UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCAVELICA

(creada por Ley N° 25265)

FACULTAD DE CIENCIAS DE INGENIERÍA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

TESIS

DISEÑO DE MEZCLA CON EL MÉTODO MODELO DE EMPAQUETAMIENTO COMPRESIBLE Y USO DEL VIDRIO MOLIDO EN CONCRETOS DE ALTA RESISTENCIA, HUANCAVELICA

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

TECNOLOGÍA DE LOS MATERIALES

PRESENTADA POR:

- Bach. Vladimir Ronaldo, NÚÑEZ MARTÍNEZ
- Bach. Yurfa, YAPUCHURA CONDOR

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO CIVIL

HUANCAVELICA, PERÚ

2019

UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCAVELICA

FACULTAD DE CIENCIAS DE INGENIERÍA

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

En el Auditórium de la Facultad de Ciencias de Ingeniería, a los 15 días del mes de mayo del año 2019, a horas 11:30 a.m., se reunieron los miembros del Jurado Calificador conformado por los siguientes: **M.Sc. Iván Arturo AYALA BIZARRO (PRESIDENTE), Arq. Abdón Dante OLIVERA QUINTANILLA (SECRETARIO), M.Sc. Eleuterio Martín ALCÁNTARA ESPINOZA (VOCAL),** designados con Resolución de Consejo de Facultad N° 131-2017-FCI-UNH, de fecha 11 de abril del 2017, así mismo los miembros de Jurados Evaluadores han sido reestructurados con la Resolución de Decano N° 031-2019-FCI-UNH de fecha 10 de abril del 2019 y ratificados con Resolución de Decano N° 061-2019-FCI-UNH de fecha 13 de mayo del 2019, a fin de proceder con la calificación de la sustentación del informe final de tesis titulado: "DISEÑO DE MEZCLA CON EL MÉTODO MODELO DE EMPAQUETAMIENTO COMPRESIBLE Y USO DEL VIDRIO MOLIDO EN CONCRETOS DE ALTA RESISTENCIA, HUANCAVELICA", presentado por los Bachilleres **Yurfa YAPUCHURA CONDOR y Vladimir Ronaldo NÚÑEZ MARTÍNEZ,** para optar el **Título Profesional de Ingeniero Civil**; en presencia del **M.Sc. Marco Antonio LÓPEZ BARRANTES** como Asesor y la **Ing. Judith MARTÍNEZ QUISPE** como Co-Asesora del presente trabajo de tesis. Finalizado la evaluación a horas 12:30; se invitó al público presente y los sustentantes abandonar el recinto. Luego de una amplia deliberación por parte de los Jurados, se llegó al siguiente resultado:

Yurfa YAPUCHURA CONDOR

APROBADO ☒ POR UNANIMIDAD

DESAPROBADO ☐

Vladimir Ronaldo NÚÑEZ MARTÍNEZ

APROBADO ☒ POR UNANIMIDAD

DESAPROBADO ☐

En señal de conformidad, firmamos a continuación:

Presidente

Secretario

Vocal

Vº Bº Decano

AUTORES

Vladimir Ronaldo, NUÑEZ MARTINEZ

Yurfa, YAPUCHURA CONDOR

ASESOR

M.Sc. Marco Antonio, LOPEZ BARRANTES

Las vicisitudes presentadas a lo largo de nuestra formación profesional, han involucrado a un sin número de personas, quienes nos ayudaron a superar debilidades y desarrollar un espíritu científico; por eso, a ellos dedicamos con cariño este trabajo: docentes, asesores y nuestros padres.

AGRADECIMIENTOS

- A nuestros padres, por darnos los cimientos y la base necesaria para el desarrollo pleno de nuestras metas y objetivos trazados:
- A la Universidad Nacional de Huancavelica, nuestra casa de estudios, donde se compartió momentos gratos llenos conocimientos.
- A los docentes de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil, por brindarnos y despertar en nosotros inquietudes de desempeño en el campo profesional.
- A nuestros asesores: Ing. Marco Antonio López Barrantes y la Ing. Judith Martínez Quispe, quienes nos inculcaron y brindaron su valioso tiempo en el desarrollo de nuestro trabajo de investigación.
- Al grupo de investigación SAECOZ, por brindarnos y acompañarnos en nuestro desarrollo y acopio de experiencias gratas, académicas.
- Al Ing. Julio Ñavincopa Juño, por su apoyo y sus grandes consejos para el desarrollo del proyecto de tesis.
- Al técnico de Laboratorio, por sus guías y apoyo incondicional en nuestros trabajos realizados en el laboratorio.
- A todos(as) nuestros(as) amigos(as) y todas las personas que nos guiaron e inquietaron a seguir desarrollándonos y a no rendirnos.

A todos ellos muchas gracias

LOS TESISTAS

ÍNDICE

Agradecimientos ii

Índice iii

Índice de Tablas y Figuras vi

Resumen ix

Abstract x

Introducción xi

CAPÍTULO I: Problema 1

1.1 Planteamiento del problema 1

1.2 Formulación del problema 4

1.2.1 Problema general 4

1.2.2 Problemas específicos 4

1.3 Objetivos 4

1.3.1 Objetivo general 4

1.3.2 Objetivos específicos 4

1.4 Justificación 5

CAPITULO II: Marco Teórico 6

2.1 Antecedentes 6

2.1.1 Evidencia internacional 7

2.1.2 Evidencia nacional 12

2.1.3 Evidencia regional 17

2.1.4 Evidencia local 18

2.2 Bases teóricas 19

2.2.1 Estudio del concreto 19

2.2.1.1 Definición del Concreto 19

2.2.1.2 Componentes del concreto 22

2.2.1.3 Propiedades del concreto 40
2.2.1.4 Vidrió: Fabricación, composición y producción 42
2.2.2 Diseño de mezcla 44
2.2.2.1 Procedimiento de diseño de mezcla 47
2.3 Hipótesis 50
2.3.1 Hipótesis general 50
2.3.2 Hipótesis especificas 50
2.4 Definición de términos 50
2.5 Identificación de variables 51
2.5.1 Variable dependiente 51
2.5.2 Variable independiente 51
2.6 Operacionalización de las variables e indicadores 52
CAPITULO III: Metodología de la Investigación 53
3.1 Ámbito de estudio 53
3.2 Tipo de investigación 54
3.3 Nivel de investigación 54
3.4 Método de investigación 55
3.5 Diseño de investigación 55
3.6 Población, muestra y muestreo 55
3.6.1 Población 55
3.6.2 Muestra 56
3.6.3 Muestreo 56
3.7 Técnicas e instrumentos de recolección de datos 56
3.7.1 Técnicas 56
✓ **La observación 56**

✓ La documentación 57

3.7.2 Instrumentos 57

3.7.3 Procedimiento de recolección de datos 58

3.8 Técnicas de procesamiento y análisis de datos 59

CAPITULO IV: Resultados 61

4.1 Presentación, análisis e interpretación de resultados 61

4.1.1 Propiedades físicas y mecánicas de los agregados 61

4.1.2 Granulometría de los agregados 63

4.1.3 Selección de los componentes del concreto, con método MEC 67

4.1.4 Proporciones del concreto con método MEC 75

4.1.5 Ensayo de compresión digital de probetas de testigo de concreto 78

4.2 Proceso y prueba de hipótesis 93

4.2.1 Hipótesis estadística 98

4.3 Discusión de resultados 107

Conclusiones 108

Recomendaciones 109

Referencia Bibliográfica 110

APENDICE 112

ÍNDICE DE TABLAS Y FIGURAS

ÍNDICE DE TABLAS

***Tabla 1**: Límites de composición aproximados para cemento Pórtland* 24

***Tabla 2**: Compuestos químicos del cemento pórtland*.....26

***Tabla 3:** Operacionalización de variables*.....52

***Tabla 4**: Posición geográfica de la cantera río Ichu – Chuñuranra*.....53

***Tabla 5**: Propiedades de los agregados de la cantera río Ichu - Chuñuranra*.....62

***Tabla 6**: Granulometría de agregado fino*.....63

***Tabla 7**: Granulometría de agregado fino*.....64

***Tabla 8**: Granulometría de agregado grueso* 65

***Tabla 9**: Granulometría de agregado grueso* 65

***Tabla 10**: Proporciones de mezcla de agregados* 67

Tabla 11: Requerimientos de agua de diseño para los diferentes valores de SLUMP 69

***Tabla 12**: Cálculo de los pesos secos de los agregados a/c = 0,55* 70

***Tabla 13**: Cálculo de los pesos húmedos corregidos de los agregados a/c = 0,55*.....70

***Tabla 14**: Cálculo de los pesos secos de los agregados a/c = 0,45* 72

***Tabla 15**: Cálculo de los pesos húmedos corregidos de los agregados a/c = 0,45*.....72

***Tabla 16**: Cálculo de los pesos secos de los agregados a/c = 0,45* 73

***Tabla 17**: Cálculo de los pesos húmedos corregidos de los agregados a/c = 0,45*.....74

***Tabla 18**: Resistencias a la compresión para cada diseño preestablecido* 75

***Tabla 19**: Dosificación del concreto método MEC para una unidad cubica de volumen* 76

***Tabla 20**: Dosificación del concreto por tanda* 77

***Tabla 21**: Cantidad de vidrio según porcentajes* 77

***Tabla 22**: Peso específico del concreto para f'c = 300 kg/cm2*.....79

***Tabla 23**: Resistencia a la compresión para f'c = 300 kg/cm2 sin vidrio adicionado*.....80

Tabla 24: Resistencia a la Compresión para f'c = 300 kg/cm2 con 5% de vidrio adicionado 80

Tabla 25: Resistencia a la Compresión para f'c = 300 kg/cm2 con 7.5% de vidrio adicionado .81

Tabla 26: Resistencia a la compresión para f'c = 300 kg/cm2 con 10% de vidrio adicionado ...82

Tabla 27: Resistencia a la Compresión para f'c = 300 kg/cm2 con 15% de vidrio adicionado ..82

Tabla 28: *Peso específico del concreto para f'c = 340 kg/cm2*.....84
Tabla 29: Resistencia a la compresión para f'c = 340 kg/cm^2 sin vidrio adicionado.....85
Tabla 30: *Resistencia a la Compresión para f'c = 340 kg/cm2 con 5% de vidrio adicionado*....85
Tabla 31: *Resistencia a la compresión para f'c = 340 kg/cm2 con 7,5% de vidrio adicionado*..86
Tabla 32: *Resistencia a la Compresión para f'c = 340 kg/cm2 con 10% de vidrio adicionado*..87
Tabla 33: *Resistencia a la Compresión para f'c = 340 kg/cm2 con 15% de vidrio adicionado*..87
Tabla 34: *Peso específico del concreto para f'c = 390 kg/cm2*.....89
Tabla 35: Resistencia a la compresión para f'c = 390 kg/cm2 sin vidrio adicionado.....90
Tabla 36: *Resistencia a la compresión para f'c = 390 kg/cm2 con 5% de vidrio adicionado*.....90
Tabla 37: *Resistencia a la compresión para f'c = 390 kg/cm2 con 7,5 % de vidrio adicionado*.91
Tabla 38: *Resistencia a la Compresión para f'c = 390 kg/cm2 con 10% de vidrio adicionado*..92
Tabla 39: *Resistencia a la compresión para f'c = 390 kg/cm2 con 15% de vidrio adicionado* 92
Tabla 40: *Análisis estadístico para una resistencia a la compresión para f'c = 300 kg/cm2*.....93
Tabla 41: *Medidas de tendencia central para f'c = 300 kg/cm2*.....93
Tabla 42: *Análisis Estadístico para una resistencia a la compresión para f'c = 340 kg/cm2*.....95
Tabla 43: *Medidas de tendencia central para f'c = 340 kg/cm2*.....95
Tabla 44: *Análisis Estadístico para una Resistencia a la Compresión para f'c = 390 kg/cm2*...97
Tabla 45: *Medidas de tendencia central f'c = 390 kg/cm^2*.....97
Tabla 46: *Datos de f'c = 300 kg/cm2 con variación de % vidrio molido*.....99
Tabla 47: *Resumen de la varianza de f'c = 300 kg/cm2 por grupo de factor (% VM)* 99
Tabla 48: *Cuadro ANOVA para f'c = 300 kg/cm2*.....100
Tabla 49: *Prueba de Tukey (HSD) para f'c = 300 kg/cm2*.....101
Tabla 50: *Datos de f'c = 340 kg/cm2 con variación de % vidrio molido*.....102
Tabla 51: *Resumen de la Varianza de f'c = 340 kg/cm2 por Grupo de factor (% VM)*.....102
Tabla 52: *Cuadro ANOVA para f'c = 340 kg/cm2*.....103
Tabla 53: *Prueba de Tukey (HSD) para f'c = 340 kg/cm2*.....103
Tabla 54: *Datos de f'c = 390 kg/cm2 con variación de % vidrio molido*.....104
Tabla 55: *Resumen de la varianza de f'c = 390 kg/cm2 por Grupo de factor (% VM)* 105
Tabla 56: *Cuadro ANOVA para f'c = 390 kg/cm2*.....105
Tabla 57: *Prueba de Tukey (HSD) para f'c = 390 kg/cm2*.....106

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Consideraciones de las características del concreto, y su dosificación de materiales 22

***Figura 2**: Fotografía obtenida por microscopia del cemento YURA tipo I*.....26

Figura 3: Representación esquemática de la hidratación del cemento.....28

Figura 4: Representación de una red cristalina de sílice.....42

Figura 5:Mezcla con granos gruesos dominantes.....46

Figura 6: Mezcla con granos finos dominantes 46

Figura 7: Efectos de aflojamiento y pared ejercidos por y sobre los gramos medianos 47

Figura 8: Procedimiento de diseño de mezcla con MEC 49

Figura 9: Ubicación de la cantera de río Ichu – Chuñuranra 54

***Figura 10**: Curva granulométrica con sus Husos presentados en la NTP*.....64

***Figura 11**: Curva granulométrica con sus husos presentados en la NTP*.....66

***Figura 12**: Curva de máxima compacidad a razón de 10 valores porcentuales*.....67

***Figura 13**: Curva de máxima compacidad a razón de 5 valores porcentuales*.....68

***Figura 14**: Curva de relación asentamiento vs agua de diseño para una a/c = 0,55* 71

***Figura 15**: Curva de relación asentamiento vs agua de diseño para una a/c = 0,55* 73

***Figura 16**: Curva de relación asentamiento vs agua de diseño para una a/c = 0,40* 74

***Figura 17**: Comparación de las resistencias medias y porcentajes de vidrio para f'c=300kg/cm2* 94

***Figura 18:** Comparación de las resistencias medias y porcentajes de vidrio para f'c = 340 kg/cm2*.....96

***Figura 19**: Comparación de las resistencias medias y porcentajes de vidrio para f'c=390 kg/cm2*.....98

***Figura 20**: Comparación de las resistencias medias y porcentajes de vidrio para f'c=300 kg/cm2*.....101

***Figura 21**: Comparación de las resistencias medias y porcentajes de vidrio para f'c=340 kg/cm2*.....104

***Figura 22**: Comparación de las resistencias medias y porcentajes de vidrio para f'c=390 kg/cm2*.....106

RESUMEN

El presente trabajo de investigación está enmarcado dentro de la línea de investigación de la tecnología de los materiales, donde se hace un análisis y evaluación del concreto en sus edades de 7, 14 y 28 días a sus resistencias a la compresión, mediante la aplicación y adición de vidrio molido finamente, mediante la optimización de los materiales pétreos con el método de empaquetamiento compresible (MEC) dentro del laboratorio. Así mismo, el trabajo de investigación pone énfasis en la necesidad de contar con medios para la obtención del reciclado, reutilización y reducción del vidrio, debido a su comportamiento como un agente contaminante en la región de Huancavelica.

Todos estos diferenciando su comportamiento como indicadores para los objetivos trazados, para encontrar las diferencias en las resistencias encontradas entre los distintos porcentajes utilizados de vidrio molido; con respecto al peso del cemento, como componente del concreto, pues este nos permite discriminar cada valor respectivo de su resistencia a la compresión, encontrando el valor más óptimo de acuerdo con los resultados obtenidos en las tres resistencias a la compresión encontradas en laboratorio (f'c = 3000 Kg/cm2, f'c = 340 Kg/cm2 y f'c = 390 Kg/cm2).

En el capítulo uno del proyecto de investigación se abordará el enfoque y una descripción del problema, detallando nuestros objetivos principales; en el capítulo dos se muestra la bibliografía y la descripción del método de diseño que se está empleando (MEC) y cuáles son las bondades del vidrio; en el capítulo tres se muestra la metodología, los instrumentos y el método de análisis de datos; y por último en el capítulo cuatro se muestran los resultados, a los que se llegaron siguiendo el plan de trabajo.

