kg/cm² y 210 kg/cm², de esta manera después de 07, 14 y 28 días respectivamente de curado las muestras se sometieron al Ensayo de Resistencia a la Compresión.

Se realizaron testigos Patrón sin algún tipo de adición y testigos a los cuales se les adicionó materiales de reciclaje PET desde 5%, 10% y 15% respectivamente, de esta forma determinar el porcentaje ideal de adición que permita mejorar la resistencia promedio del concreto sin modificar demasiado sus propiedades físicas. La elaboración de las probetas se realizó en los laboratorios de la Universidad Nacional del Santa.

El proceso de los ensayos realizados, se detalla en el Capítulo III y en el Anexo I, en donde se proporciona toda la información necesaria para la obtención de los valores y resultados que se expresan de manera resumida en este capítulo.

4.2.RESULTADOS DE LOS ENSAYOS REALIZADOS A LOS AGREGADOS UTILIZADOS EN LABORTORIO PARA EL CALCULO DE LOS DISEÑOS DE MEZCLA.

4.2.1. Agregado Grueso (Piedra Chancada – Cantera “La Sorpresa”)

El resultado de los ensayos realizados al Agregado Grueso se encuentra en el siguiente cuadro:

CUADRO N°1. Resultado de los ensayos realizados al Agregado Grueso.

4.2.2. Agregado Fino (Arena Gruesa – Cantera “La Sorpresa”)

El resultado de los ensayos realizados al Agregado Fino se encuentra en el siguiente cuadro:

CUADRO N°2. Resultado de los ensayos realizados al Agregado Fino.

4.2.3. Diseño de Mezcla

El resultado del Diseño de Mezcla de acuerdo al Método de Diseño del Comité 211 del ACI se encuentra en el siguiente cuadro:

CUADRO N° 03. Resultado del Diseño de Mezcla de los Agregados utilizados en Obra.

4.3.RESULTDOS DE DOSIFICACION Y CARACTERISTICAS DE TESTIGOS DE CONCRETO REALIZADOS EN LABORATORIO

4.3.1. Muestra de Concreto Patrón sin Adición de PET

El resultado de las testigos de concreto de resistencia $F'c=175$ y 210 Kg/cm² realizadas se encuentra en los siguientes cuadros:

CUADRO Nº 04. Resultados del ensayo de resistencia a la compresión de los testigos elaboradas sin contenido de Materiales plásticos PET.

4.3.2. Muestra de Concreto con Adición de 5% de PET

El resultado de las testigos de concreto de resistencia $F'c=175$ y 210 Kg/cm² realizadas se encuentra en los siguientes cuadros:

CUADRO Nº 05. Resultados del ensayo de resistencia a la compresión de los testigos elaboradas adicionando 5% de Materiales Plásticos PET.

4.3.3. Muestra de Concreto con Adición de 10% de PET

El resultado de las testigos de concreto de resistencia $F'c=175$ y 210 Kg/cm² realizadas se encuentra en los siguientes cuadros:

CUADRO Nº 06. Resultados del ensayo de resistencia a la compresión de los testigos elaboradas adicionando 10% de Materiales Plásticos PET.

4.3.4. Muestra de Concreto con Adición de 15% de PET

El resultado de las testigos de concreto de resistencia $F'c=175$ y 210 Kg/cm² realizadas se encuentra en los siguientes cuadros:

CUADRO Nº 07. Resultados del ensayo de resistencia a la compresión de los testigos elaboradas adicionando 15% de Materiales Plásticos PET.

CUADRO Nº 1: RESULTADO DE LOS ENSAYOS REALIZADOS AL AGREGADO GRUESA (PIEDRA CHANCADA – CANTERA “LA SORPRESA”)

AGREGADO GRUESO (PIEDRA CHANCADA)	
Tamaño Máximo Nominal	3/4"
Peso Seco Varillado	1630.08
Peso Especifico	2.70
Absorción	0.22
Contenido de Humedad	0.31
Peso Unitario Suelto	1449.38

FUENTE: Elaboración Propia

CUADRO Nº 2: RESULTADO DE LOS ENSAYOS REALIZADOS AL AGREGADO FINO (ARENA GRUESA – CANTERA “LA SORPRESA”)

AGREGADO FINO (ARENA GRUESA)	
Módulo de Fineza	2.71
Peso Especifico	2.75
Absorción	1.41
Contenido de Humedad	0.73
Peso Unitario Suelto	1491.47

FUENTE: Elaboración Propia

CUADRO N° 3: RESULTADO DEL DISEÑO DE MEZCLA

DISEÑO DE MEZCLA (DOSIFICACION POR PESO)		
	Concreto F'c 175 Kg/cm2	Concreto F'c 210 Kg/cm2
Cemento	1	1
Agregado Fino Húmedo	2.47	2.10
Agregado Grueso Húmedo	3.16	2.81
Agua Efectiva	0.63	0.56

FUENTE: Elaboración Propia

Comentario:

De acuerdo a los ensayos realizados en laboratorio a las muestras de los agregados extraídos de la obra, se determinó que para una resistencia $f'c=175\text{kg/cm}^2$ y $f'c=210\text{kg/cm}^2$ la dosificación adecuada será la mostrada en el cuadro.

CUADRO Nº 4: RESULTADOS DEL ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE LOS TESTIGOS ELABORADAS SIN CONTENIDO DE MATERIALES PLÁSTICOS PET.

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN - MUESTRA PATRÓN				
	F'c 175 Kg/cm2		F'c 210 Kg/cm2	
	Testigo 01	Testigo 02	Testigo 01	Testigo 02
Asentamiento Slump	4"		4"	
Trabajabilidad	Mezcla Plástica Trabajable de fácil vibrado		Mezcla Plástica Trabajable de fácil vibrado	
Resistencia a los 7 Días	111.99 kg/cm2	138.48 kg/cm2	168.44 kg/cm2	183.67 kg/cm2
% de Resistencia a los 7 Días	63.99%	79.13%	80.21%	87.46%
Resistencia a los 14 Días	143.15 kg/cm2	147.84 kg/cm2	192.39 kg/cm2	194.33 kg/cm2
% de Resistencia a los 14Dias	81.80%	84.48%	91.61%	92.54%
Resistencia a los 28 Días	183.92 kg/cm2	182.37 kg/cm2	217.01 kg/cm2	213.37 kg/cm2
% de Resistencia a los 28 Días	105.10%	104.21%	103.34%	101.60%

FUENTE: *Elaboración Propia*

CUADRO Nº 5: RESULTADOS DEL ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE LOS TESTIGOS ELABORADOS ADICIONANDO 5% DE MATERIALES PLÁSTICOS PET.