Palabras claves: Vidrio molido finamente, modelo de empaquetamiento compresible, resistencia del concreto, adición

ABSTRACT

This research project is framed within the line of research of the technology of the materials, where it is done an analysis and evaluation of the concrete in its ages of 7, 14 and 28 days to its resistances to the compression, by means of the application and Addition of finely ground glass, by optimizing stone materials with compressible packaging method (MEC) within the laboratory. Likewise the research work emphasizes the need to have means to obtain the recycling, reuse and reduction of the glass, due to its behavior as a pollutant in the region of Huancavelica.

All these differentiating their behavior as indicators for the objectives plotted, to find the differences in the resistances found between the different percentages used of ground glass; with respect to the weight of the cement, as a component of the concrete, since this allows us to discriminate each respective value of its resistance to the compression, finding the most optimal value according to the results obtained in the three resistances to the compression Found in laboratory (F'c = 300 kg/cm2, F'c = 340 kg/cm2 and F'c = 390 kg/cm2).

Chapter One of the research project will address the focus and a description of the problem, detailing our main objectives; Chapter two shows the bibliography and description of the design method being used (MEC) and what are the benefits of glass; Chapter three shows the methodology, instruments and method of data analysis; And finally, chapter four shows the results, which were reached following the work plan.

Key words: finely ground glass, compressible packaging model, concrete resistance, admixture

INTRODUCCIÓN

En la ciudad de Huancavelica, se encuentra el cauce del río Ichu y desde su inicio, en esta ciudad, se encuentran zonas de extracción de agregado de manera artesanal e industrial. Esta extracción se realiza sin ningún control de calidad y sin cumplimiento de la norma técnica y dichos agregados vienen siendo utilizados en elementos estructurales, ya sean viviendas, edificaciones, entre otros, sin ningún control de los materiales pétreos.

El agregado utilizado en la preparación del concreto representa entre un 60 a 75% del volumen total en un metro cubico de concreto, y por tal razón su selección u optimización se debe realizar con la mayor rigurosidad posible. En la ciudad de Huancavelica se cuenta con diferentes canteras, cada uno con sus respectivas especificaciones técnicas de su agregado, el método de modelo de empaquetamiento compresible (MEC); optimiza esa variación en sus diámetros y busca la mejor resistencia para ese tipo de agregado.

Un diseño convencional busca primero definir un diseño de resistencia de compresión teórica, para luego seleccionar los materiales componentes en relación a su peso y volumen. El método MEC profundiza este concepto al utilizar las proporciones óptimas que nos den la mejor compacidad del agregado, para encontrar nuestro mejor porcentaje de participación, tanto para el agregado grueso como el agregado fino. Identifica el uso de acuerdo con su SLUMP; selecciona las relaciones agua cemento, por experiencia propia o a través de investigaciones; se diseña unas probetas de control para el ensayo de compresión a los 7 días. Con esto se encuentra el valor real de la resistencia y sus respectivas dosificaciones para la resistencia encontrada en laboratorio.

En el Perú y muchos países, se han venido investigando la selección de nuevos materiales reemplazantes o adiciones que nos ayuden a mejorar las propiedades del concreto. El vidrio es un material que está compuesto de óxido de sílice, y es este componente parte del cemento, tendería a mejorar las propiedades del concreto en relación con las distintas variaciones en sus porcentajes de uso.

El vidrio es un material de uso variado y se encuentra como un agente de contaminación en nuestra ciudad. La sensibilización en su reciclado viene dando a conocer a la población el grado de mejorar en su propiedad de resistencia a la comprensión del concreto.

El concreto ha venido evolucionando y aportando al desarrollo de grandes civilizaciones. El uso tradicional ha venido con numerosos productos que son adheridos para formar “concretos especiales”, esto debido a la optimización en su proceso, su composición, su elaboración y su dosificación.

CAPÍTULO I: PROBLEMA

1.1 Planteamiento del problema

La ubicación de la ciudad de Huancavelica nos invita a reflexionar y ver que nos encontramos rodeados de montañas rocosas y dentro de una zona sísmica; debido a esto, el crecimiento poblacional se desarrolló de manera horizontal. El indetenible aumento de la población nos permite pensar en las posibles consecuencias que se deprendería de la ausencia de un buen Plan de Desarrollo Urbano. Se necesita de un plan que haga cambiar ese crecimiento horizontal a un crecimiento vertical. Actualmente, las construcciones de viviendas tienen hasta 4 pisos, con informalidades en su construcción. Esto despierta en nuestra conciencia el rol determinante que juega el concreto en el desarrollo regional. Todo esto, reflejado en la intensificación de obras civiles.

El concreto es un material moldeable a temperatura ambiente, lo que permite su adecuación a distintas formas; presenta elevada resistencia a la compresión y su gran capacidad de adherencia con otros materiales. El concreto es un material inventado por el hombre y se le considera como el más empleado y versátil, lo que nos permite utilizarlo en cualquier tipo de estructuras y diferentes climas. El concreto es una mezcla adecuadamente dosificada de cemento, agua y agregados fino y grueso. Cuanto mayor

conozcamos de estos materiales integrantes, de su proceso de fabricación y colocación, mejor será este.

En la región de Huancavelica, la construcción es un sector que ha venido creciendo fuertemente; se distingue unos diseños de mezcla para los diferentes elementos estructurales iguales o inferiores a una resistencia de f'c =210 Kg/cm2; esto a causa de que los responsables de la construcción y los contratantes lo realizan informalmente, solo con un maestro constructor, quien no presenta conocimientos para elaborar y optimizar elementos estructurales de acuerdo con la resistencia del concreto. Esto ocasionará que en la preparación del concreto se use materiales de mala calidad y el futuro de la vivienda se vea dañada e insegura, con un periodo de vida muy corto.

El diseño de mezcla que se utiliza en la parte teórica para el concreto y que se contempla en el reglamento nacional de edificaciones, y la norma técnica peruana, hacen referencia al método propuesto por el ACI; esto a causa de que los formuladores de la norma técnica peruana basan sus supuestos en los ensayos realizados en el ACI y sus adaptaciones lo realizan paso a paso sin otras consideraciones pertinentes. Esto produce una sinergia teórica con ambigüedades para cada elemento o componente del concreto, sin buscar una optimización y una obtención del mejor desempeño del concreto.

Los datos basados en el censo realizado por el INEI, en la región de Huancavelica, en la provincia de Huancavelica, indican que ha habido un incremento poblacional, hecho que incide fuertemente en un aumento de construcción de viviendas en zonas aledañas a laderas y taludes con fallas geológicas, y se debe al crecimiento horizontal, en las direcciones de los cauces del río. Esto provoca malestar social, con grandes muestras de estrés de una población insatisfecha con sus representantes, lo que conlleva a un problema social de invasión de tierras.

En la región de Huancavelica, según datos del INEI, se da un incremento de la producción de residuos sólidos, considerando materiales orgánicos, papeles, vidrios,

cartones y demás, aumentando sectores y focos contaminantes dentro de la ciudad, dado que en la circunscripción de la ciudad de Huancavelica hubo un aumento poblacional. Esto trae como consecuencia, problemas sociales que aquejan e inciden en demasía en la salud de las personas. Los botaderos de basura se han colmatado, sin mantenimiento, y atenta contra la naturaleza, a efectos del efecto invernadero y el calentamiento global. En el Informe Nacional del Estado del Ambiente, se considera que el manejo inadecuado de los residuos sólidos repercute en la contaminación del aire, el agua, y que degrada y contamina los suelos; y que dentro de estos residuos se distinguen: la materia orgánica, residuos no peligrosos (subdividido en aprovechables y no aprovechables) y residuos peligrosos no aprovechables. Y entre los residuos no peligrosos se muestran la madera, restos de jardín, papel, cartón, vidrio, plástico, metales, telas y textiles, cuero, caucho y jebe, huesos, tecnopor y tetrapack.

El consumo de bebidas envasadas en botellas de vidrio, sean estas gasificadas o alcohólicas, presentan un aumento de más del 34%, según datos del INEI, debido a la gran demanda que se viene dando por las costumbres y fiestas tradicionales, y las variaciones climáticas. Esto provoca problemas de salud a las personas. Asimismo, el incremento de pseudo botaderos en lugares céntricos de la ciudad y alrededores, debido a la insensibilización respecto al reciclado y la reutilización de dichos materiales.

Los métodos de diseño tradicionales son experimentales y no contemplan un diseño basado en la interacción entre cada partícula componente del concreto, pues estos diseños eran utilizados por el siglo XIX cuando aún se comprendía al cemento como un material cementante. Si no se corrige, esto ocasionará retraso en los avances dentro de la ciudad de Huancavelica.

1.2 Formulación del problema

1.2.1 Problema general

¿De qué manera el uso de vidrio molido y la selección de materiales áridos por el MEC, influyen en la obtención de concretos de alta resistencia sin uso de aditivos, en los diseños de mezcla, en la ciudad de Huancavelica, año 2017 – 2018?

1.2.2 Problemas específicos

¿Qué porcentaje de vidrio molido influye en la obtención de concretos de alta resistencia sin uso de aditivos, en los diseños de mezclas, en la ciudad de Huancavelica, año 2017 – 2018?

¿Cómo influye el MEC en los diseños de mezclas para la obtención de concretos de alta resistencia sin uso de aditivos, en la ciudad de Huancavelica, año 2017 – 2018?

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo general

Determinar la influencia del uso de vidrio molido y la selección de materiales áridos por el MEC, en la obtención de concretos de alta resistencia sin uso de aditivos, en los diseños de mezcla en la ciudad de Huancavelica, año 2017 – 2018.

1.3.2 Objetivos específicos

Determinar el porcentaje de vidrio molido óptimo para concretos de alta resistencia sin uso de aditivos, en los diseños de mezcla en la ciudad de Huancavelica, año 2017 – 2018.

Determinar cómo influye el MEC, en los diseños de mezclas para concretos de alta resistencia sin uso de aditivos, en la ciudad de Huancavelica, año 2017 – 2018.

1.4 Justificación

El presente proyecto de investigación es pertinente dentro de la circunscripción de la región de Huancavelica; está enmarcado en las problemáticas urbanas y sociales en el distrito de Huancavelica, donde el análisis de las distintas posibilidades de uso de este material desechado es exacerbado como un agente contaminador del medio ambiente. Este material puede contribuir a mejorar las propiedades del concreto en estado fresco y endurecido.

Las estadísticas del INEI muestran que, en Huancavelica, un poblador común produce basura de 12 kg diarios y, dentro de ellas, un 3-10% son de vidrio. Todos estos materiales presentan una degradación en un tiempo de vida de más de 1000 años. Esto repercute en la contaminación ambiental y el cambio climático de nuestra región, ya que, sin un manejo de estos elementos, llegan a ser residuos sólidos y contaminan al medio ambiente.

Este trabajo de investigación ayudará a todos los profesionales a optimizar sus materiales mediante el uso del método MEC y, como el vidrio, ayudar a mejorar la resistencia del concreto. Con esto, buscar una buena trabajabilidad del concreto en su estado fresco.

Los diseños de mezcla se formulan en base a tablas como los propuestos por el ACI. El estudio de cada uno de sus componentes hace que surjan grandes investigaciones en el campo de la tecnología del concreto y el estudio de la ciencia de la reología del concreto. La investigación justifica su importancia en la de presentar una metodología para el diseño y preparación del concreto dentro del laboratorio y así poder adaptar y mejorar las teorías presentes.

CAPITULO II: MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes

El desarrollo y progreso que se ha venido dando en el campo de la construcción, tanto a nivel tecnológico como el científico, hace que todas las actividades sean más eficientes, sean más eficaces, y se utilicen recursos en el menor tiempo, con el menor costo y la cantidad óptima. Los materiales de un concreto (agregado fino, agregado grueso, cemento, agua, aditivos y adiciones) presentes se encuentran en distintas proporciones, aglomerados por acción de la reacción del cemento y agua; siguiendo las propiedades y características de cada una de ellas. Se observa que:

- ✓ El agregado grueso y fino presenta variaciones en su diámetro, determinado por el ensayo de análisis granulométrico, en proporciones variables, para cada tamiz.
- ✓ El cemento, siendo un material molido finamente, también presenta diferentes diámetros, pero en una escala micrométrica.
- ✓ Cada cantidad de material es determinado por las distintas metodologías, siguiendo las propiedades de trabajabilidad, resistencia a comprensión, durabilidad, contenido de aire, fraguado del concreto, etc.

Estos ítems detallados pueden incorporar adiciones o aditivos para mejorar algunas de sus propiedades, la presente investigación incorpora un componente más dentro del concreto como adición, este componente presenta una granulometría muy fina distribuida en relación al peso del cemento a utilizar. Se han desarrollado trabajos relacionando estas dos condiciones: establecer las propiedades granulométricas del agregado y adicionar un componente en relación al peso del cemento. Identificar este componente fue inquietud de los investigadores y analizarlo el desarrollo de esta investigación.

El vidrio es un material influenciado, como un ente contaminador, que en su composición presenta algunos compuestos similares al del cemento. Su obtención se da en base a la recolección, al reciclado y su trituración de forma mecánica, para llegar a la molienda mediante equipos de molienda. Se distingue que por su composición esta nueva adición busca mejorar la propiedad de resistencia y trabajabilidad.

En base a estos párrafos, se distinguen los siguientes trabajos de investigación:

2.1.1 Evidencia internacional

Espinoza (2010) realizo la investigación "Estudio de dosificación de hormigón de ultra-alta resistencia, basado en el empaquetamiento de los áridos" (Tesis para optar el grado de Maestro), presentado en la Universidad Politécnica de Madrid, España. En esta investigación se buscó estudiar la dosificación de hormigones de ultra-alta resistencia, basándose en el empaquetamiento de los áridos, con adición de aditivos de micro sílice, en una muestra de 90 probetas de concreto.

Las conclusiones a las que llegó fueron las siguientes:

- ✓ El uso de los hormigones de ultra-alta resistencia es hoy en día una realidad que poco a poco está ganando terreno en el campo del diseño y desarrollo de obras civiles. La gran cantidad de ejemplos desarrollados alrededor del mundo demuestran no solo la aceptación de este nuevo material por los profesionales

involucrados en el desarrollo de grandes proyectos, sino que también verifica cualidades y bondades de estos hormigones.

- ✓ Los HUAR tienen ventajas sobre los concretos convencionales y de alto desempeño, en cuanto a que requieren menores y más livianas secciones, adicionalmente brinda un alto potencial para eliminar o al menos reducir en porcentajes importantes las cantidades requeridas de acero pasivo por flexión, cortante y confinamiento.
- ✓ El estudio de dosificación propuesta surgió de la necesidad de comprender la relación entre la densidad de empaquetamiento y la capacidad de flujo en hormigón de ultra-alta resistencia reforzado con fibras de acero, basándose en el empaquetamiento de los áridos.
- ✓ Para obtener un ultra-alto rendimiento en la densidad de empaquetamiento, las distintas componentes de la matriz han de optimizarse, esto se consigue usando áridos de diferentes tamaños.
- ✓ El método de empaquetamiento comprensible ordenado, en donde los granos más grandes están dispuestos en una disposición ordenada tetraédrica, también llamado empaquetamiento hexagonal, es un método imposible de lograr en la práctica, pero es útil para tener una idea de la relación entre el tamaño de las partículas y su relación de volumen dentro de la mezcla. La teoría sugiere que el tamaño de las partículas más pequeñas aumentara la densidad de empaquetamiento.
- ✓ En cuanto a la mezcla propuesta se puede concluir que, al realizar una comparación con dosificaciones realizadas por expertos y llevadas a la práctica, se puede observar que, al aumentar la cantidad de humo de sílice en una mezcla con respecto a otra, aumenta la resistencia del hormigón.

- ✓ La eliminación del árido grueso combinada con la optimización de la mezcla granular, permite que los hormigones más homogéneos y densos fueran producidos con propiedades mecánicas elevadas.
- ✓ La adición de microfibras (metálicas y minerales) promueve al aumento de la ductilidad del hormigón, disminuyendo su característica rotura frágil.
- ✓ Este diseño de mezcla se deberá comprobar a través de ensayos de laboratorio que corroboren la resistencia de diseño esperado.

Catalán Arteaga (2013), en su investigación titulada "ESTUDIO DE LA INFLUENCIA DEL VIDRIO MOLIDO EN HORMIGONES GRADO H15, H20, Y H30" (Tesis de pregrado), presentada en la Universidad Austral de Chile, Valdivia – Chile, estudia la influencia de la adición de vidrio sobre la resistencia mecánica del hormigón, de grados H15, H20 y H30, donde la adición de vidrio proporciona una mejora de las propiedades mecánicas del hormigón con fines estructurales, en relación con el hormigón tradicional, cumpliendo con los requerimientos de su normativa vigente.