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN - MUESTRA 5% PET				
	F'c 175 Kg/cm ²		F'c 210 Kg/cm ²	
	Testigo 01	Testigo 02	Testigo 01	Testigo 02
Asentamiento Slump	3.5"		2.5"	
Trabajabilidad	Mezcla Plástica Trabajable de fácil vibrado		Mezcla Plástica Trabajable de fácil vibrado	
Resistencia a los 7 Días	109.41 kg/cm ²	108.12 kg/cm ²	133.52 kg/cm ²	146.09 kg/cm ²
% de Resistencia a los 7 Días	62.52%	61.78%	63.58%	69.57%
Resistencia a los 14 Días	127.74 kg/cm ²	129.51 kg/cm ²	164.94 kg/cm ²	152.80 kg/cm ²
% de Resistencia a los 14Días	72.99%	74.01%	78.54%	72.76%
Resistencia a los 28 Días	148.72 kg/cm ²	139.12 kg/cm ²	184.00 kg/cm ²	183.51 kg/cm ²
% de Resistencia a los 28 Días	84.98%	79.50%	87.62%	87.39%

FUENTE: Elaboración Propia

CUADRO Nº 6: RESULTADOS DEL ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE LOS TESTIGOS ELABORADOS ADICIONANDO 10% DE MATERIALES PLÁSTICOS PET.

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN - MUESTRA 10% PET				
	F'c 175 Kg/cm²		F'c 210 Kg/cm²	
	Testigo 01	Testigo 02	Testigo 01	Testigo 02
Asentamiento Slump	2"		2"	
Trabajabilidad	Mezcla Plástica poco Trabajable de fácil vibrado		Mezcla Plástica poco Trabajable de fácil vibrado	
Resistencia a los 7 Días	90.07 kg/cm ²	75.85 kg/cm ²	120.51 kg/cm ²	127.21 kg/cm ²
% de Resistencia a los 7 Días	51.47%	43.34%	57.39%	60.58%
Resistencia a los 14 Días	90.93 kg/cm ²	101.20 kg/cm ²	133.69 kg/cm ²	135.73 kg/cm ²
% de Resistencia a los 14Días	51.96%	57.83%	63.66%	64.63%
Resistencia a los 28 Días	109.26 kg/cm ²	131.57 kg/cm ²	148.71 kg/cm ²	142.76 kg/cm ²
% de Resistencia a los 28 Días	62.43%	75.18%	70.81%	67.98%

FUENTE: *Elaboración Propia*

CUADRO Nº 7: RESULTADOS DEL ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE LOS TESTIGOS ELABORADOS ADICIONANDO 15% DE MATERIALES PLÁSTICOS PET.

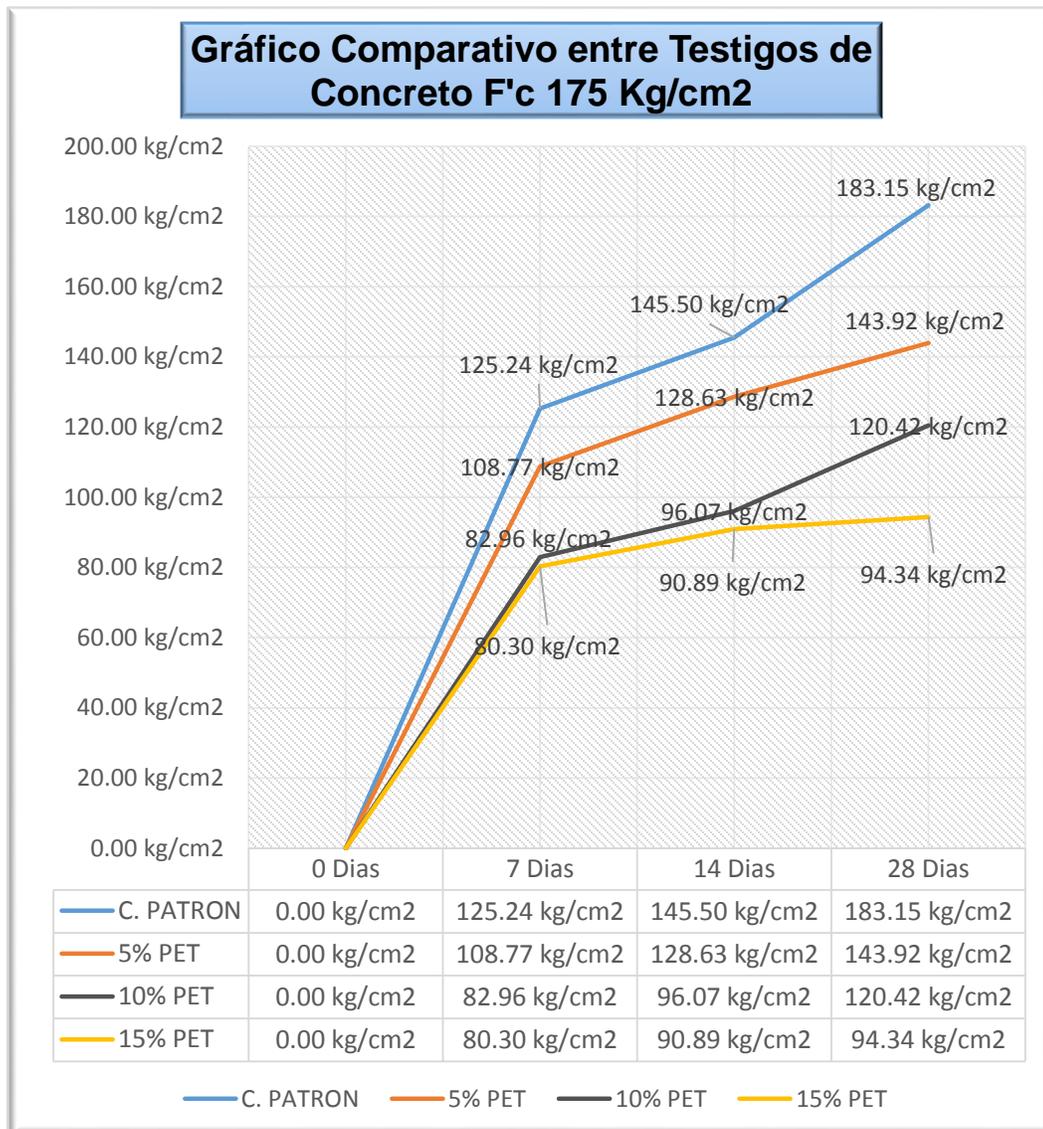
RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN - MUESTRA 15% PET				
	F'c 175 Kg/cm2		F'c 210 Kg/cm2	
	Testigo 01	Testigo 02	Testigo 01	Testigo 02
Asentamiento Slump	1.5"		1"	
Trabajabilidad	Mezcla Plástica no Trabajable de difícil vibrado		Mezcla Plástica no Trabajable de difícil vibrado	
Resistencia a los 7 Días	83.53 kg/cm2	77.07 kg/cm2	85.56 kg/cm2	94.04 kg/cm2
% de Resistencia a los 7 Días	47.73%	44.04%	48.89%	53.74%
Resistencia a los 14 Días	90.32 kg/cm2	91.45 kg/cm2	98.15 kg/cm2	106.16 kg/cm2
% de Resistencia a los 14Dias	51.61%	52.26%	56.09%	60.66%
Resistencia a los 28 Días	94.53 kg/cm2	94.14 kg/cm2	113.70 kg/cm2	108.90 kg/cm2
% de Resistencia a los 28 Días	54.02%	53.79%	64.97%	62.23%