Las conclusiones a las que llegó fueron las siguientes:

- ✓ Dado que la absorción de agua es prácticamente nula en el vidrio, se puede disminuir la cantidad de agua necesaria, para un determinado descenso del cono.
- ✓ La incorporación del vidrio en la mezcla de hormigón permite la reutilización de dicho material, considerando que una gran cantidad de vidrio de desecho es tirado directamente a la basura. Con esto se estaría realizando un aporte a la disminución de volúmenes de desechos sólidos acopiados en vertederos autorizados y clandestinos, además de reducir los costos asociados a la producción de hormigón, en relación a la extracción de áridos.

- ✓ El reemplazo de parte de los áridos por parte del vidrio triturado no provoca cambios significativos en la densidad del hormigón, no se genera un aumento excesivo del peso final de las probetas, ya que el vidrio posee una densidad del mismo orden que los áridos utilizados, manteniéndose dentro del rango permitido por la norma, para los áridos utilizados en hormigones (según Nch163of.1978 entre 2000 y 3000 kg/m3)
- ✓ El contenido de materia orgánica en el vidrio es despreciable, siempre y cuando se le dé un tratamiento adecuado de limpieza, previo a su incorporación en la mezcla de hormigón, lo que se traduce en una mayor estabilidad físico-química a reaccionar con distintos agentes presentes ya sea en el agua de amasado, o en el cemento mismo.
- ✓ Se deben establecer condiciones adecuadas para la manipulación y trituración del vidrio, teniendo especial cuidado al manejar granulometrías menores a 5mm, debido a la composición del mismo, con un alto contenido de Sílice, el que al ser aspirado en grandes cantidades puede ser nocivo para la salud, provocando en casos extremos, enfermedades como la silicosis.
- ✓ Existe una tendencia, aunque en este caso ligero, a un aumento en la resistencia del hormigón, al incluir un 10 % de vidrio en la mezcla, lo que corrobora estudios anteriores referentes al tema. Al incluir un porcentaje mayor en la mezcla, se tiene a una disminución de la resistencia, lo cual se explica en la naturaleza como material frágil del vidrio, en detrimento de la ductilidad deseada de hormigones.
- ✓ Si bien, según los resultados obtenidos, no se apreció una variación significativa en la resistencia a partir de los hormigones patrones, este mismo hecho permite verificar que la inclusión de vidrio en el hormigón, es completamente factible, desde el punto de vista de inalterabilidad de las características principales de este material (densidad y resistencia).

- ✓ En el proceso de triturado y manipulación del vidrio en este estudio, se pudo apreciar en el vidrio un comportamiento similar al cemento en condiciones de tamaño parecido, en presencia de humedad. En estudios anteriores respecto a este tema, se han observado propiedades puzolanico en el polvo de vidrio, lo cual no fue objeto de este tema, pero bien puede abrir la posibilidad a estudios posteriores.
- ✓ En relación al hormigón, el vidrio posee un coeficiente de dilatación térmica menor que el concreto (entre 0,3 a 0,5 veces), lo cual es beneficioso para elementos expuestos al calor, pudiendo controlar de mejor manera la expansión y/o contracción frente a ciclos de cambios de temperatura (choques térmicos, cambios de estación, etc.)
- ✓ La fabricación de hormigón con agregado de vidrio de desecho es viable en la medida en que se disponga de suficiente material para ser procesado. Dado que la idea de este estudio se enfoca a la utilización de residuos domiciliarios principalmente, la recolección de envases de vidrio a nivel de la población juega un papel ´preponderante. Si bien, el reciclaje de vidrio para la elaboración de productos de este material es el destino ideal de los residuos de vidrio, la industria del concreto pareciera ofrecer un buen espectro de posibilidades para su incorporación.
- ✓ Un punto que juega en contra de esta iniciativa, es la inversión inicial asociada al tratamiento que requieren los residuos de vidrio, destinada a la implementación de maquinaria adecuada para el trabajo con este material, limpieza, separación de otros residuos, trituración, tamizado, etc., aunque en la actualidad existe gran variedad de productos desarrollados para la trituración de residuos.

Vargas y Sciaraffia (2006) realizaron la investigación denominada "Diseño y evaluación de hormigones autocompactantes (HAC)", trabajo de investigación publicado en la Revista de Ingeniería y Construcción, Chile. En esta investigación se describe

- ✓ La factibilidad de diseñar un hormigón con un comportamiento autocompactante es real. Cada diseño debe ser realizado en base a una síntesis para evaluar el comportamiento desde la pasta hasta la mezcla de hormigón. Lo anterior es clave para conocer comportamiento de uno de los materiales claves de la mezcla, el aditivo. Además, es necesario llevar a cabo una exhaustiva y correcta elección de los ensayos, tanto en estado fresco y endurecido, con los diferentes equipos, con el objetivo de discriminar la importancia particular de cada uno de ellos según el elemento a hormigonar. Finalmente, el valor agregado del HAC debe permitir mejoras en la obra para reducir costos especialmente en tiempo, calidad y reparaciones.

2.1.2 Evidencia nacional

(Pineda Vallejo, 2003), realizo la investigación titulada: "DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO AUTOCOMPACTANTE", (Tesis de pre grado) presentado en la Universidad Nacional de Ingeniería, Lima – Perú. En esta investigación se buscó realizar el mejor diseño en base a la metodología de concreto autocompactante, realizando 40 probetas por cada diseño.

Las conclusiones a las que llegaron fueron las siguientes:

- ✓ Con los materiales usados en la tesis y con relaciones a/c entre 0,50 y 0,336 se demostró que los concretos fluidos presentan auto compactación o también denominados autocompactantes, son mezclas de excelente trabajabilidad que presentan: gran capacidad para deformarse y fluir libremente, baja viscosidad, buena cohesión para evitar segregaciones y ningún tipo de bloqueo. También demuestran mayores resistencias mecánicas a la comprensión y tracción, así

como baja permeabilidad y escasa exudación, debido principalmente a las bajas relaciones a/c que se pueden obtener utilizando el aditivo súper plastificante necesario para generarlas.

- ✓ Mediante los ensayos de peso unitario, contenido de aire, resistencia mecánica, módulo de elasticidad y porcentaje de absorción, se comprobó la auto compactación de las mezclas fluidas de concreto que aprobaron los ensayos de extensión de lujo y caja L. en las mezclas A454 y A403 la diferencia en los resultados generados por concretos compactados y no compactados de un mismo diseño de mezcla es despreciable y asegura la auto compactación del concreto.
- ✓ El exceso de agua y/o las altas dosificaciones de aditivo superplastificante provoca la inestabilidad en las mezclas fluidas de concreto. En ese ambiente de poca cohesión la tendencia a la segregación de la mezcla es alta al no poder conservar unidos todos los componentes de la mezcla de concreto. La concentración del cemento con respecto al agua, es decir la relación a/c, también es un factor a considerar dentro la tendencia a la segregación que puede mostrar un concreto.
- ✓ En esta investigación solo se pudo generar mezclas con relaciones a/c menores a 0.50 porque se detectó casos de segregación para las relaciones a/c mayores, debido a la alta concentración de agua que, sumado al efecto de dispersión del aditivo superplastificante, incluso con la menor dosificación utilizada, provocaba inestabilidad en la mezcla. Para producir mezclas de concreto autocompactante con relaciones a/c mayores a 0.50, se puede reemplazar parte del cemento de una mezcla con relación a/c menor a 0.50 con algún material de relleno inerte o puzolanico, de igual o semejante finura del cemento, y con ello generar la misma cantidad de pasta en el concreto, como si todo material fino estuviera formado por cemento. De esta manera la relación agua/cemento aumenta y la resistencia disminuye.

- ✓ Las mezclas de concreto al ser fluidas no necesariamente son autocompactantes, debido principalmente al bloqueo generado por la poca presencia de pasta (agua + cemento) e indirectamente por las mayores dosificaciones de agregado grueso que generan menores espacios entre sus partículas y que al chocar entre ellas producen fuerzas de fricción que frenan el libre movimiento de la mezcla total.
- ✓ Con los materiales usados en esta tesis se detectó un buen comportamiento autocompactante de la mezcla fluida de concreto para contenidos de agregado grueso menores a 766 kg de peso seco por 1 m3 de concreto.
- ✓ La mezcla A502 es un claro ejemplo de un concreto fluido que no es autocompactante 100 %, presenta un asentamiento total en el cono de Abrams, pero muestra bloqueo en un medio con alta densidad de refuerzo de acero u obstáculos. Además, en los ensayos de concreto fresco y concreto endurecido realizados en la segunda parte del capítulo 6, la diferencia en los resultados generadas por concretos compactados y no compactados de un mismo diseño de mezcla son apreciables y por ello no aseguraban la auto compactación del concreto.
- ✓ El contenido preciso de pasta en la mezcla es un requisito indispensable para generar un concreto autocompactante. Dicho contenido puede ser calculado partiendo de dosificaciones de cemento recomendadas por el procedimiento de diseño de mezcla propuesto en la presente tesis, la viscosidad y la capacidad de fluir libremente se analiza cualitativamente e indirectamente mediante los valores de T50 y Diámetro máximo en el ensayo de Extensión de Flujo, la resistencia al bloqueo en un medio restringido se analiza utilizando el ensayo denominado “caja L”, finalmente la cohesión se analiza observando los indicios de segregación en las mezclas ensayadas. Con los materiales usados en esta tesis se detectó un buen comportamiento autocompactante de la mezcla fluida de concreto a partir de 0.40 m3 de pasta por 1 m3 de concreto.

- ✓ En el ensayo de extensión de flujo, valores de Dmax, menores a 650 mm. Indican una menor capacidad de la mezcla de concreto para fluir en un medio libre. Valores de T50 por encima de 5 segundos muestran mezclas de desplazamiento lento, es decir de alta viscosidad y/o cohesión, para concretos autocompactantes. En la caja L, radios de bloqueo menores a 0.80 indican que la mezcla tiene tendencia al bloqueo, la cual se incrementa a medida que dicho radio disminuye. Los tiempos T20 y T40 mayores a 3 y 6 segundos respectivamente, indican que la mezcla tiene desplazamiento lento en un medio restringido.
- ✓ Los valores típicos obtenidos en el ensayo de Extensión Flujo y la Caja L pueden ser mejorados simplemente adicionando mayor cantidad de pasta de cemento en la mezcla de concreto y/o incrementando la dosificación de aditivo, manteniendo constante la relación a/c.
- ✓ El efecto dispersante del aditivo superplastificante decrece a medida que la relación a/c disminuye y la concentración de cemento se incremente con respecto al agua, en tal ambiente si se mantiene constante la dosificación de aditivo y se disminuye la relación a/c, no se podrá mantener el comportamiento autocompactante de la mezcla pues la viscosidad se incrementara. Para evitar el caso anterior se debe aumentar la dosificación de aditivo a medida que se busca relaciones a/c bajas y altas resistencias mecánicas. En esta tesis se encontró que en mezclas con relaciones a/c entre 0.50 y 0.40 se debe utilizar 1.2 % de dosificación del aditivo ensayado, a una relación a/c de 0.36 se incrementa la dosificación a1.6 % y a 0.336 de relación a/c se utiliza la máxima dosificación analizada 2.0 %.
- ✓ Para materiales fijos (tipos de agregado, cemento y aditivo) existe un rango no muy grande de dosificación de cemento e indirectamente de pasta, dentro del cual se produce la auto compactación, valores por debajo de dicho rango usualmente generan mezclas fluidas, pero con tendencia al bloqueo y a veces

segregación, por el contrario, valores superiores al rango acompañados de bajas relaciones a/c producen mezclas muy viscosas y cohesivas, que resultaría problemáticas para su uso en obra. En la presente investigación y para los materiales usados se genera un buen comportamiento autocompactante para contenidos de cemento entre 550 y 600 kg de cemento por 1 m3 de concreto.

- ✓ Para evitar mezclas muy costosas debido a las altas cantidades de cemento y aditivo, se debe cambiar parte del cemento por materiales puzolánico o inerte, con tamaños de partículas y granulometrías similares a las del cemento, de tal manera que pueda formarse la pasta necesaria para el comportamiento autocompactante.
- ✓ Las mezclas fluidas de concreto que no alcanzan la auto compactación pueden eliminar los vacíos presentes en ellas con la aplicación de un vibrado ligero. Se prestará mucha atención a esta operación pues excesos en la energía de compactación aplicada podría generar segregación en el concreto fresco.
- ✓ Las mezclas autocompactantes con altas viscosidades resultado de las grandes concentraciones de cemento con respecto al agua y las bajas relaciones a/c, no son recomendables para ser usados en obra, debido a la mayor energía necesaria para trabajarla (bombeo, acabado, etc.) y además a la lenta velocidad de desplazamiento que muestran dichas mezclas.
- ✓ El control de cada uno de los materiales componentes de la mezcla de concreto autocompactante debe ser minucioso pues se observó que variaciones en las propiedades de algunos de ellos originan cambios bruscos no deseables en el comportamiento del concreto, especialmente al estado fresco.
- ✓ Las mezclas de concreto autocompactante son más económicas para resistencia la comprensión mayor a 450 kg/cm2 cuando son compradas, a igual resistencia, con mezclas de alto desempeño de consistencia normal que fueron diseñadas

con el mismo aditivo superplastificante con que se generaron las mezclas autocompactantes.

- ✓ No hay duda que el majeo de las propiedades reológicas de los concreto s del ato desempeño y especialmente del concreto autocompactante solo podrán ser conocidas real y directamente con el uso de algún viscosímetro, equipo de laboratorio que, en la actualidad, para la investigación de concretos especiales es de suma importancia. Con dicho equipo se podrán correlacionas valores reales reológicas propios de un concreto con valores generados por algún tipo de ensayo o test que pueda fácilmente ejecutarse en obra.

2.1.3 Evidencia regional

Gala y Lizana (2015) realizó la investigación "ESTUDIO DE LA INFLUENCIA DE VIDRIO MOLIDO EN CONCRETO DE FC=210 KG/CM2 EN EL DISTRITO DE LIRCAY, PROVINCIA DE ANGARAES" (Tesis de pregrado) presentada en la Universidad Nacional de Huancavelica – Perú. En esta investigación, buscaron demostrar, en base al método de ACI 211.1-91, que el vidrio influye significativamente en las propiedades de resistencia y trabajabilidad del concreto, para distintos porcentajes de vidrio agregado, en una muestra de 08 probetas de concreto con distinto porcentaje de vidrio incorporado.

Las conclusiones a las que llegaron fueron las siguientes:

- ✓ Dado que la absorción de agua es prácticamente nula en el vidrio, se puede disminuir la cantidad de agua necesaria, para un determinado descenso del cono.
- ✓ La incorporación del vidrio en la mezcla de concreto permite la reutilización de dicho material, considerando que una gran cantidad de vidrio de desecho es tirado directamente a la basura.

- ✓ Existe una tendencia, aunque en este caso ligero, a un aumento en la resistencia del concreto, al incluir un 10 % de vidrio en la mezcla, lo que corrobora estudios anteriores referentes al tema.
- ✓ Un punto que juega en contra de esta iniciativa, es la inversión inicial asociada al tratamiento que requieren los residuos de vidrio, destinada a la implementación de maquinaria adecuada para el trabajo con este material, limpieza, separación de otros residuos, trituración, tamizado, etc., aunque en la actualidad existe gran variedad de productos desarrollados para la trituración de residuos.

2.1.4 Evidencia local

Belito y Paucar (2018), en la investigación "INFLUENCIA DE AGREGADOS DE DIFERENTES PROCEDENCIAS Y DISEÑO DE MEZCLA SOBRE LA RESISTENCIA DEL CONCRETO" (Tesis de pregrado) presentada en la Universidad Nacional de Huancavelica, Huancavelica – Perú, buscaron demostrar en base a las propiedades de resistencia y trabajabilidad del concreto, las diferentes procedencias de las distintas canteras de agregado (río Ichu y río Mantaro), en una población de 90 probetas de testigos de concreto eran significativas.

Las conclusiones a las que llegaron fueron los siguientes:

- ✓ De acuerdo al análisis de varianza (diseño completamente al azar con arreglo factorial (2 x 3) con una probabilidad de error del 2E-16 % al menos uno de los tratamientos (combinaciones de los agregados de diferentes procedencias en los diseños de mezcla f'c = 175, 210, 245 kg/cm2) tienen diferente efecto sobre la resistencia del concreto. El análisis de varianza que se obtuvo fue altamente significativo ($p<0.01$).
- ✓ Realizando la prueba de Tukey, se obtuvo como resultado que todos los tratamientos son diferentes. La cantera (río Mantaro y río Ichu) y el diseño de

Mezcla (175, 210 y 245 kg/cm2) son factores que influyen sobre la resistencia del concreto.