FUENTE: Elaboración Propia

4.4.COMPARACION ENTRE TESTIGOS DE CONCRETO CON Y SIN ADICION DE PET.

GRAFICO Nº 01: Resultado Comparativo de Testigos de Concreto con Resistencia F’c=175 Kg/cm².

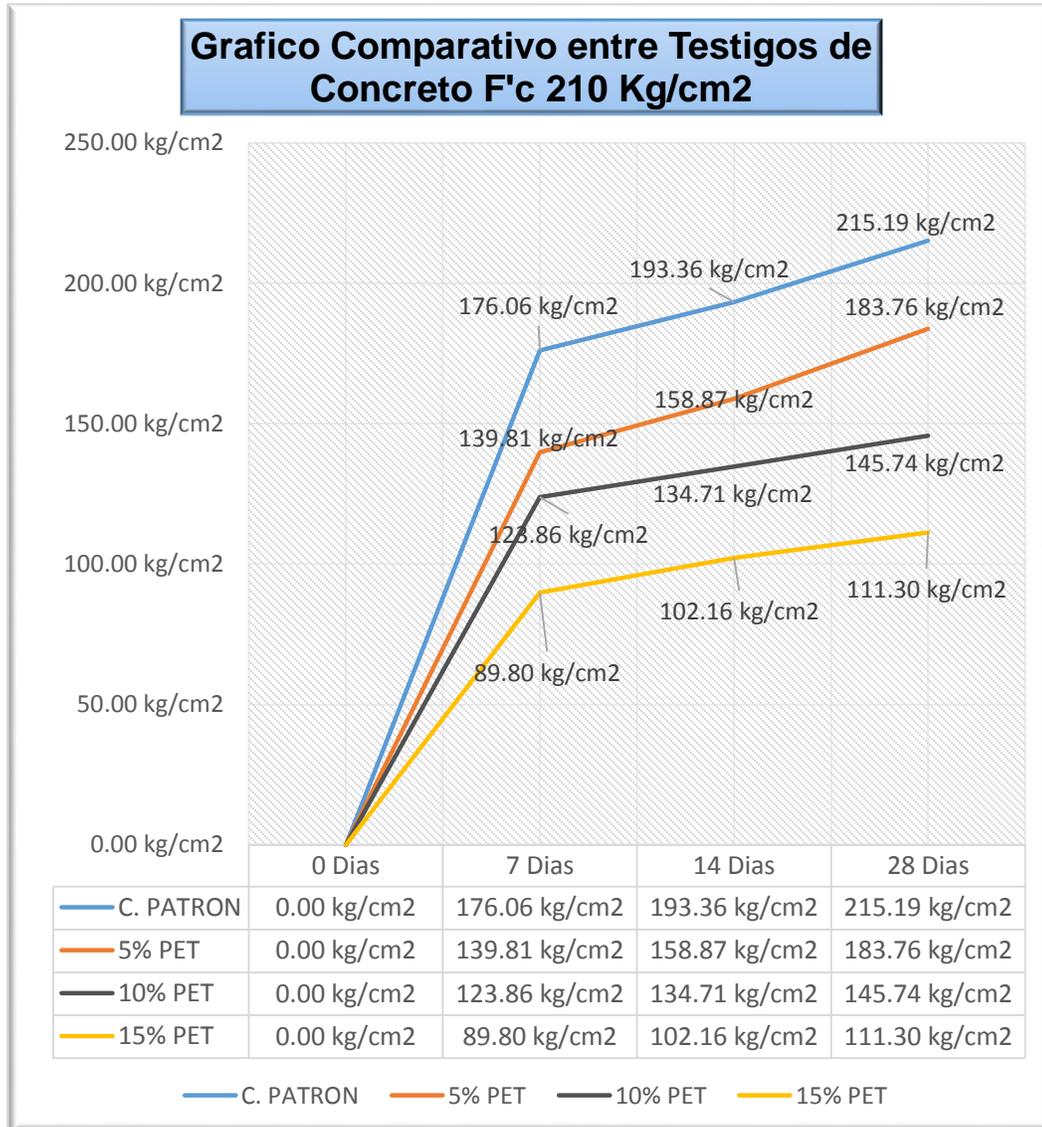
Los resultados del Ensayo de Resistencia a la Compresión se ubican en el Anexo III.



FUENTE: Elaboración Propia

GRAFICO Nº 02: Resultado Comparativo de Testigos de Concreto con Resistencia $F'c = 210 \text{ Kg/cm}^2$.

Los resultados del Ensayo de Resistencia a la Compresión se ubican en el Anexo III.



FUENTE: Elaboración Propia

4.5. ANALISIS Y DISCUSION DE RESULTADOS.

A continuación se analizara y discutirá, los resultados que se obtuvieron en el presente CAPÍTULO, y la comparación que se realizó, con la finalidad de contrastar la hipótesis.

4.5.1. SOBRE LA HIPOTESIS.

“Si utilizamos materiales plásticos de reciclaje triturados (PET) como adición en la elaboración de concreto, se obtendrá un concreto con mejores propiedades físicas y mecánicas”.

Para evaluar la presente hipótesis se realizaron ensayos de resistencia a la compresión a testigos de concreto elaborados en el laboratorio de la Universidad Nacional del Santa los cuales fueron adicionados con Materiales Plásticos de Reciclaje (PET) obtenidos luego de ser triturados, lavados, secados y tamizados, se procedió a colocar los testigos de concreto en agua para continuar el proceso de curado. La rotura de probetas se realizó a los 7, 14 y 28 días respectivamente dando resultados negativos respecto a la hipótesis planteada, ello lo podemos visualizar en los gráficos N° 08 y 09.

A continuación se realiza un comentario de todos los resultados obtenidos durante el desarrollo de la tesis.

4.5.2. CARACTERISTICAS DEL CONCRETO DURANTE SU ELABORACION

4.5.2.1. Testigos de Concreto Patrón Elaborados Sin Adición de PET.

Se elaboraron los testigos de concreto en el laboratorio de la Universidad Nacional del Santa cumpliendo el diseño de mezcla establecido al inicio, la mezcla era trabajable presentando un slump promedio de 4” entre los testigos patrón de los diseños de mezcla de 175 Kg/cm² y 210 Kg/cm².

4.5.2.2. Testigos de Concreto Patrón Elaborados Con Adición de PET.

Se elaboraron los testigos de concreto en el laboratorio de la Universidad Nacional del Santa cumpliendo el diseño de mezcla establecido al inicio y adicionando PET en un 5%, 10% mientras que a partir del 15% no cumplía con el Slump en ninguno de los diseños de mezclas realizados, verificándose que:

- Al adicionar mayor cantidad PET triturado la mezcla iba perdiendo la plasticidad y disminuyendo el asentamiento y por consiguiente la trabajabilidad del concreto.
- A mayor proporción de PET adicionado el concreto no se conglomeraba de manera correcta por lo que la resistencia a la compresión disminuía.

CAPITULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

- Habiendo desarrollado la presente tesis se determinó, que la adición de material plástico reciclado (PET) no llegaron a mejorar las propiedades físicos-mecánicas de una mezcla convencional de concreto por lo tanto la Hipótesis no es aceptada.
- Para concretos de **F^c 175 kg/cm²**:
 - Se obtuvo un asentamiento de 4”,3.5”, 2” y 1.5.” para las mezclas de concreto con 0%, 5%, 10% y 15% respectivamente
 - Se obtuvo una resistencia promedio a los 28 días de 183.15 Kg/cm², 143.92 Kg/cm², 120.42 Kg/cm², 94.34 Kg/cm² para las mezclas de concreto con 0%, 5%, 10% y 15% respectivamente. – al 5 % de PET la resistencia se redujo en 21.42 %, al 10 % de PET la resistencia se redujo en 34.25 % y al 15 % de PET la resistencia se redujo en 48.49 %.
- Para concretos de **F^c 210 kg/cm²**:
 - Se obtuvo un asentamiento de 4”,2.5”, 2” y 1” para las mezclas de concreto con 0%, 5%, 10% y 15% respectivamente.
 - Se obtuvo una resistencia promedio a los 28 días de 215.19 Kg/cm², 183.76 Kg/cm², 145.74 Kg/cm², 111.30Kg/cm² para las mezclas de concreto con 0%, 5%, 10% y 15% respectivamente. – al 5 % de PET la resistencia se redujo en 14.61 %, al 10 % de PET la resistencia se redujo en 32.28% y al 15 % de PET la resistencia se redujo en 48.28 %.

- El manejo del diseño de las mezclas disminuye con la adición de materiales de reciclaje. Este fenómeno se observó especialmente en la mezcla adicionada con materiales plásticos triturados PET, ya que, en su caso, cuando se utilizó una relación agua/cemento, correspondiente a una mezcla de resistencia moderada, se obtuvo un valor de asentamiento de 1” únicamente.
- La densidad del concreto disminuye conforme el porcentaje de agregado plástico incrementa, pues los materiales adicionados tiene menor peso, la disminución es de un 5% a 13 % teniendo como particularidad que esta reducción no es directamente proporcional al agregado plástico, sino a la aglomeración de sus partículas entre sí, las cuales provocan el aumento de contenido de aire en el concreto fresco y donde se podrá producir la falla.
- Uno de los beneficios de elaborar concreto con material plástico reciclado (PET) es que este aumenta el volumen del concreto en un 10 %, por lo tanto podemos utilizar estos diseños para mitigar ambientalmente el daño que ocasiona el hombre a nuestro planeta.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda continuar con la investigación y realizar las pruebas experimentales con las mezclas diseñadas anteriormente, añadiéndole un plastificante para obtener mejor trabajabilidad y así poder reducir el factor agua / cemento y buscar el aumento de la resistencia a la compresión.
- Realizar pruebas con otras dosificaciones de materiales de reciclaje, reduciendo también las dimensiones y formas de las partículas de los mismos, con el propósito de determinar si existe una combinación de elementos que proporcione mejores características físicas y mecánicas del concreto.
- Llevar a cabo ensayos que determinen la adherencia entre los materiales de reciclaje y demás elementos del concreto, para establecer si la adherencia puede ser un impedimento para que este tipo de concreto alcance una mayor resistencia.
- Las mezclas adicionadas con materiales plásticos de reciclaje estudiadas presentan características aptas para usos de concreto no estructural y poseen como ventaja un método de mitigación de daños ambientales producidos por los desechos sólidos y que el sector de la construcción aprovecharía.

CAPITULO VI:

BIBLIOGRAFIA

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Carbajal, E. P. (1998-1999). Topicos de Tecnologia del Concreto. Lima: CIP- Consejo Nacional.
- Rivva Lopez, E. (2000). Naturaleza y Materiales del Concreto. (A. Gomez, K. Ramos, & R. Herrera, Edits) Lima: ACI Peru.
- Lopez, E. R. (2012). Diseño de Mezclas. Lima.
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2016). Manual de ensayo de Materiales, Peru.
- Norma Técnica Peruana NTP 334.090, INDECOPI 2013.
- Méndez. (2012).
- Hernández et al. 2010.

PAGINAS DE INTERNET

- Cementos Pacasmayo.