2.2 Bases teóricas

2.2.1 Estudio del concreto

2.2.1.1 Definición del Concreto

La definición clásica del concreto la podemos encontrar en la definición de Abanto Castillo (2009), quien afirma que el concreto es "una mezcla de cemento Portland, agregado fino, agregado grueso, aire y agua en proporciones adecuadas para obtener ciertas propiedades prefijadas, especialmente la resistencia"

El autor define al concreto como la combinación de 5 componentes, que son definidas en proporciones por las propiedades pre definidas, de acuerdo con la resistencia especificada.

Rivva López (2010) define al concreto como "…una mezcla, adecuadamente dosificada, de cemento, agua, y agregados fino y grueso. Adicionalmente también puede tener en su composición aditivos, adiciones, y fibra. (…) "

En esta definición, el autor hace mención a los componentes comunes del concreto, pero con un énfasis de adicionar nuevos materiales y elementos químicos que nos permitan mejorar las características del concreto, ya sea en estado fresco o endurecido.

Al concreto lo podemos definir como una combinación que componen un material aglomerante y de agregados fino y grueso. Este material constituirá de un medio ligante (pasta), y en estas se encontrarán las partículas sueltas, que mayormente se forma de una combinación química entre el cemento y el agua.

Según Rivva (2010), el comportamiento mecánico del concreto y su durabilidad en servicio dependen de tres factores:

a) Las características, composición y propiedades de la pasta de cemento.

b) La calidad de los agregados en el sentido más amplio (dureza, granulometría, perfil, textura superficial, módulo de finura, limpieza, etc.)

c) La afinidad de la pasta con los agregados y su capacidad para trabajar en conjunto.

El ingeniero Flavio define al concreto según la siguiente formula:

$$CONCRETO = CEMENTO + AGREGADOS + AIRE + AGUA$$

Los conceptos utilizados han ido cambiando de generación en generación. Desde la aparición de nuevas interrogantes planteadas, para satisfacer las nuevas demandas del mercado global, se viene manejando conceptos desde concretos de alta y muy alta resistencia, concreto ligero, concreto autocompactantes. El ingeniero Portugal (2007) establece como concepto general a concretos de alto desempeño. Algunas definiciones se precisarán a continuación:

2.2.1.1.1 Definición de concretos de alto desempeño

Rivva (2014) define a concretos de alta resistencia, desde el año 1950, a aquellos cuya resistencia a la compresión sea mayor de 350 kg/cm^2 conceptos que han ido modificando a las nuevas investigaciones realizadas, llegando hasta concretos de resistencia de 1300 kg/cm^2.

Un concreto de alto desempeño lo define el ingeniero C. H. Goodspeed (Estados Unidos), citado por Portugal (2007):

> Puede llamarse concreto de alto desempeño (HPC) a cualquier concreto que satisface ciertos criterios propuestos que superan las limitaciones de concretos convencionales, estos pueden incluir concretos con mejorada resistencia a la acción del medio ambiente (durables) o un incremento de la capacidad estructural mientras mantienen una adecuada durabilidad. Pueden también

incluirse concretos que reducen significativamente el tiempo de construcción sin compromiso de un largo periodo de servicio.

A su vez, el autor lo define como aquel que alcanza la mayor efectividad y eficiencia ante solicitaciones particulares; ya que tienen una dosificación optimizada según las condiciones de trabajabilidad, y cumplen las características solicitadas, pudiendo ser de tipo estructural o medioambiental.

El ICG (2010) define al concreto autocompactante como "… capaz de fluir y consolidarse bajo su propio peso. Y es suficientemente cohesivo para llenar todos los espacios, de cualquier tamaño y forma, sin segregación y sangrado (exudación)".

El concreto autocompactante parte de la premisa de que, todos los materiales componentes del concreto, presentan características a ser optimizadas, en base a la máxima compacidad de los agregados.

Todos estos conceptos se basan en criterios que son requeridos para satisfacer, para buscar las propiedades especificadas, como lo describe en el proyecto de investigación Belito y Paucar (2018):

Se requiere conocer:

- Procedencia de los agregados
- Origen y tipo de cemento
- Procedencia y calidad del agua de mezclado
- Diseño de mezcla (ACI 211)
- Dosificación en peso y volumen de los materiales a mezclas, asegurar una resistencia promedio a la compresión.

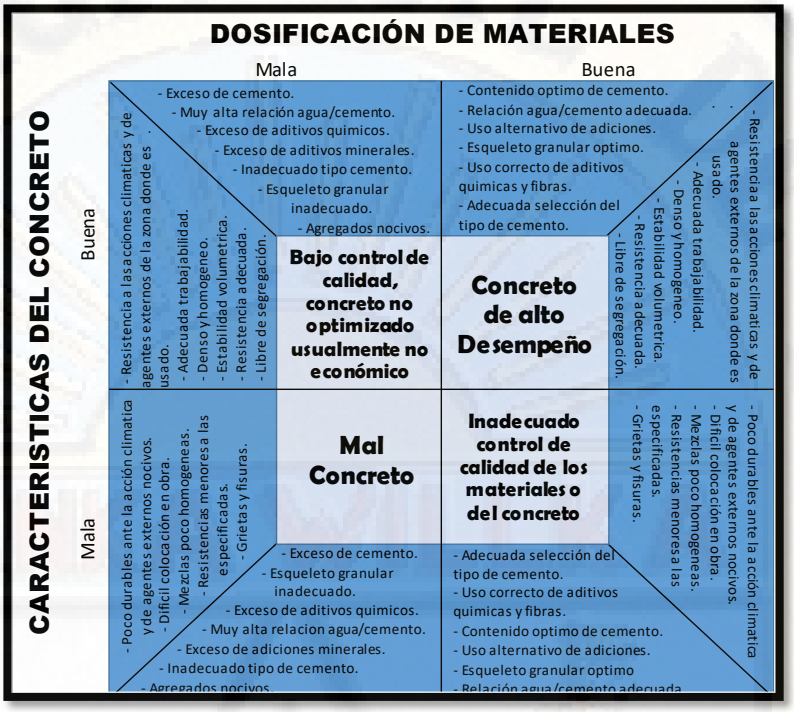


Figura 1: Consideraciones de las características del concreto, y su dosificación de materiales

Fuente: Portugal Barriga (2007, pág. 17)

2.2.1.2 Componentes del concreto

Una selección rigurosa de cada material a emplearse en la producción del concreto, se debe realizar de acuerdo con controles de calidad, cumpliendo con los requerimientos y especificaciones técnicas. Como ya se definió, el concreto tiene presente un sistema de 5 componentes: como lo mencionan los diferentes autores: cemento, agregados, agua, aditivos y adiciones, a continuación, se desarrollará cada uno de estos componentes.

2.2.1.2.1 Cemento portland

El cemento, siendo un componente activo en el concreto y que reacciona con el agua, presenta unas dimensiones de tipo de cemento y propiedades, las cuales son definidas en las distintas bibliografías, la definiéremos de acuerdo con ello.

Al cemento se le define como un material pulverizado que combinado con agua forma una pasta capaz de endurecerse en el agua y al aire. Riva (2010) define al concreto como "materiales pulverizados que poseen la propiedad de, por adición de una cantidad conveniente de agua, formar una pasta conglomerante capaz de endurecer tanto bajo el agua como al aire y formar compuestos estables" (pág. 14).

Portugal (2007), en su trabajo de investigación, resalta al cemento como el más importante y que tiene que cumplir con los requerimientos técnicos, definiéndole de la siguiente manera:

> Nos muestra que la elección del tipo de cemento Portland a usarse es muy importante para los concretos de alto desempeño, estos deben cumplir con las normas como la ASTM C 150 o C 595, por ser el cemento el componente más activo del concreto, y teniendo en cuenta que todas las propiedades del concreto dependen de la cantidad y tipo de cemento a usarse es que la selección del tipo a usarse y una adecuada dosificación son muy importantes (…)

En la Norma Técnica Peruana [NTP] 334.009, se define al cemento Pórtland como un cemento hidráulico producido mediante la pulverización del Clinker compuesto esencialmente por silicatos de calcio hidráulicos y que contiene generalmente una o más de las formas de sulfato de calcio como adición durante la molienda.

En la Norma Técnica, ya se distingue un nuevo concepto, Cemento Pórtland, que se combina las dos definiciones teóricas de cemento y Clinker. Abanto (2009) hace mención a este concepto como:

> El cemento Pórtland es un producto comercial de fácil adquisición el cual cuando se mezcla con agua, ya sea solo o en combinación con arena, piedra u otros materiales similares, tiene la propiedad de reaccionar lentamente con el agua hasta formar una masa endurecida. Esencialmente es un Clinker finamente molido, producido por la cocción a elevadas temperaturas, de mesclas que contienen cal, alúmina, fierro y sílice en proporciones determinadas.

a) Propiedades químicas del cemento

Las materias primas que constituyen al cemento son la cal, sílice, alúmina y óxido de hierro, estos componentes reaccionan por la cocción e interactúan formando compuestos más complejos, hasta alcanzar un estado de equilibrio químico, para obtener una idea general de la composición química del cemento se muestra la siguiente tabla, con sus límites de mezcla en porcentajes de los diferentes óxidos presentes.

Tabla 1*: Límites de composición aproximados para cemento Pórtland*

Oxido	Contenido %
Oxido de Calcio (CaO)	60 – 67
Dióxido de Silicio (SiO_2)	17 – 25
Oxido de Aluminio (Al_2O_3)	3 – 8
Oxido Férrico (Fe_2O_3)	0,5 – 6,0
Oxido de Magnesio (MgO)	0,1 – 4,0
Álcalis	0,2 – 1,3
Trióxido de Azufre (SO_3)	1 – 3

Fuente: Portugal Barriga (2007, pág. 25)

Todos estos compuestos, enumerados en la tabla, al reaccionar cada uno de ellos forman compuestos complejos, que constituye principalmente del 95 % del cemento, y el resto son residuos que no reaccionaron y se les considera como tal. Estos compuestos son los siguientes:

1. **SILICATO TRICÁLCICO (C_3S):** También denominado Alita, es la fase principal en la mayoría de los clinkeres Portland y se compone de 73,7 % de cal y 26,3 % de ácido silícico. Este compuesto presenta cristales poligonales

bien formados, con dimensiones que varían según el grado de cristalización, siendo bien desarrollados cuando la cocción ha tenido lugar a temperaturas suficientemente elevadas y durante bastante tiempo, así como en presencia de una cantidad adecuada de fase líquida. Esto, descrito en el trabajo de Portugal (2007), donde indica que el silicato tricálcico contribuye de manera muy importante a las resistencias iniciales, siendo su velocidad de hidratación alta, así también desarrolla un alto calor de hidratación. Altas concentraciones de este compuesto, son buenos y presentan una mejor acción a los ciclos de hielo y deshielo.

2. **SILICATO BICÁLCICO (C_2S):** También denominado Belita, es la segunda fase en importancia en el Clinker, y se compone de 65,1 % de cal y 34,9 % de ácido silícico. Este compuesto presenta cristales relativamente anchos, de contornos redondeados y tamaño variable. Este compuesto presenta una lenta velocidad de hidratación y desarrollo de calor bajo, altos contenidos de estos compuestos tienen una acción al producir concretos resistentes al ataque de sulfatos.

3. **ALUMINATO TRICALCICO (C_3A):** El aluminato tricálcico se compone de 62,3 % de cal y 37,7 % de alúmina. Este compuesto presenta un color oscuro, y son los primeros que reaccionan con el agua. Su fraguado ocurre a una velocidad de hidratación muy alta, y a la vez contribuyen las resistencias durante las primeras horas; su calor de hidratación es muy elevado; su uso tiene que ser controlado, llegando a un máximo de orden 7 %, recomendaciones del Ing. Portugal Barriga.

4. **FERRO ALUMINATO TETRACÁLCICO (C_4AF):** El ferro aluminato tetra cálcico se compone de 46,1 % de cal, 21 % de alúmina y 32,9 % de óxido de hierro. También es denominado Celita clara o ferrito. Presenta un calor de hidratación moderada con una alta estabilidad química. Su uso en los cementos ricos en estos compuestos tiene condiciones de empleo específicos

en todos aquellos casos en que importe más la durabilidad frente a los agresivos químicos que las resistencias mecánicas.

Todos estos compuestos se resumen en la siguiente tabla:

***Tabla 2**: Compuestos químicos del cemento pórtland*

Designación	**Fórmula**	**Abreviatura**	**Contenido %**
Silicato Tricalcico	$3CaO.SiO_2$	C_3S	30 – 50
Silicato Dicálcico	$2CaO.SiO_2$	C_2S	15 – 30
Aluminato Tricálcico	$3CaO.Al_2O_3$	C_3A	4 – 12
Ferro Aluminato Tetracálcico	$4CaO.Al_2O_3.Fe_2O_3$	C_4AF	8 – 13
Cal Libre	CaO		-
Magnesia Libre (Periclasa)	MgO		-

Fuente: Arauco Vera (2010, pág. 24)

La vista microscópica del cemento es considerada como un análisis semicuantitativo. A continuación, se muestra unas fotografías del cemento YURA, tipo I, realizado por el autor Portugal (2007).

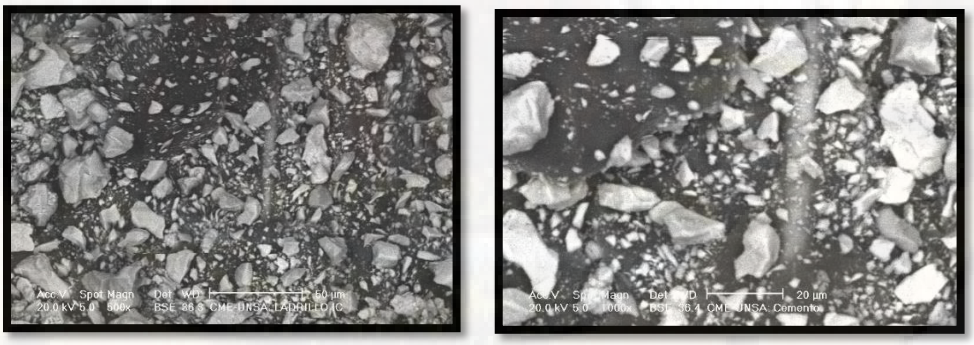


***Figura 2**:* Fotografía obtenida por microscopia del cemento YURA tipo I
Fuente: Portugal Barriga (2007)

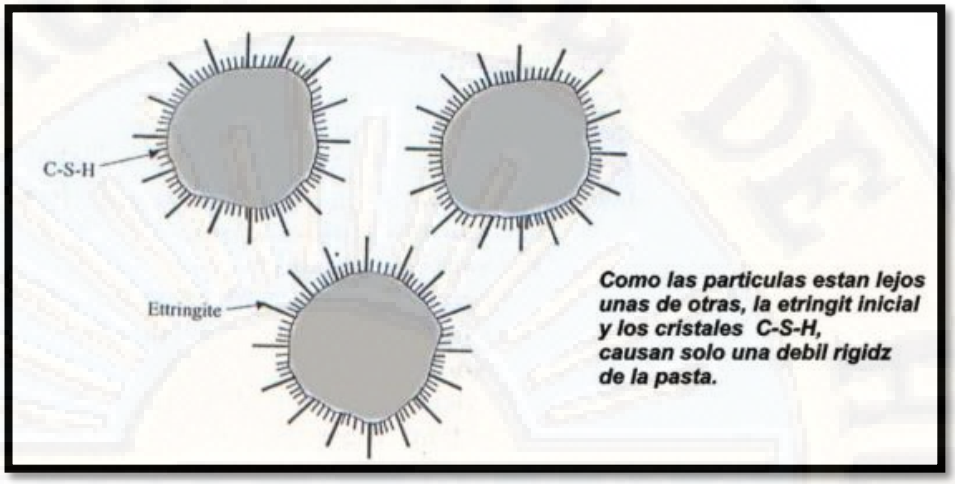
En estas fotografías se observa la forma y textura del cemento; presenta angulosidad de cada partícula y una textura lisa, que se asemeja a los agregados obtenidos por trituradoras (piedra chancada).

b) Hidratación del cemento

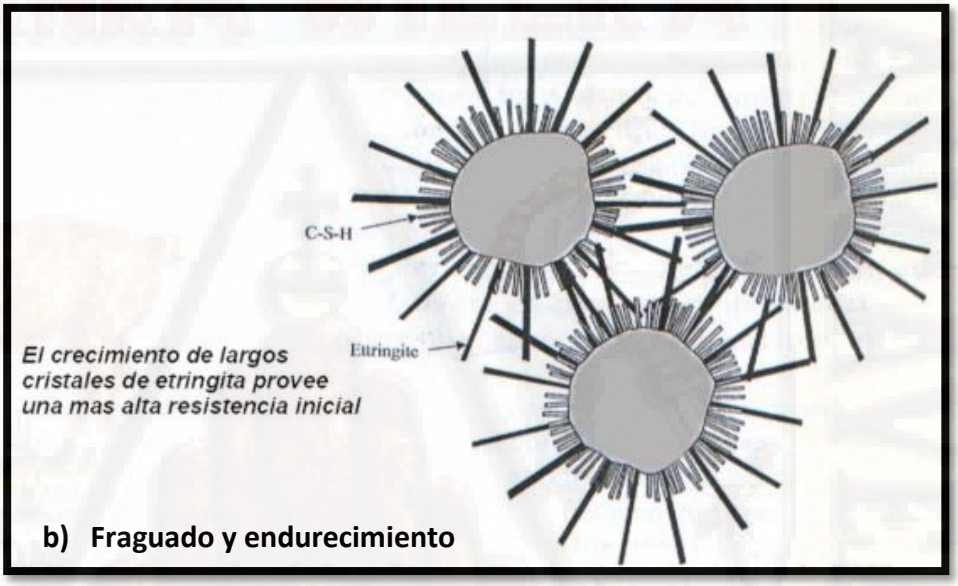
La reacción, mediante la cual el cemento se transforma en un agente de enlace, se produce en una pasta de cemento y agua. La hidratación comienza en los granos de cemento después de cierto tiempo de estar en contacto con el agua en la superficie de las partículas.