<http://www.cementospacasmayo.com.pe>

- Distribuidora Norte Pacasmayo. “Control de Calidad de Concreto”

http://www.dino.com.pe/download/?file=100600_Control_de_Calidad_de_Concreto.pdf

- Ministerio de Transportes y Comunicaciones

https://www.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas_carreteras/documentos/manuales/Manual%20Ensayo%20de%20Materiales.pdf

- Tecnología del Plástico

<http://www.plastico.com/temas/El-reciclaje-de-PET-esta-en-su-mejor-momento+3084014>

- American Concrete Institute - ACI

<http://www.aci-peru.org/js254/>

CAPITULO VII:

ANEXOS

ANEXO I

PROPIEDADES FISICAS

DE LOS AGREGADOS

LABORATORIO DE SUELOS Y MECANICA DE MATERIALES

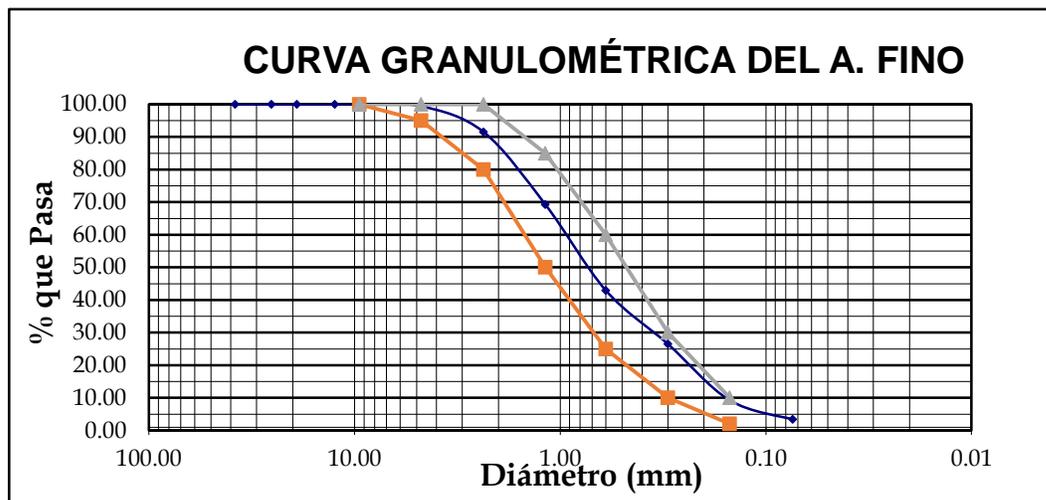
ENSAYOS PARA EL USO DE DISEÑO DE MEZCLA DEL CONCRETO

ENSAYO N°01: ANALISIS GRANULOMÉTRICO DEL AGREGADO FINO (ASTM

C136 / NTP 400.037) - Cantera "La Sorpresa"

Peso Inicial seco = 2356 gr.

Mallas	Abertura (mm)	Peso Retenido (gr)	Retenido Parcial (%)	Retenido Acumulado (%)	% que Pasa
1 1/2"	38.100	0.000	0.000	0.000	100.000
1"	25.400	0.000	0.000	0.000	100.000
3/4"	19.050	0.000	0.000	0.000	100.000
1/2"	12.500	0.000	0.000	0.000	100.000
3/8"	9.500	0.000	0.000	0.000	100.000
N° 04	4.750	14.000	0.594	0.594	99.406
N° 08	2.360	186.000	7.895	8.489	91.511
N° 16	1.180	525.000	22.284	30.772	69.228
N° 30	0.600	620.000	26.316	57.088	42.912
N° 50	0.300	386.000	16.384	73.472	26.528
N° 100	0.150	407.000	17.275	90.747	9.253
N° 200	0.074	138.000	5.857	96.604	3.396
Cazoleta		80.000	3.396	100.000	0.000
TOTAL		2356.000	100.000		

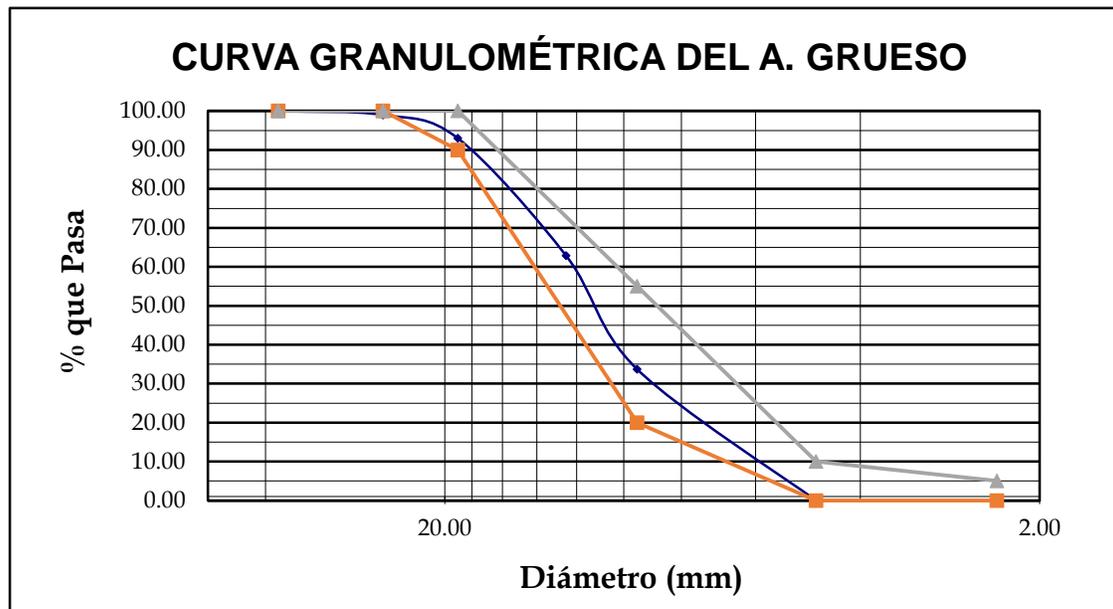


ENSAYO N°02: ANALISIS GRANULOMÉTRICO DEL AGREGADO GRUESO

(ASTM C136 / NTP 400.037) - Cantera “La Sorpresa”

Peso Inicial Seco: 498gr.

Mallas	Abertura (mm)	Peso Retenido (gr)	Retenido Parcial (%)	Retenido Acumulado (%)	% que Pasa	Tamaño Máximo Nominal
1 1/2"	38.100	0.000	0.000	0.000	100.000	3/4"
1"	25.400	5.000	1.004	1.004	98.996	
3/4"	19.000	30.000	6.024	7.028	92.972	
1/2"	12.500	150.000	30.120	37.149	62.851	
3/8"	9.500	145.000	29.116	66.265	33.735	
N° 04	4.750	168.000	33.735	100.000	0.000	
Cazoleta		0.000	0.000	100.000	0.000	
TOTAL		498.000	100.000			



ENSAYO 3: CONTENIDO DE HUMEDAD (ASTM D-2216-80)

MUESTRA : AGREGADO FINO - LA SORPRESA

$$\%W = \frac{\text{Masa Húmeda} - \text{Masa Seca}}{\text{Masa Seca}} * 100$$

		M1	M2	M3
01	Peso de la tara (gr)	27.615	29.385	27.870
02	Peso tara + suelo húmedo (gr)	121.284	111.161	122.644
03	Peso tara + suelo seco (gr)	120.69	110.47	121.97
04	Peso del agua (gr)	0.60	0.69	0.67
05	Peso del suelo seco (gr)	93.07	81.09	94.10
06	Contenido de humedad (%)	0.64	0.85	0.71

0.73

Tabla Fuente: Humedad natural del agregado Autores de la tesis

MUESTRA : AGREGADO GRUESO - LA SORPRESA

CONTENIDO DE HUMEDAD (ASTM D-2216-80)

$$\%W = \frac{\text{Masa Húmeda} - \text{Masa Seca}}{\text{Masa Seca}} * 100$$

		M1	M2	M3
01	Peso de la tara (gr)	28.451	27.837	26.883
02	Peso tara + suelo húmedo (gr)	180.026	199.982	187.117
03	Peso tara + suelo seco (gr)	179.55	199.39	186.66
04	Peso del agua (gr)	0.48	0.59	0.45
05	Peso del suelo seco (gr)	151.10	171.56	159.78
06	Contenido de humedad (%)	0.32	0.34	0.28

0.31

Tabla Fuente: Humedad natural del agregado Autores de la tesis

ENSAYO 3: PESO UNITARIO Y ABSORCION (NORMA ASTM C-29 Y NTP 400.017)

MUESTRA : AGREGADO FINO - LA SORPRESA

01	S = Peso de la muestra saturada superficialmente seca (gr)	503.00	PROMEDIO
02	A = Peso de la muestra seca (gr)	150.00	
03	B = Peso del picnómetro + agua (gr)	666.00	
04	C = Peso del picnómetro + muestra saturada superficialmente seca + agua (gr)	761.50	
05	Peso Específico Nominal	2.75	2.75
06	Absorción (%)	1.41	1.41

MUESTRA : AGREGADO GRUESO - LA SORPRESA

01	A = Peso de la muestra saturada superficialmente seca (gr)	3249.00	PROMEDIO
02	B = Peso de la muestra seca (gr)	3242.00	
03	C = Peso de la muestra sumergida (gr)	2040.00	
04	Peso Específico Nominal	2.70	2.70
05	Absorción (%)	0.22	0.22

PESO UNITARIO SUELTO AGREGADO FINO

01	Peso del molde (gr)	2123.00	2123.00	2123.00	PROMEDIO
02	Volumen del molde (cm ³)	2744.00	2744.00	2744.00	
03	Peso del molde + muestra suelta (gr)	6223.00	6213.00	6210.76	
04	Peso de la muestra suelta (gr)	4100.00	4090.00	4087.76	
05	Peso Unitario Suelto (Kg/m³)	1494.17	1490.52	1489.71	1491.47

PESO UNITARIO SUELTO AGREGADO GRUESO

01	Peso del molde (gr)	3013.00	3013.00	3013.00	PROMEDIO
02	Volumen del molde (cm ³)	8126.60	8126.60	8126.60	
03	Peso del molde + muestra compactada (gr)	14803.00	14856.00	14780.00	
04	Peso de la muestra compactada (gr)	11790.00	11843.00	11767.00	
05	Peso Unitario Suelto (Kg/m³)	1450.79	1457.31	1447.96	1449.38

ANEXO II

DISEÑO DE MEZCLA

DISEÑO DE MEZCLA 175 KG/CM²

I. ESPECIFICACIONES:

1.1. La Resistencia de Diseño a los 28 días es de 210 Kg/cm², se desconoce el valor de la desviación estándar.

1.2. Materiales:

1.2.1. Cemento Pacasmayo Portland Tipo I

Peso Específico	3.11	gr/cm ³
-----------------	------	--------------------

1.2.2. Agregado Fino

Arena Gruesa - Cantera de la zona

Peso Específico	2.75	gr/cm ³
Absorción	1.41	%
Contenido de Humedad	0.73	%
Módulo de Fineza	2.71	
Peso Unitario Suelto	1491	Kg/m ³

1.2.3. Agregado Grueso

Piedra Chancada

Tamaño Maximo Nominal	3/4"	
Peso Seco Varillado	1630	Kg/m ³
Peso Específico	2.70	gr/cm ³
Absorción	0.24	%
Contenido de Humedad	0.31	%
Peso Unitario Suelto	1449	Kg/m ³

1.2.4. Agua:

Agua Potable de la zona.

II. SECUENCIA DE DISEÑO:

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

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

tiene que: $f'_{cr} = f'_c + 70 \text{ Kg/cm}^2$

Entonces: $f'_{cr} = 175 + 70 = 245 \text{ Kg/cm}^2$

2.2. Selección del Tamaño Máximo Nominal:

El tamaño máximo nominal es de $3/4"$

2.3. Selección del Asentamiento:

Por condiciones de colocación se requiere de una mezcla plástica con un asentamiento de 3” a 4”.

2.4. Volumen Unitario de Agua:

Para una mezcla de concreto de 3” a 4” de asentamiento, sin aire incorporado y cuyo agregado tiene un tamaño máximo nominal de

3/4” , el volumen unitario de agua es de **205** Lt/m³.

2.5. Contenido de Aire:

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

2.6. Relación Agua - Cemento:

Para una resistencia de diseño $f'_{cr} =$ **245** Kg/cm² sin aire incorporado,
la relación agua – cemento es de **0.630** por Resistencia.