Cuando el cemento Portland y el agua son mezclados, comienza una serie de reacciones químicas las cuales han de dar por resultado perdida de asentamiento, fraguado, endurecimiento, evolución del calor de hidratación y desarrollo de resistencia. Se considera que los compuestos disueltos en el agua afectan el comportamiento del cemento y sus reacciones con los otros materiales del concreto tales como los agregados y aditivos, al cambiar con el tiempo la cantidad de algunos de los más importantes iones en solución. Igualmente, una reducción de los espacios originalmente ocupados por el agua.

En el siguiente gráfico se muestra el mecanismo de mezcla con menor relación agua/cemento, dada una menor cantidad de agua. La separación entre partículas es menor y mayor enlace entre las partículas de cemento, produciendo una mayor adherencia entre ellas.



a) Hidratación inicial – Periodo inactivo



b) Fraguado y endurecimiento

Figura 3: Representación esquemática de la hidratación del cemento
Fuente: Portugal Barriga (2007)

El calor de hidratación del cemento es un proceso de hidratación exotérmico, lo cual hace que los concretos al fraguar y endurecer aumenten de temperatura; este incremento es importante en concretos masivos, debido a que cuando ha ocurrido el fraguado y se inicial el descenso térmico, se origina contracción del material, que puede conducir a graves agrietamientos.

c) Propiedades físicas y mecánicas del cemento

Las propiedades físicas y mecánicas del cemento Pórtland permiten complementar las propiedades químicas del cemento y conocer otros aspectos de su bondad como material cementante.

1. **Peso específico.** Corresponde al material en estado compacto; su valor suele variar entre 3,0 y 3,2. El peso específico del cemento Portland generalmente es aproximadamente de 3,15, y mostrándose un valor inferior en los cementos combinados, ya que esto depende de la finura del material adicionado.

2. **Superficie específica (finura).** La finura de un cemento es función del grado de molienda del mismo y está íntimamente ligado a su valor hidráulico. Puesto que a la hidratación de los granos de cemento ocurre desde la superficie hacia el interior, el área superficial total de las partículas de cemento constituye el material de hidratación. La importancia de la finura radica en la influencia que puede tener sobre la velocidad de hidratación, la resistencia inicial y el calor generado.

3. **Fraguado.** Describe la rigidez de la pasta del cemento, se refiere a un cambio del estado de fluido al estado rígido. El proceso de fraguado va acompañado de cambios de temperatura en la pasta del cemento; el fraguado inicial corresponde a un rápido aumento en temperatura y el final, al máximo de temperatura.

4. **Resistencias mecánicas.** Es la propiedad del material que posiblemente resulta del uso de los requisitos estructurales; la resistencia es función de su fineza, composición química, grado de hidratación, así como contenido de agua de la pasta.

d) Tipos de cemento Pórtland

Los cementos Portland se clasifican en cinco tipos según su fabricación, cuyas propiedades están normalizados sobre la base de las especificaciones ASTM y las normas técnicas peruanas, siendo estas:

a) Tipo I: De uso general y sin propiedades especiales

b) Tipo II: Uso general, y específicamente cuando se desea moderada resistencia a los sulfatos o medrado calor de hidratación.

c) Tipo III: Para uso cuando se requiera altas resistencias iniciales y elevado calor de hidratación.

d) Tipo IV: Cuando se requiere bajo calor de hidratación.

e) Tipo V: De alta resistencia al ataque de sulfatos.

La norma ASTM C – 595 – 00 especifica las características de los cementos adicionados, los que contiene además de los compuestos mencionados, escoria y puzolanas añadido, así tenemos:

a) Tipo IS, entre 25 % y 70 % en peso de escoria de alto horno.

b) Tipo ISM, menos del 25 % en peso de escoria de alto horno.

c) Tipo IP, entre 15 % y 40 % en peso de puzolana.

d) Tipo IPM, menos del 15 % en peso de puzolana.

2.2.1.2.2 Agregados

Se define como agregado al conjunto de partículas inorgánicas, de origen natural o artificial, cuyas dimensiones están comprendidas entre los límites fijados en la Norma NTP 400.011, los agregados son la fase discontinua del concreto.

Se les denomina discontinua, ya que son los componentes inertes del concreto, pero su influencia en las características del concreto es muy notable, y a lo largo de los años se ha venido su estudio, esto debido al bajo costo comparativo con respecto al cemento. Hoy en día se visualiza que el agregado influye en el concreto tanto en estado fresco como en estado endurecido.

a) **Forma y textura de las partículas:** Es bastante difícil describir la forma de los cuerpos tridimensionales, se va a definir de acuerdo con los criterios establecidos por Wadell, citado por Portugal Barriga (2007, pág. 52), según este autor las propiedades de forma de los agregados se pueden caracterizar con dos factores:

1. Factor de esfericidad
2. Factor de redondez

La redondez es la medida del filo o angularidad relativos de los bordes o esquinas de una partícula, la redondez está controlada principalmente por la resistencia a la compresión y a la abrasión de la roca original, y por la cantidad de desgaste a la que hayan estado sujetas las partículas.

La esfericidad, que se define como una función de la relación del área superficial de la partícula con respecto a su volumen, se relaciona con la estratificación y el clivaje de la roca original, y también recibe la influencia del tipo de equipo de trituración, cuando el tamaño de las partículas ha sido reducido por medios artificiales.

b) **Granulometría de las partículas:** Se define como granulometría del agregado a la distribución por tamaños de las partículas, la que se logra por separación mediante el empleo de tamices de aberturas determinadas. No existe una curva granulometría ideal, que distinguible para cada cantera, según la forma de producción, elaboración y selección, la geología, su clasificación petrográfica y composición mineral. Las curvas granulométricas representan las proporciones de los diferentes tamaños de partículas de agregados en el conjunto, y estos son un factor determinante en el acomodo de los granos de agregado. Cada tamaño de agregado, así como la combinación de tamaños, deben cumplir con los requisitos de granulometría, y estos deben permitir obtener la máxima densidad del concreto con una adecuada trabajabilidad en función de las condiciones de colocación de la mezcla.

c) **Tamaño máximo: E**l tamaño máximo de los agregados y su influencia en las propiedades del concreto has sido ampliamente investigados. Portugal (2007) concluye que el tamaño máximo a utilizarse debe variar entre ½'' a ¾'', y no es recomendable utilizar tamaños mayores a 1''. Los agregados con tamaño menor contribuyen a producir concretos más resistentes debido a una menor concentración de esfuerzos alrededor de las partículas causados por la adherencia de módulos de elasticidad entre la pasta y el agregado. De acuerdo con la norma NTP 400.037, el tamaño máximo del agregado grueso es el que corresponde al menor tamiz por el que pasa la muestra de un agregado grueso

d) **Superficie especifica:** La medición de la superficie especifica es aún una de las características del agregado cuya medición es inexacta, se define como superficie especifica de una partícula de agregado al área superficial de la misma, su influencia en las características del concreto tanto en estado fresco como endurecido es notable, su influencia radica en que si se incrementa la superficie específica del agregado la trabajabilidad del concreto disminuye.

e) **Peso específico:** El peso específico de los agregados depende tanto de la gravedad especifica de sus constituyentes solidos como de la porosidad del mismo, materiales con bajas densidades indican material poroso, poco resistente y de alta absorción.

f) **Poros y absorción de los agregados:** Las características de los espacios porosos en los agregados han sido descritas como las más importantes propiedades físicas de los agregados, su importancia es debido a su influencia sobre las otras propiedades físicas o químicas de los agregados y a su control de la durabilidad en congelación y deshielo. Las características del poro determinan el volumen de agua que puede absorber, su velocidad de absorción, su facilidad de drenaje, su arrea superficial interna, y la porción de volumen de masa que es ocupada por materia sólida.

g) **Peso unitario, compacidad y porosidad:** Estos tres conceptos vienen a definir nuestro campo de estudio, y que son muy útiles en el diseño de concreto de alto desempeño:

- **Peso unitario (PU).** Se define al peso unitario o volumétrico del agregado, ya sea en estado suelto o compactado, al peso que alcanza un determinado volumen unitario. Usualmente esta expresado en kg/m^3.

- **Compacidad (Φ).** Se define compacidad del agregado, al volumen de sólidos en un volumen unitario, se expresa en la relación del peso unitario y el peso específico.

- **Porosidad.** Se el contenido de vacíos, el espacio no ocupado por las partículas de agregado en un volumen unitario, se puede calcular como la diferencia entre una unidad menos la compacidad, expresada en porcentajes.

h) **Resistencia de las partículas del agregado:** La resistencia y elasticidad van a depender de acuerdo con su composición, textura y estructura, distinguiendo

que en una baja resistencia los granos de los agregados presentan debilidad, o que no se encuentren bien unidos unos con otros. Las resistencias de los agregados muestran valores considerablemente mayores y su comparación a los rangos considerados de las resistencias del concreto se deben a que los esfuerzos ejercidos en los puntos de contacto entre partículas individuales, pueden ser mucho mayores que el esfuerzo nominal de compresión aplicado, para rocas tipo arenisca, se muestran valores de 450 kg/cm^2 y llegando a valores como la cuarcita de 5 413 kgcm^2, descrito en el trabajo del Ing. Portugal.

i) Clasificación de los agregados

La clasificación de los agregados vienen a ser definidos de acuerdo con su origen, su composición mineralógica, su tamaño, por sus propiedades físicas, por sus propiedades químicas, por su peso, por su perfil, por su textura superficial, por su petrografía, tal como lo detalle Rivva López (2010, pág. 69).

1) Por su origen

Se clasifican en:

- Agregados naturales, y
- Agregados artificiales

Se consideran naturales porque son producto de un proceso de obtención o transformación natural, y los agregados obtenidos por trituración mecánica y tamizado de rocas se consideran dentro de la clasificación de agregados naturales.

Se consideran agregados artificiales a las partículas obtenidas como el resultado de un proceso de transformación industrial de un elemento natural, como las escorias de alto horno.

2) Por su composición mineralógica

Por su composición mineralógica, los agregados pueden ser principalmente:

- Silicios
- Calcáreos

3) Por su tamaño

De acuerdo con su tamaño los agregados se clasifican en:

- *Agregado fino*: Se considera como agregados finos a la arena (sean fino o gruesa), de dimensiones reducidas y que pasan el tamiz de 3/8'' y que cumple con los límites establecidos en la norma ITINTEC 400.037
- *Agregado grueso*: Se considera agregado grueso a las gravas y piedras partida o chancada, cuyo material es retenido en el tamiz N° 4, proveniente de la desintegración natural o mecánica de las rocas, cuyos límites cumplen con la norma ITINTEC 400.037.

4) Por sus propiedades físicas

Por la contribución de sus propiedades físicas a la calidad del concreto, se clasifica de la siguiente manera:

- *Agregado bueno*: Es aquel que contribuye a la resistencia alta del concreto, tiene buena durabilidad baja cualquier condición interna o externa, y es resistente a la erosión y abrasión.
- *Agregado satisfactorio*: Es aquel cuyos elementos contribuyen a una moderada resistencia del concreto, y dan buena resistencia a los procesos de abrasión y erosión, así como buena durabilidad bajo cualquier acción.

- *Agregado regular*: Es aquel cuyos constituyentes contribuyen a obtener una moderada resistencia a la compresión ya abrasión, pero bajo condiciones de clima pueden contribuir a su destrucción.

- *Agregado pobre*: Es aquel cuyos constituyentes son de baja calidad y contribuyen a obtener bajas resistencias mecánicas y de abrasión del concreto, y contribuyen a su destrucción bajo condiciones climáticas pobres.

5) Por sus propiedades químicas

La reactividad química de los constituyentes del agregado especialmente con los álcalis del cemento, se clasifican en:

- *Inocuos*: Son aquellos cuyos elementos constituyentes no participan, en reacciones químicas dañinas al concreto.

- *Deletéreos*: Son aquellos que contienen materiales las cuales producen efectos adversos sobre el concreto debido a la reacción química que tiene el concreto que tiene lugar con posterioridad al endurecimiento de la pasta.

6) Por su peso

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

- *Agregados pesados*: Estos se pueden encontrar en el espato pesado, la magnetita, la limonita, la baritina, etc. Y los artificiales incluyen trozos de hierro, bolas de metal, virutas de acero, limaduras de hierro, etc.

- *Agregados de peso normal*: Se encuentran en las arenas y cantos rodados de río o de cantera, en los artificiales las escorias de alto horno, el Clinker triturado, el ladrillo partido, etc.

- *Agregados livianos*: Se encuentran en la escoria volcánica y la piedra pómez, en los artificiales, el Clinker de altos hornos, las arcillas, las pizarras y esquistos expandidos, etc.

7) Por su perfil

De acuerdo con su perfil de las partículas de agregado se componen de:

- *Redondeado*: Comprende aquellas partículas totalmente trabajadas por el agua o completamente perfiladas por desgaste o frotamiento, tales como la grava de ríos o de mar.
- Irregular: Comprende las gravas naturalmente irregulares o parcialmente perfiladas por desgaste y que tiene caras redondeadas, tales como las gravas de cantera de aluvión.
- *Laminado*: Comprende aquellas partículas en las cuales el espesor es pequeño en relación a las otras dos dimensiones.
- *Angular*: Comprende aquellas partículas cuyos ángulos son bien definidos y están formados por la intersección de caras rugosas.
- *Semi angular o semi redondeado*: Comprende aquellas partículas cuyos ángulos están formados por la intersección de caras rugosas y otras que son redondeadas o tienden a serlo.
- *Elongado*: Comprende aquellas partículas generalmente angulares, en las cuales la longitud es considerablemente mayor a las otras dos dimensiones.
- *Laminado y elongado*: Comprende aquellas partículas que tienen la longitud considerablemente mayor que el ancho, y este considerablemente mayor que el espesor.

8) Por su textura superficial

Se pueden clasificar en:

- Textura vítrea
- Textura suave
- Textura granular
- Textura rugosa
- Textura cristalina
- Textura alveolar

9) Por su petrografía

Esta clasificación se da de acuerdo con su clasificación de las rocas originarias, siendo:

- Grupo Basalto
- Grupo Granito
- Grupo Hornfelsa
- Grupo Pórfido
- Grupo Pedernal
- Grupo Gabro
- Grupo Arenisca
- Grupo Caliza
- Grupo Cuarcita
- Grupo Esquisto

2.2.1.2.3 Agua

El agua es el elemento indispensable para la preparación del concreto, ya que una variación en la cantidad de agua afecta a la Resistencia, trabajabilidad y demás propiedades del concreto endurecido.

Debido a que el agua ocupa un papel predominante en las reacciones del cemento durante el estado plástico, el proceso de fraguado y el estado endurecido de un concreto.