2.7. Factor Cemento:

$$205.00 / 0.63 = 325.4 \text{ Kg/m}^3 = 7.66 \text{ Bls/m}^3.$$

2.8. Contenido de Agregado Grueso:

Para un módulo de fineza de 2.71 y un tamaño máximo nominal de 3/4" le corresponde un volumen unitario de **0.629** m³ de agregado grueso varillado por unidad de volumen de concreto.

$$\text{Peso del Agregado Grueso} = 0.629 \times 1630 = 1025.27 \text{ Kg/m}^3$$

2.9. Cálculo de Volúmenes Absolutos:

Cemento	325.40 /	(3.11 x 1000)=	0.105 m ³
Agua	205.00 /	(1.00 x 1000)=	0.205 m ³
Aire Atrapado	2.00 %	=	0.020 m ³
Agregado Grueso	1025.27 /	(2.70 x 1000)=	0.380 m ³
Total		=	0.709 m ³

2.10 Contenido de Agregado Fino:

$$\begin{aligned} \text{Volumen absoluto de agregado fino} &: 1.00 - 0.709 = 0.291 \text{ m}^3 \\ \text{Peso de agregado fino seco} &: 0.291 \times 2.75 \times 1000 = 799.263207 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

2.11 Valores de Diseño:

Cemento	325.40 Kg/m ³
Agua de Diseño	205.00 Lt/m ³
Agregado Fino Seco	799.26 Kg/m ³
Agregado Grueso Seco	1025.27 Kg/m ³

2.12 Corrección por Humedad de los Agregados:

Agregado Fino	799.26	x	1.0073	805.10	Kg/m ³
Agregado Grueso	1025.27		1.0031	1028.45	Kg/m ³

Humedad Superficial de:		-			
Agregado Fino	0.73	-	1.41	=0.68	%
Agregado Grueso	0.31		0.24	0.07	%

Aporte de Humedad de los Agregados:		x			
Agregado Fino	799.26	x	-0.0068	-5.43	Lt/m ³
Agregado Grueso	1025.27		0.0007	0.76	Lt/m ³
Total			=	-4.68	Lt/m ³

		-		=	
Agua Efectiva	205.00		-4.68	209.68	Lt/m ³

Los pesos de los materiales ya corregidos serán:

Cemento	325.40	Kg/m ³
Agua Efectiva	209.68	Lt/m ³
Agregado Fino Húmedo	805.10	Kg/m ³

Agregado Grueso Húmedo 1028.45 Kg/m³

2.13 Proporción en Peso Húmedo:

325.40 / 325.40 : 805.10 / 325.40 : 1028.45 / 325.40 **1 : 2.47 : 3.16** **0.64**

2.14 Pesos por Tanda de una bolsa:

Cemento	1.00 x	42.5 =	42.50	Kg/bls
Agua Efectiva	0.64 x	42.5 =	27.39	Lt/bls
Agregado Fino Húmedo	2.47 x	42.5 =	105.15	Kg/bls
Agregado Grueso Húmedo	3.16 x	42.5 =	134.33	Kg/bls

2.15 Peso por Pie Cúbico del:

Agregado Fino Húmedo	805.10	x	35.31 /	1491 =	19.06	Kg/pie ³
Agregado Grueso Húmedo	1028.45	x	35.31 /	1449 =	25.06	Kg/pie ³

2.16 Dosificación en Volumen:

Cemento	7.66 /	7.66 =	1.00	pie ³
Agregado Fino Húmedo	19.06 /	7.66 =	2.49	pie ³
Agregado Grueso Húmedo	25.06 /	7.66 =	3.27	pie ³
Agua de Mezcla	209.68 /	7.66 =	27.39	Lt/bolsa

SE RECOMIENDA USAR : 1: 2.50: 3.30/ 27.40 Lt/bls

DISEÑO DE MEZCLA 210 KG/CM2

I.

ESPECIFICACIONES:

1.1. La Resistencia de Diseño a los 28 días es de 210 Kg/cm², se desconoce el valor de la desviación estándar.

1.2. Materiales:

1.2.1. Cemento Pacasmayo Portland

Tipo I

Peso Especifico	3.11	gr/c m ³
-----------------	------	------------------------

1.2.2. Agregado Fino

Arena Gruesa - Cantera de la zona

Peso Especifico	2.75	gr/c m ³
Absorción	1.41	%
Contenido de Humedad	0.73	%
Módulo de Fineza	2.71	
Peso Unitario Suelto	1491	Kg/m ³

1.2.3. Agregado Grueso

Piedra Chancada
Tamaño Maximo
Nominal

	3/4"	
Peso Seco Varillado	1630	Kg/m ³
Peso Especifico	2.70	gr/c m ³
Absorción	0.24	%
Contenido de Humedad	0.31	%
Peso Unitario Suelto	1449	Kg/m ³

1.2.4. Agua:

Agua Potable de la zona.

II. SECUENCIA DE DISEÑO:

2.1. Selección de la Resistencia (f'_{cr}):

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

$$\begin{aligned} \text{tiene que:} \quad f'_{cr} &= f'_c + 84 \text{ Kg/cm}^2 \\ &= 210 + 84 \\ \text{Entonces:} \quad f'_{cr} &= \quad = \quad 294 \quad \text{Kg/cm}^2 \end{aligned}$$

2.2. Selección del Tamaño Máximo

Nominal:

El tamaño máximo nominal es de $3/4''$

2.3. Selección del

Asentamiento:

Por condiciones de colocación se requiere de una mezcla plástica con

un asentamiento de $3''$ a $4''$.

2.4. Volumen Unitario de Agua:

Para una mezcla de concreto de $3''$ a $4''$ de asentamiento, sin aire incorporado y cuyo agregado tiene un tamaño máximo nominal de

$3/4''$, el volumen unitario de agua es de **205** Lt/m^3 .

2.5. Contenido de Aire:

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

2.6. Relación Agua - Cemento:

Para una resistencia de diseño $f_{cr} = 294$ Kg/cm² sin aire incorporado, la relación agua – cemento es de **0.560** por Resistencia.

2.7. Factor Cemento:

$$205.00 / 0.56 = 366.07 \text{ Kg/m}^3 = 8.61 \text{ Bls/m}^3.$$

2.8. Contenido de Agregado Grueso:

Para un módulo de fineza de 2.71 y un tamaño máximo nominal de 3/4" le corresponde un volumen unitario de **0.629** m³ de agregado grueso varillado por unidad de volumen de concreto.

$$\text{Peso del Agregado Grueso} = 0.629 \times 1630 = 1025.27 \text{ Kg/m}^3$$

2.9. Cálculo de Volúmenes Absolutos:

Cemento	366.07 / (3.11 × 1000) =	0.118 m ³
Agua	205.00 / (1.00 × 1000) =	0.205 m ³
Aire Atrapado	2.00 % =	0.020 m ³
Agregado Grueso	1025.27 / (2.70 × 1000) =	0.380 m ³
Total	=	0.722 m ³

2.10 Contenido de Agregado Fino:

$$\begin{aligned} \text{Volumen absoluto de agregado fino} & : 1.00 - 0.722 = 0.278 \text{ m}^3 \\ \text{Peso de agregado fino seco} & : 0.278 \times 2.75 \times 1000 = 763.2969177 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

2.11 Valores de Diseño:

Cemento	366.07 Kg/m ³
Agua de Diseño	205.00 Lt/m ³
Agregado Fino Seco	763.30 Kg/m ³
Agregado Grueso Seco	1025.27 Kg/m ³

2.12 Corrección por Humedad de los Agregados:

Agregado Fino	763.30	×	1.0073	=	768.87	Kg/m ³
Agregado Grueso	1025.27	×	1.0031	=	1028.45	Kg/m ³

Humedad Superficial de:

Agregado Fino	0.73	-	1.41	=	-0.68	%
Agregado Grueso	0.31	-	0.24	=	0.07	%

Aporte de Humedad de los Agregados:

Agregado Fino	763.30	×	(-0.0068)	=	-5.19	Lt/m ³
Agregado Grueso	1025.27	×	(0.0007)	=	0.76	Lt/m ³
Total				=	-4.43	Lt/m ³

Agua Efectiva	205.00	-	(-4.43)	=	209.43	Lt/m ³
---------------	--------	---	-----------	---	--------	-------------------

Los pesos de los materiales ya corregidos serán:

Cemento	366.07	Kg/m ³
Agua Efectiva	209.43	Lt/m ³
Agregado Fino Húmedo	768.87	Kg/m ³
Agregado Grueso Húmedo	1028.45	Kg/m ³

2.13 Proporción en Peso Húmedo:

$$366.07 / 366.07 : 768.87 / 366.07 : 1028.45 / 366.07 \quad \mathbf{1 : 2.10 : 2.81} \quad \mathbf{0.57}$$

2.14 Pesos por Tanda de una bolsa:

Cemento	1.00	×	42.5	=	42.50	Kg/bls
Agua Efectiva	0.57	×	42.5	=	24.31	Lt/bls
Agregado Fino Húmedo	2.10	×	42.5	=	89.26	Kg/bls
Agregado Grueso Húmedo	2.81	×	42.5	=	119.40	Kg/bls

2.15 Peso por Pie Cúbico del:

Agregado Fino Húmedo	768.87	×	35.31 /	1491	=	18.20	Kg/pie ³
Agregado Grueso Húmedo	1028.45	×	35.31 /	1449	=	25.06	Kg/pie ³

2.16 Dosificación en Volumen:

Cemento	8.61 /	8.61 =	1.00	pie ³
Agregado Fino Húmedo	18.20 /	8.61 =	2.11	pie ³
Agregado Grueso Húmedo	25.06 /	8.61 =	2.91	pie ³
Agua de Mezcla	209.43 /	8.61 =	24.31	Lt/bolsa

SE RECOMIENDA USAR : 1: 2.20: 3.00/ 24.50 Lt/bls

ANEXO III

PANEL FOTOGRAFICO

PANEL FOTOGRÁFICO



Foto N° 01 y 02:

Proceso de selección de muestra representativa del agregado grueso y fino mediante los procesos de cuarteo.



Foto N° 03:

Tamizado manual de muestra representativa del agregado grueso



Foto N° 04:

Pesos retenidos en las diferentes mallas durante el Análisis Granulométrico.



Foto N° 05:

Trituradora de plásticos de botellas (PET) ubicada en A.A.H.H 1 ero de Mayo.



Foto N° 06 y 07:

Lavado manual de material plástico (PET).



Foto N° 08:

Muestras representativas de los diferentes agregados para la determinación de su contenido de humedad.



Foto N° 09 y 10:

Uso del molde de madera para el ensayo donde se determina el peso unitario suelto y varillado de los agregados.



Foto N° 11 y 12:

Inmersión del agregado fino durante 24 horas, luego se decantó el agua y extendió la muestra sobre una bandeja, comenzando la operación de secado la superficie de las partículas.



Foto N° 13:

Se introdujo el picnómetro previamente tarado, 500.0 g del agregado fino, luego se agregó agua y se eliminó las burbujas de aire presentes.



Foto N° 14:

La muestra obtenida se deseca en el horno a 100 °C, hasta peso constante; luego se enfría al aire a temperatura ambiente durante 1 hora y se determina finalmente su peso seco.



Foto N° 15:

Se realiza el ensayo para determinar la gravedad específica del agregado grueso y su grado de absorción.



Foto N° 16 y 17:

Peso de los materiales de acuerdo al diseño de mezcla obtenido.



Foto N° 18,19 y 20:

Elaboración de concreto convencional de $F'c$: 175 k/cm^2 y 210 kg/cm^2 y de concreto con material plástico (PET) en sus diferentes porcentajes.



Foto N° 21:

Se realizó la prueba de Slump a la mezcla de concreto sin adición de material plástico.



Foto N° 22, 23 y 24:

Luego se realizó la prueba de asentamientos para el concreto con material plástico en sus diferentes porcentajes.



Foto N° 25 y 26:

Luego del vaciado del concreto, las probetas fueron llenadas en 3 capas, chuceando 25 veces y dándole 12 golpes con el martillo de goma por capa.



Foto N° 27:

Una vez terminado el llenado de las probetas, las probetas se colocan en un lugar donde permanezcan estáticas por un día para luego pasar al proceso de curado.

Foto N° 28:

Se desencofro las probetas para luego llevarlas a curar.



Foto N° 29:

El curado de las probetas se hizo a 7 días, 14 días y 28 días.





Foto N° 30, 31, 32, 33 y 34:

Se hizo la ruptura de probetas a los 7 días, 14 días y 28 días para el concreto convencional y el concreto con material plástico (PET).



Foto N° 36:

Se puede observar que cuando se elabora concreto con 5% de PET, su conglomerado es uniforme a la vista y el plástico no es visible.



Foto N° 37:

Se puede observar que cuando se elabora concreto con 15% de PET, su conglomerado ya no es uniforme, la mezcla se empobrece y el plástico es visible notablemente.