Riva López (2010) muestra que el uso del agua presenta en la mezcla de concreto reacciona con el cemento para lograr:

> La formación del gel, para que, en estado fresco, facilite una adecuada manipulación y colocación de la misma y estado endurecido se convierta en un producto con las propiedades y características deseadas.
>
> El uso de agua esta conceptualizado de acuerdo con el uso, teniendo las siguientes definiciones:
>
> a) *Agua de mezclado*: Es definida como la cantidad de agua por volumen unitario de concreto.
> b) *Agua de hidratación*: Es aquella parte del agua original de mezclado que reacciona químicamente con el cemento para pasar a forma parte de la fase solidad del gel, es también conocida como agua evaporable.
> c) *Agua evaporable*: Es agua restante que existe en la pasta, es agua que puede evaporarse, pero no se encuentra libre en su totalidad.
> d) *Agua capilar*: Es el agua que ocupa los poros capilares de la pasta, a distancias que suelen estar comprendidas en el intervalo de 30 a 10 A, de manera que parte de ella está sujeta débilmente a la influencia de las fuerzas de superficie del gel.
> e) *Agua libre*: es la que se encuentra fuera de la influencia de superficies, de tal modo que tiene completa movilidad y puede evaporar con facilidad.

f) *Agua de curado*: Es aquella a ser usado en el estado endurecido del concreto, para su posterior hidratación.

El agua empleada debe cumplir conciertos requisitos de calidad, y que están normas en la NTP 339.088, y donde se estipula que de preferencia debe ser potable.

2.2.1.2.4 Adición

Los materiales empleados como adiciones minerales u orgánicas en el concreto no son cemento Portland ni agregados sino productos que molidos conjuntamente con el Clinker o mezclados con el cemento, producen materiales de las características de este y cumplen con las indicaciones de la Norma ASTM C – 595, reaccionando químicamente con el hidróxido de calcio resultante de la hidratación, contribuyendo de esta manera a incrementar la resistencia, disminuir significativamente la permeabilidad y aumentar la durabilidad del concreto en el tiempo.

2.2.1.2.5 Aditivo

Un aditivo es definido por la norma ASTM C – 125, como un material diferente del agua, agregados, cemento hidráulico y refuerzo de fibra, el cual se emplea como ingrediente del cemento o mortero, y es añadido a la tanda en la mezcladora inmediatamente antes o durante el mezclado, con la finalidad de modificar una o algunas de las propiedades del concreto, facilitar el proceso de colocación del concreto, obtener economía en los costos de producción del concreto y ahorrar energía. (Rivva López, 2010, pág. 134)

2.2.1.3 Propiedades del concreto

2.2.1.3.1 Trabajabilidad y consistencia

La trabajabilidad, es la facilidad que presenta el concreto fresco para ser mezclado, colocado, compactado y acabado sin segregación y exudación durante estas operaciones.

La consistencia está definida por el grado de humedecimiento de la mezcla, depende principalmente de la cantidad de agua usada. Es también conocido como SLUMP TEST, es utilizada para caracterizar el comportamiento del concreto fresco.

2.2.1.3.2 Segregación

Es una propiedad del concreto en estado fresco que implica la descomposición de este en sus partes constituyentes o lo que es lo mismo en la separación del agregado grueso del mortero. Este es un fenómeno perjudicial para el concreto y debe ser suprimido, para un concreto de mayor calidad.

2.2.1.3.3 Resistencia

La resistencia del concreto no puede probarse en condiciones plásticas, por lo que el procedimiento adecuado y acostumbrado es tomar muestra durante las mezclas las cuales deben ser curadas para su posterior sometimiento a pruebas de compresión. La resistencia a comprensión (f'c) debe ser alcanzado a los 28 días, después del vaciado y curado respectivo.

Entre los factores que afectan al concreto, los más influyentes son las relaciones agua – cemento (a/c), el contenido de cemento, el tipo de cemento y las condiciones de curado.

2.2.1.3.4 Exudación

Se define como el ascenso de una parte del agua de la mezcla hacia la superficie, como consecuencia de la sedimentación de los sólidos. Este fenómeno se presenta momentos después de que el concreto ha sido colocado en el encofrado.

2.2.1.3.5 Durabilidad

El concreto debe ser capaz de resistir la intemperie, acción de productos químicos y desgaste, a los cuales estar sometido en el servicio, gran parte de los daños presentes en el concreto se deben a acciones de congelamiento y descongelamiento.

2.2.1.3.6 Impermeabilidad

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

2.2.1.4 Vidrió: Fabricación, composición y producción

El vidrio es un material muy comercializado, que presenta una apariencia dura, y mayormente transparente. Gala y Lizana (2015), en su trabajo de investigación mencionan, "(…) está compuesto por una mezcla de óxidos metálicos, siendo su componente principal el óxido de sílice, (…) las moléculas que las componen, donde los enlaces Si-O están distribuidos de manera irregular, sin un patrón determinado, siendo por definición un material amorfo".

Para lo cual se muestra el siguiente gráfico, con las respectivas diferencias en sus estructuras.

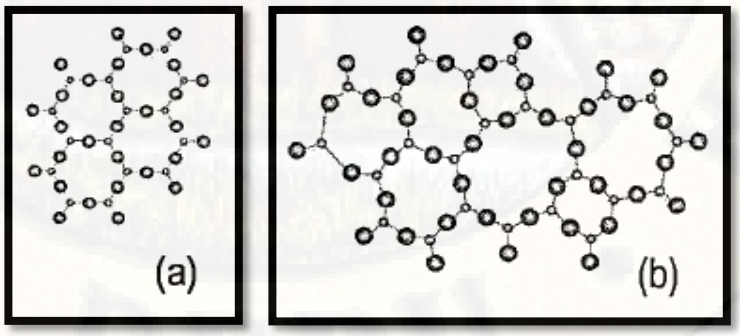


Figura 4: Representación de una red cristalina de sílice
Fuente: Gala y Lizana (2015, pág. 30)

En la figura (a), se muestra la estructura bidimensional de la red cristalina de la sílice, presentando una forma hexagonal regular, mientras que la figura (b) muestra una estructura muy variada, sin un patrón definido.

2.2.1.4.1 Composición del vidrio

La composición principal del vidrio es el compuesto de sílice, que está a su vez es obtenida a partir de arena, pedernal o cuarzo, siguiendo la siguiente composición:

a) Óxidos formadores de la red vítrea, vitrificantes, tales como SiO_2, B_2O_3 o P_2O_5 para los tipos de productos vítreos más generales o tradicionales.

b) Óxidos modificadores de la red vítrea, fundentes, que aportan enlaces por los denominados "oxígenos – no puente".

c) Óxidos estabilizantes que tienen un carácter intermedio o anfótero, los que aportan los oxígenos puente.

Además de estos componentes se pueden encontrar los que cumplen funciones de afinantes, colorantes, decolorantes, opacificantes, fluidificantes, catalizadores o nucleantes de la cristalización.

2.2.1.4.2 Fabricación y producción del vidrio

a) **Materias primas:** para la fabricación del vidrio se usan materias primas como la arena silícea (arcillas) y una mezcla de óxidos metálicos secos pulverizados o granulados.

b) Fabricación

El proceso de fabricación, es la siguiente: a medida que la materia prima es recibida, estos en primera etapa son molidos y almacenados en depósitos de altura, hasta que sean transferidos a través de sistemas de gravedad a los pesadores y mezcladores, en aquí las materias primas son dosificadas y

combinadas con el vidrio reciclado para formar una mezcla homogénea, esta mezcla es transportada a sistemas de almacenamientos, antes de ser depositada en el alimentados del horno de fundición.

En el horno se visualiza una masa de vidrio fundida, para después ser refinado acondicionada para descargar el producto formado.

c) Tipos de vidrio

1) Vidrio sodocálcico: Es el tipo de vidrio más utilizado para fabricas todo tipo de contenedores, son productos inertes, y con poca resistencia al choque térmico.

2) Vidrio al plomo: Es el resultado de combinar oxido de potasio con oxido de plomo, es utilizado para protección en instalaciones nucleares, por su alto índice de refracción.

3) Vidrio de boro silicato: Este vidrio contiene oxido bórico, junto con sílice y álcalis, destaca por su durabilidad, resistencia a los ataques químicos y choques térmicos, su uso está en utensilios de cocina, aparatos de laboratorio y equipos para procesos químicos.

2.2.2 Diseño de mezcla

El diseño de mezcla es el proceso por el cual se van a obtener las cantidades de cada material, mejor conocido como dosificación de los materiales, esto a efectos de los requerimientos solicitados en cada proyecto.

Los diseños de mezclas existente son muy numerosos, métodos que utilizan distintas características, como módulo de fineza del agregado, contenido de aire, granulometría del agregado, y demás; que hacen que los resultados obtenidos sean variados. Portugal (2007, pág. 104) indica que, desde los comienzos, los investigadores has estudiado en demasía las características granulométricas, de forma y superficie del

agregado, y a partir de esto relacionan con la compacidad de los agregados. Nos describe que buscaban una curva granulométrica continua, adecuada que en la bibliografía se plasma como el Método de Fuller, donde se sustentaba que la curva granulométrica adecuada podía mejorar la resistencia mecánica y otras características del concreto, ya para el año 1925 en Francia el profesor Caquot muestra la solución matemática para la composición granulométrica de los concretos, indicando que el volumen absoluto varia proporcionalmente al tamaño de los agregados y a la superficie de las paredes que lo contienen, efecto conocido como efecto pared. En nuestros tiempos estas curvas han sido generalizadas y normadas, como en la norma técnica peruana NTP 400.007, sin embargo, la búsqueda de la curva ideal aun es una de las investigaciones que más inquietan a los investigadores.

El método de modelo de empaquetamiento compresible (MEC), nos permite predecir con buena precisión la compacidad de mezclas granulares, De Larrad y Sedran, en el año 1999 han incursionado a este modelo los materiales finos como el cemento, para este trabajo solo se hace extensión a las mezclas de las partículas granulares del agregado y no a las partículas finas del cemento, ya que requeriría una investigación más profunda y un laboratorio más equipado.

El método de acomodo compresible, relaciona el tipo de mezcla que hacen los agregados, presentándose dos casos:

a) Cuando los granos gruesos son más dominantes; en este caso son los granos gruesos los que conforman el esqueleto granular que bloquea el paso de los granos pequeños, tal como se muestra en la siguiente imagen.

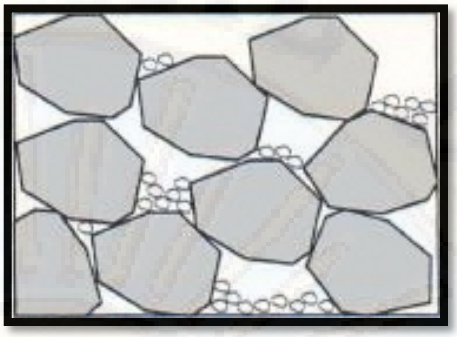


*Figura 5:*Mezcla con granos gruesos dominantes
Fuente: Portugal Barriga (2007, pág. 114)

b) Cuando los granos finos son los dominantes, en este caso son los granos pequeños los que bloquean el sistema, tal como se muestra en la siguiente imagen:

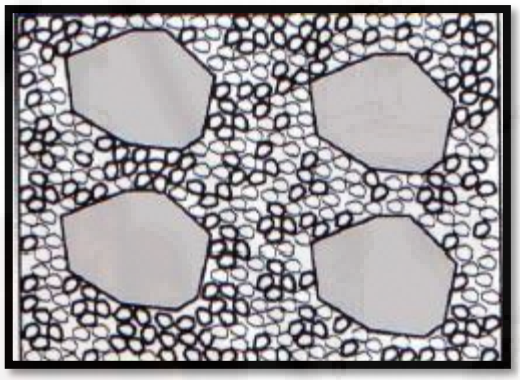


Figura 6: Mezcla con granos finos dominantes
Fuente: Portugal Barriga (2007, pág. 114)

Si un grano fino es insertado en la porosidad del acomodo de granos gruesos los cuales son dominantes y si no son suficientemente pequeños para ubicarse en un vacío, hay entonces localmente una disminución de volumen de granos grueso, efecto conocido como efecto de aflojamiento. Cuando algunos granos gruesos aislados son inmersos en un océano de granos finos, existe una cierta cantidad de vacíos en el acomodo de granos más pequeños, localizada en cada interface, que se denomina efecto pared

En el siguiente grafico se visualiza, cada uno de estos efectos:

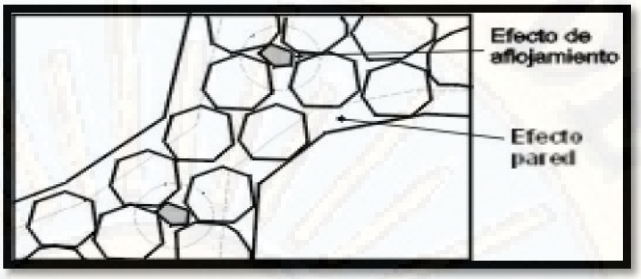


Figura 7: Efectos de aflojamiento y pared ejercidos por y sobre los gramos medianos

Fuente: Portugal Barriga (2007, pág. 119)

En la figura so observa que los granos medianos actúan como una pared, que impide que granos más pequeños ingresen a llenar el vacío, la porosidad que han formado entre ellos, y a la vez estos al hacer ingresar un grano fino, este reduce el espacio que pueda ser ocupado por otro grano fino.

2.2.2.1 Procedimiento de diseño de mezcla

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

La proporción de los agregados en la mezcla de concreto, son obtenidos en base al criterio de máxima compacidad, buscando distintas combinaciones entre los agregados fino y grueso hasta obtener el *peso unitario compactado* (PUC) de cada una, el que nos dé el máximo valor de PUC, será el que tenga menor cantidad de vacíos.

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

a) Selección de la combinación de agregado grueso y fino que produzca la mejor compacidad.

b) Con la selección AF/AG seleccionada se procede a encontrar la cantidad de agua necesaria para lograr un asentamiento de 1.5 pulgadas en la mezcla de concreto. Esto se ha de conseguir generando mezclas con igual relación a/c en peso, pero distintas cantidades de agua.

c) Con estos datos calculados se procede a realizar la dosificación de cada componente del concreto, para el preparado del concreto patrón.

d) Se visualiza en el ensayo de SLUMP TEST, como empieza a fluir nuestra mezcla de concreto, una inspección visual, para saber si aumentar agua o disminuirla, ensayo que se le conoce como extensión de flujo, para concretos autocompactantes (Pineda Vallejo, 2003). Este ensayo es usado para medir el flujo libre horizontal del concreto fresco, es decir la capacidad de la mezcla de fluir y llenar todos los espacios del encofrado, najo loa acción de su propio peso.

A continuación, se presenta el diagrama de flujo del procedimiento propuesto en el diseño de mezcla.

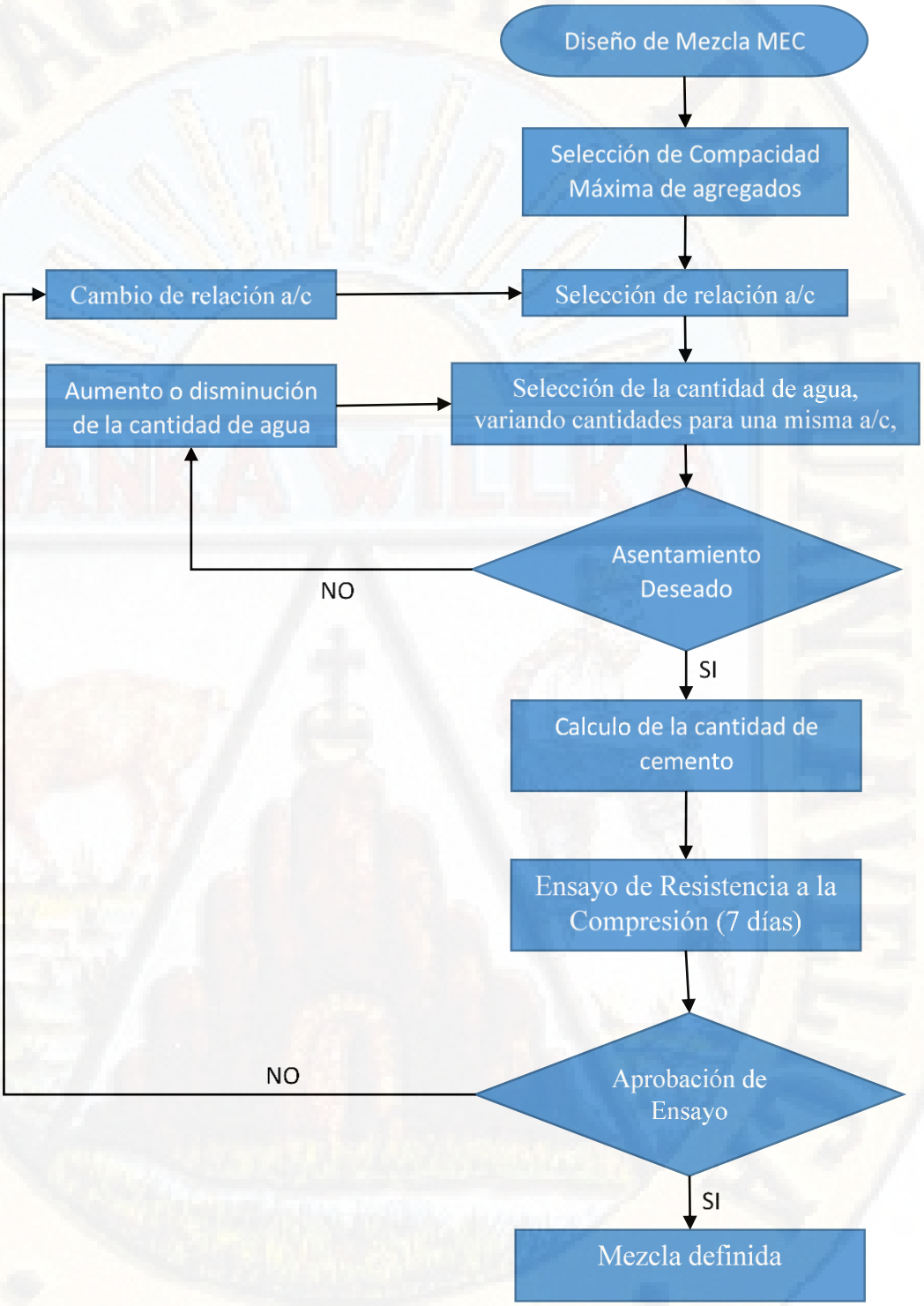


Figura 8: Procedimiento de diseño de mezcla con MEC
Fuente: Elaboración propia 2018

2.3 Hipótesis

2.3.1 Hipótesis general

El uso de vidrio molido y la selección de materiales áridos por el MEC influyen significativamente en la obtención de concretos de alta resistencia sin uso de aditivos, en los diseños de mezcla, en la ciudad de Huancavelica, año 2017 – 2018.

2.3.2 Hipótesis especificas

El óptimo porcentaje de vidrio molido influye significativamente en la obtención de concretos de alta resistencia sin uso de aditivos, en los diseños de mezclas, en la ciudad de Huancavelica, año 2017 – 2018.

El MEC influye significativamente en los diseños de mezclas para la obtención de concretos de alta resistencia sin uso de aditivos, en la ciudad de Huancavelica, año 2017 – 2018.

2.4 Definición de términos

A continuación, se presentan los términos utilizados, que ayuden a describir y conocer mejor el tema del trabajo de investigación.

Concreto de alta resistencia: Se define a un concreto de alta resistencia como aquel que alcanza una resistencia igual o superior a los 350 kg/cm^2, a los 28 días, sin embargo, el ACI, estable que la resistencia debe ser igual o superior a los 500 kg/cm^2, usualmente estos concretos son considerados como de alto desempeño, además debe poseer una adecuada trabajabilidad y durabilidad.

Adición: materiales minerales que se incorporan al cemento, generalmente la molienda conjunta con ciertas rocas naturales o no que actúan, o bien aumentando las propiedades hidráulicas del cemento o mejorando las cualidades debido a una adecuada granulometría.

Asentamiento: medida de la consistencia del mortero o concreto fresco expresada por el descenso de una masa plástica representativa del pastón al quedar libre del soporte metálico en que fue moldeado.

Calor de hidratación: cantidad de calor producido durante los procesos de fraguado y endurecimiento del cemento debido a reacciones fisicoquímicas.

Curado: proceso que consiste en controlar las condiciones ambientales de temperatura y humedad durante el fraguado y/o endurecimiento del cemento, mortero o concreto.

Compacidad: volumen de sólidos en un volumen unitario.

Dosificación: proporción en masa o volumen de los distintos componentes que integran el concreto en una unidad de volumen.

Fraguado: condición alcanzada por una pasta, mortero o concreto de cemento cuando este ha perdido plasticidad a un grado arbitrario, generalmente medido en términos de resistencia a la penetración, fraguado inicial se refiere a la primera rigidez, fraguado final se refiere a una rigidez alcanzada significativamente.

2.5 Identificación de variables

2.5.1 Variable dependiente

Resistencia del concreto

2.5.2 Variable independiente

Diseño de mezcla por el MEC (f'c)

- F'c = 300 Kg/cm^2
- F'c = 340 Kg/cm^2
- F'c = 390 Kg/cm^2

Porcentaje de Vidrio Molido

- % Vidrio = 5 %
- % Vidrio = 7.5 %
- % Vidrio = 10 %
- % Vidrio = 15 %

2.6 Operacionalización de las variables e indicadores

Tabla 3: Operacionalización de variables

Variable	Definición conceptual	Indicador	Instrumento	Fuente
Independiente				
Diseño de mezcla por el MEC	Selección de agregados por máxima compacidad, para una dosificación de agregados.	F'c = 300 Kg/cm^2 F'c = 340 Kg/cm^2 F'c = 390 Kg/cm^2	Trabajo de Gabinete	MEC
Porcentaje de Vidrio Molido	Es un material finamente molido que va a ser empleado en la producción de concreto	% Vidrio = 5 % % Vidrio = 7.5 % % Vidrio = 10 % % Vidrio = 15 %	Equipo de Molienda	Registro
Dependiente				
Resistencia del Concreto	Es una medida máxima a especímenes de concreto, obtenidos en laboratorio a través de la compresión de carga axial.	Valor indicado en el equipo de compresión digital en Kg/cm^2	Equipo de compresión digital	Briquetas de Concreto

Fuente: Elaboración propia

CAPITULO III: METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1 Ámbito de estudio

La presente investigación se encuentra enmarcada en el departamento de Huancavelica, ubicada en las siguientes coordenadas:

Tabla 4: *Posición geográfica de la cantera río Ichu – Chuñuranra*

Coordenada Este	**496184,46 m**
Coordenada Norte	**8586716,89 m**
Altitud/Elevación	**3769 msnm**
Ubicación	**Chuñuranra**

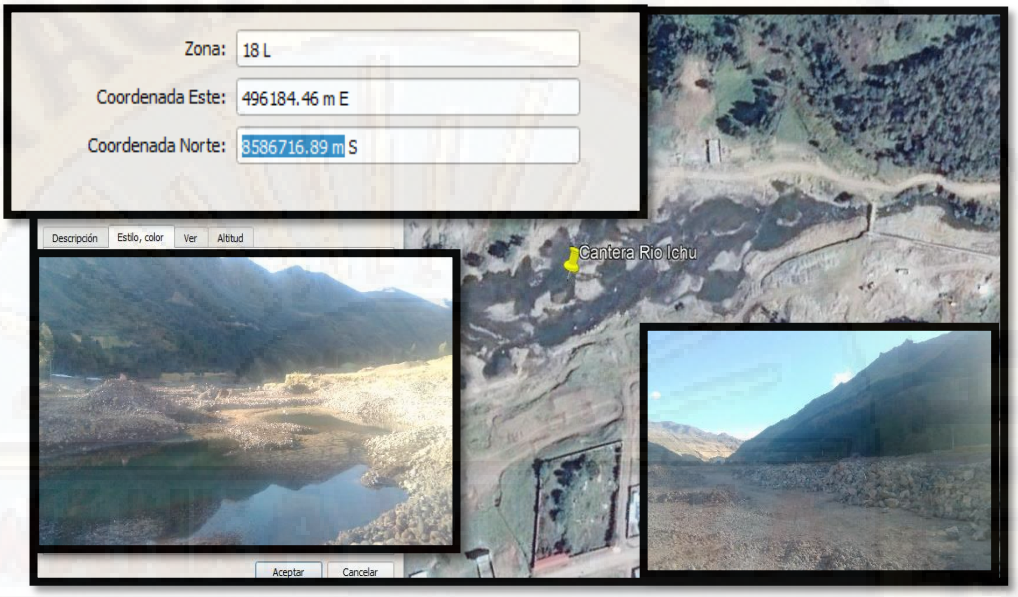


Figura 9: Ubicación de la cantera de río Ichu – Chuñuranra

3.2 Tipo de investigación

Por el tipo de investigación, el presente estudio reúne las condiciones metodológicas de una investigación APLICADA – EXPERIMENTAL. Según Supo (2012), de acuerdo con la intervención del investigador: «Experimental: Siempre son prospectivos, longitudinales, analíticos y de nivel investigativo "explicativo" (causa – efecto); además de ser "controlados"» (pág,01), y según Ñaupas, Mejía, Novoa y Villagómez (2014), la investigación aplicada o tecnológica "(...) se llaman aplicadas porque con base en la investigación básica, pura o fundamental (...) se formulan problemas e hipótesis de trabajo para resolver los problemas de la vida productiva de la sociedad (...)" (pág,93).

3.3 Nivel de investigación

El nivel de investigación es EXPLICATIVO. Según Supo (2012), este nivel "explica el comportamiento de una variable en función de otra(s); por sus estudios de causa-efecto requieren control y debe cumplir otros criterios de causalidad" (pág,02).

3.4 Método de investigación

De acuerdo con el enfoque cuantitativo, se seguirá un método DEDUCTIVO – DESCRIPTIVO. Según Hernández, Fernández y Baptista (2014), es método deductivo – cuantitativo cuando la investigación sigue un patrón predecible y estructurado, de acuerdo con ciertas reglas lógicas y, en base a eventos, estos se describen para especificar una propiedad de un objeto sometido a análisis.

3.5 Diseño de investigación

En la investigación EXPERIMENTAL se desarrolla un diseño de EXPERIMENTO VERDADERO. Según Supo (2012), el diseño experimental se define en tres tipos, siendo el experimento verdadero aquel que "cumple con la asignación aleatoria (grupo control) e intervención a propósito de la investigación" (pág,03).

3.6 Población, muestra y muestreo

Este ítem establece una técnica base estadístico – matemática, donde se extrae, de un universo o población (N), una muestra (n). Para Gay (1996, pág. 11), citado por Ñaupas, Mejía, Novoa y Villagómez (2014, pág. 246), sostiene que:

> Es el proceso de selección de un número de individuos de estudio, tal que los individuos representen al grupo más grande del cual fueron seleccionado (…) el propósito del muestreo es ganar información acerca de la población; raramente hay un estudio que incluya la población total de sujetos.

3.6.1 Población

En el presente estudio se trabajó con una población total de 75 unidades de probetas de concreto, en la región de Huancavelica, de las canteras de río Ichu – Chuñuranra.

3.6.2 Muestra

En el presente estudio se trabajó con una muestra de 75 unidades de probetas de concreto, en la región de Huancavelica, de las canteras de río Ichu – Chuñuranra. Fueron distribuidas de la siguiente manera:

- ✓ 25 probetas de agregado, con una relación de a/c de 0.40, con un porcentaje de agregado fino de 48 %, optimizado por MEC.
- ✓ 25 probetas de agregado, con una relación de a/c de 0.45, con un porcentaje de agregado fino de 48 %, optimizado por MEC.
- ✓ 25 probetas de agregado, con una relación de a/c de 0.55, con un porcentaje de agregado fino del 48 %, optimizado por MEC.

Para la obtención de un error tipo I = 0.05 y un nivel de confianza de 095.

3.6.3 Muestreo

Se empleó el tipo de muestra no probabilística y, dentro de ella, se tomó en cuenta el muestreo aleatorio simple.

3.7 Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Ñaupas, Mejía, Novoa y Villagómez (2014, pág. 201) definen como "Las técnicas e instrumentos de investigación y se refieren a los procedimientos y herramientas mediante los cuales vamos a recoger los datos e informaciones necesarias para probar o contrastar nuestras hipótesis de investigación(..)".

3.7.1 Técnicas

✓ La observación

La observación es el proceso de conocimiento de una realidad, mediante el contacto directo entre el sujeto y el fenómeno. Según Supo (2012, pág. 19), "La

observación es científica cuando es sistémica, controlada y cuenta con mecanismos destinados a evitar errores de subjetividad, confusiones, etc. (...)”

✓ La documentación

La documentación corresponde a la forma de recopilar información, mediante el uso de fichas de recolección de datos donde se copea la información hallada, encontrada o calculada de los diferentes medios.

Para el presente proyecto de investigación, se recopilo información en base a normas vigentes, reglamentos internos y bibliografía especializada, todos los datos recolectados fueron sacados directamente de laboratorio, tal como se detalla a continuación:

a) Análisis Granulométrico, de acuerdo a la norma técnica NTP 400.012

b) Pesos Unitarios Sueltos y Compactados, de acuerdo a la norma técnica NTP 400.017

c) Porcentaje de Humedad, de acuerdo a la norma técnica NTP 339.185

d) Peso Específico y Absorción, de acuerdo a la norma técnica NTP 400.021

e) Resistencia al desgaste del agregado grueso, de acuerdo a la norma técnica NTP 400.019 y NTP 400.020.

3.7.2 Instrumentos

Todos los instrumentos, para la elaboración del proyecto de investigación, fueron utilizados del laboratorio de tecnología del concreto; enumerándose los siguientes:

- ✓ Balanza de 4,00 y 100,00 Kg
- ✓ Juego de tamices
- ✓ Horno eléctrico de 100 °C

- ✓ Taras y bandejas de diferentes volúmenes
- ✓ Probetas graduadas de 500 ml
- ✓ Fiola de 500 ml
- ✓ Máquina de abrasión de los ángeles
- ✓ Máquina de compresión de 125 000 Kg de fuerza.
- ✓ Balanza hidráulica
- ✓ Pozas para curado de probetas de concreto
- ✓ Termostato para curado a temperatura ambiental
- ✓ Cono de Abrams
- ✓ Fichas de registro de datos.

3.7.3 Procedimiento de recolección de datos

Para la recolección de datos se siguió, el siguiente plan de trabajo:

- ✓ Elaboración de un plan general de trabajo
- ✓ Extracción de agregados fino (Arena fina) y grueso (piedra chancada) de la cantera de río Ichu – Chuñuranra.
- ✓ Ensaye de análisis granulométrico, para el agregado grueso (AG) y fino.
- ✓ Ensaye de compacidad suelto y compactado, para cada muestra del agregado grueso y del agregado fino (AF).
- ✓ Selección del porcentaje optimo tanto para el AG y AF, haciendo distintos porcentajes desde 40 % AF – 60 % AG, 50 % AF – 50 % AG y 60 % AF y 40 % AG.
- ✓ Selección del SLUMP optimo, variando las relaciones de agua – cemento (a/c)

- ✓ Elaboración de probetas, para determinar las resistencias optimas deseables, con el ensaye de compresión a los 7 días.
- ✓ Determinación de las resistencias de diseño para cada relación a/c.
- ✓ Cálculo de la cantidad de vidrio a utilizar, para su elaboración y su respectivo molido.
- ✓ Disposición de los equipos de tecnología del concreto, para la elaboración de las probetas.
- ✓ Ensaye de resistencia de las probetas de testigo de concreto.

3.8 Técnicas de procesamiento y análisis de datos

Dentro de la investigación cuantitativa, para el procesamiento de datos se recurre a la estadística descriptiva e inferencial. Ñaupas et al. (2014) lo definen del siguiente modo:

> **La estadística descriptiva** tiene como objeto fundamental procesar, resumir y analizar un conjunto de datos obtenidos de las variables estudiadas. Estudia un conjunto de medidas o estadígrafos mediante los cuales es posible comprender la magnitud de las variables estudiadas, como las medidas de tendencia central y las medidas de dispersión.
>
> **La estadística inferencial,** o inferencia estadística, es aquella que ayuda al investigador a encontrar significatividad a sus resultados.

Según Sánchez y Reyes (pág. 110), citado por Ñaupas et al. (2014), la estadística inferencial compara dos o más grupos de datos para poder determinar si las posibles diferencias entre ellos son diferencias reales o son debidas al azar.

Para el análisis de datos, se hizo uso del paquete estadístico R Stathistic. Sergio y Mateos (2014) describen al software R como "(…) un lenguaje de programación interpretado, de distribución libre, bajo licencia GNU, y se mantiene en un ambiente

para el computo estadístico y gráfico. (…) un sistema totalmente planificado y coherente (…)”

CAPITULO IV: RESULTADOS

4.1 Presentación, análisis e interpretación de resultados

A continuación, se presenta los resultados obtenidos, para los distintos ensayos realizados a los agregados (arena gruesa y piedra chancada) de la cantera del río Ichu – Chuñuranra. Con estos datos procesados se formuló las proporciones óptimas de cada material de acuerdo con el método MEC, para su respectivo preparado y mezclado en laboratorio, de las probetas de testigos de concreto.

4.1.1 Propiedades físicas y mecánicas de los agregados

El componente de mayor volumen del total de concreto y el más importante es el agregado encontrado en diferentes usos de acuerdo con su clasificación, descrita capítulos arriba. Se contabiliza entre un 60 hasta un 75 % en una unidad de volumen del concreto, y es por tal razón la importancia de conocer cada característica del agregado, mediante los distintos ensayos tipificados en la norma técnica peruana.

Tabla 5: *Propiedades de los agregados de la cantera río Ichu - Chuñuranra*

Descripción	Agregado fino		Agregado grueso		Norma Técnica
	Arena gruesa		Piedra chancada		
Peso específico de masa	2,64	g/cm^3	2,47	g/cm^3	***N.T.P. 400.021, N.T.P. 400.022, ASTM C-127, y ASTM C-128***
Peso específico saturado superficialmente seco	2,67	g/cm^3	2,56	g/cm^3	
Peso específico aparente	2,72	g/cm^3	2,71	g/cm^3	
Porcentaje de absorción	1,07	%	3,58	%	
Peso unitario suelto	1307,35	kg/m^3	1225,23	kg/m^3	***N.T.P. 400.017, y ASTM C-29***
Peso unitario compactado	1856,31	kg/m^3	1416,65	kg/m^3	
Contenido de humedad	3,74	%	3,20	%	***N.T.P. 339.127***
Módulo de fineza	2,97		--		
Tamaño máximo nominal	Tamiz N° 04		½''		
Desgaste de Abrasión de los Ángeles	- - -		25,30 %		***ASTM C-131***

Fuente: Elaboración propia 2018

La tabla 5 muestra el análisis a los ensayos realizados a los agregados, tanto a nivel físico como mecánico. El agregado grueso presenta mayor porosidad, pero con menos aporte de agua, con un tamaño máximo de ½'' y un desgaste del 25,30%, de resistencia moderada y utilizada para elementos estructurales; mientras que el agregado fino presenta una menor porosidad, pero con mayor aporte de agua, y un tamaño máximo de 4,75 mm con un módulo de finos de 2,97.

4.1.2 Granulometría de los agregados

El ensayo de análisis granulométrico está referida en la N.T.P. 400.012, donde nos muestra la distribución de tamaños de cada partícula, en orden prelativo de mayor a menor de los distintos tamices ASTM, donde la parte retenida es el indicador para la comparación con la norma técnica.

- ✓ ***Granulometría del Agregado Fino***

$$Peso\ de\ Muestra = 2994.36\ gramos$$

Tabla 6: *Granulometría de agregado fino*

Tamiz	Peso retenido	%Retenido	%Pasa	%Acumulado
3/8''	0,00	0,00	100,00	0,00
N° 4	344,03	11,49	88,51	11,49
N° 8	303,70	10,14	78,37	21,63
N° 16	332,88	11,12	67,25	32,75
N° 30	637,60	21,29	45,96	54,04
N° 50	864,48	28,87	17,09	82,91
N° 100	332,43	11,10	5,99	94,01
N° 200	130,02	4,34	1,64	98,36
Fondo	49,22	1,64	0,00	100,00

Fuente: Elaboración propia 2018

La norma técnica peruana NTP 400.037 establece que, para la distribución y gradación de los agregados, son relaciones directas de la granulometría, ya que estos relacionan la manejabilidad del concreto, la demanda de agua, su compacidad y la resistencia, es por tal que muestra los limites granulométricos, los Husos granulométricos, para el agregado fino:

Tabla 7: *Granulometría de agregado fino*

Tamiz estándar	Porcentaje que pasa
3/8'' (9,51 mm)	100 %
N° 4 (4,75 mm)	95 – 100 %
N° 8 (2.38 mm)	80 – 100 %
N° 16 (1.19 mm)	50 – 85 %
N° 30 (0.595 mm)	25 – 60 %
N° 50 (0.297 mm)	5 – 30 %
N° 100 (0.148 mm)	0 – 10 %

Fuente: Elaboración propia 2018

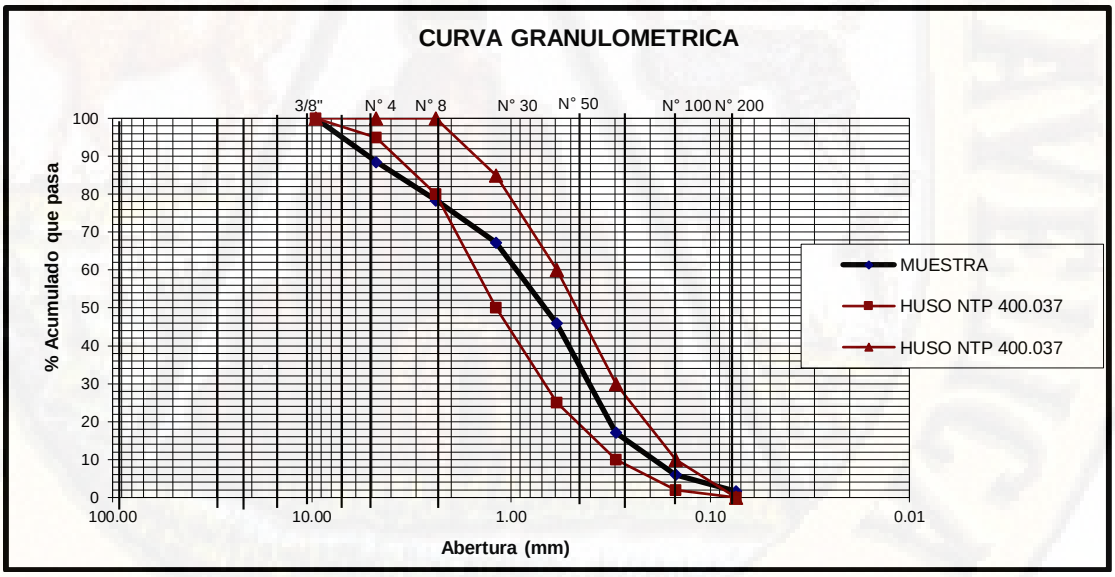


***Figura 10**:* Curva granulométrica con sus Husos presentados en la NTP
Fuente: Elaboración propia 2018

Tal como se observa en el grafico del análisis granulométrico del agregado fino, la curva graficada no cumple en cada gradación, con la norma técnica peruana NTP

400.037, donde se observa que las partículas inician con una inclinación hacia el límite inferior que indica que las partículas ingresantes son finas y partir del tamiz N° 30, las partículas se ubican en una gradación media.

- ✓ ***Granulometría del agregado grueso***

$$Peso\ de\ muestra = 3340{,}21\ gramos$$

Tabla 8*: Granulometría de agregado grueso*

Tamiz	Peso Retenido	%Retenido	%Pasa	%Acumulado
2 ½''	0,00	0,00	100,00	0,00
2''	0,00	0,00	100,00	0,00
1 ½''	0,00	0,00	100,00	0,00
1''	0,00	0,00	100,00	0,00
¾''	0,00	0,00	100,00	0,00
½''	254,26	7,61	92,39	7,61
3/8''	677,50	20,28	72,10	27,90
N° 4	1754,56	52,53	19,58	80,42
Fondo	653,89	19,58	0,00	100,00

Fuente: Elaboración propia 2018

La norma técnica peruana NTP 400.037, establece que, para la distribución y gradación de los agregados, son relaciones directas de la granulometría, ya que estos relacionan la manejabilidad del concreto, la demanda de agua, su compacidad y la resistencia, es por tal que muestra los limites granulométricos, los Husos Granulométricos, para el agregado grueso:

Tabla 9*: Granulometría de agregado grueso*

Tamiz estándar	Porcentaje que pasa
¾'' (19,00 mm)	100 %

½’’ (12,50 mm)	90 – 100 %
3/8’’ (9,60 mm)	40 – 70 %
N° 4 (4,75 mm)	0 – 15 %
N° 8 (2,36 mm)	0 – 5 %

Fuente: Elaboración propia 2018

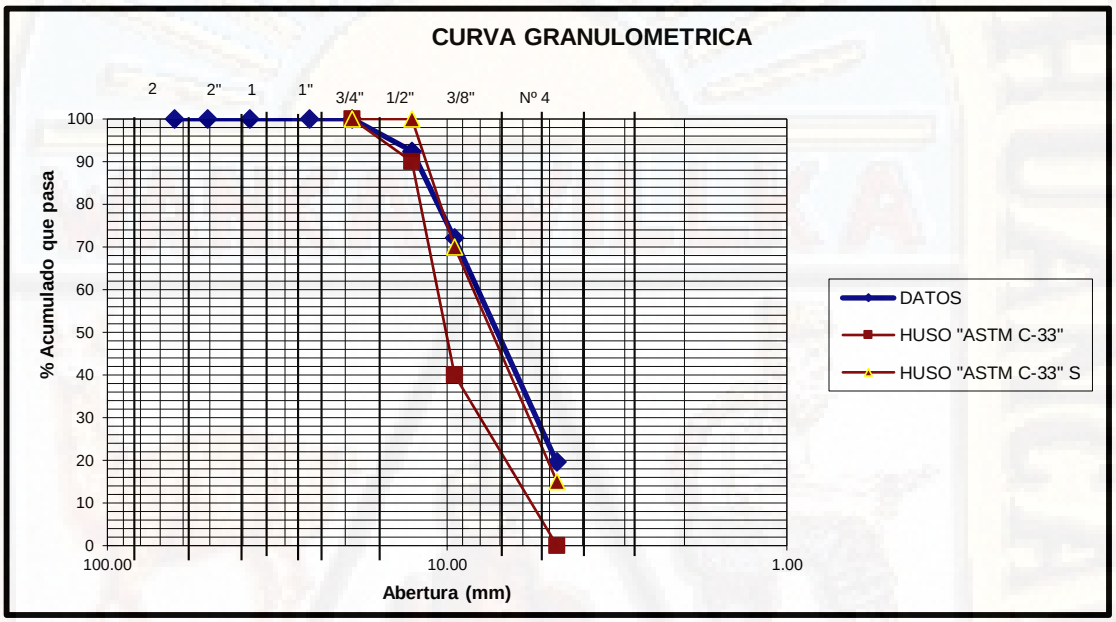


Figura 11: Curva granulométrica con sus husos presentados en la NTP
Fuente: Elaboración propia 2018

Tal como se observa en la figura 11 del análisis granulométrico del agregado grueso, la curva graficada no cumple en cada gradación, con la norma técnica peruana NTP 400.037, donde se observa que las partículas presentan un tamaño máximo nominal de ¾’’, e inician con una inclinación hacia el límite superior que indica que las partículas ingresantes son en su mayoría partículas muy gruesa y partir del tamiz de ½’’, las partículas superan el límite superior.

4.1.3 Selección de los componentes del concreto, con método MEC

a) Para la selección de los porcentajes de agregado, se hace uso del ensayo de la máxima compacidad, es para esto que se realizaron distintas combinaciones de agregado grueso y fino hasta obtener el peso unitario compactado (PUC) de cada uno. Tal que la combinación con el máximo PUC, nos da la mínima cantidad de vacíos ya que se compone de mayor cantidad de materiales en un mismo volumen.

Para tal se muestran los resultados de la combinación de agregado grueso y agregado fino para que produzca la máxima compacidad.

***Tabla 10**: Proporciones de mezcla de agregados*

Razón de mezcla AG/AF	PUC Kg/cm^3
50/50	1926,56
60/40	2017,29
80/20	1941,67

Fuente: Elaboración propia 2018

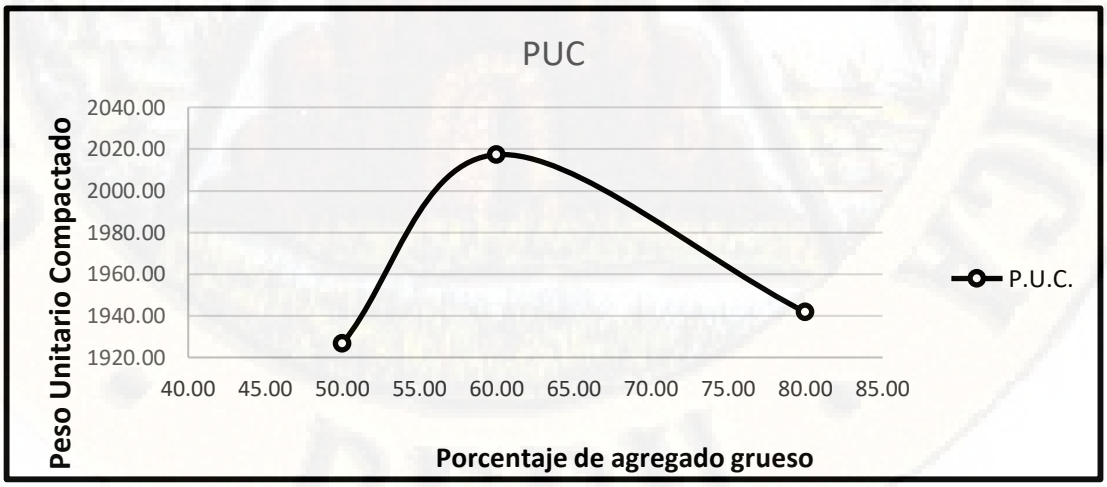


***Figura 12**:* Curva de máxima compacidad a razón de 10 valores porcentuales
Fuente: Elaboración propia 2018

En la figura 12 se observa que del 50 % AG al 60 % AG, el PUC tiende a elevarse muy rápidamente; por lo tanto, se busca una nueva combinación entre 50 y 60 % AG, hasta encontrar el máximo posible del PUC; para ello se realiza una nueva combinación con un cambio a razón de 4 %.

De donde se establece nuestra nueva combinación optimizada:

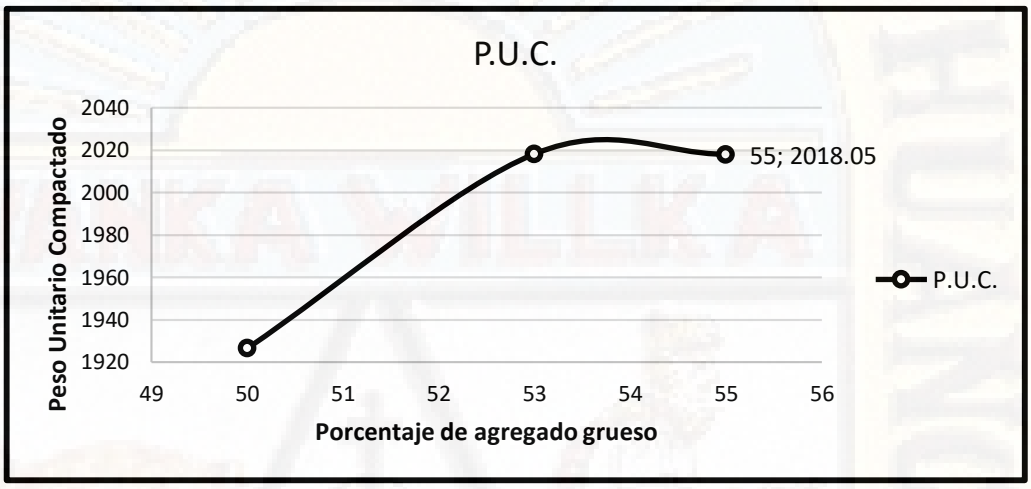


***Figura 13**:* Curva de máxima compacidad a razón de 5 valores porcentuales
Fuente: Elaboración propia 2018

De la figura, se observa que el máximo valor encontrado corresponde a la relación 54/46 de la relación de agregado grueso y agregado fino, es con esta relación que se empezará a trabajar para determinar la cantidad de material árido a utilizar en relación a su peso y a su volumen.

b) Con la relación AG/AF (54/46) se realiza la selección de la cantidad de agua necesaria para lograr un asentamiento de 1 a 2 pulgadas en la mezcla de concreto, siguiendo el siguiente criterio:

Para relaciones de a/c en peso, se busca diferentes cantidades de agua hasta obtener el mejor asentamiento posible, esto queda resumido en el gráfico N° 14. Para nuestro trabajo de investigación se han escogido 3 relaciones agua cemento (a/c) y se han determinado para cada uno un asentamiento entre 1 a 2 pulgadas.

Para nuestro cálculo de la cantidad de agua, se han seguido recomendaciones de las tablas propuestas en el diseño de mezcla de concreto del ACI, en una unidad de volumen de $m^{3;}$ aquí también se estima el contenido de aire atrapado en la mezcla de concreto, pidiendo como requisito determinar el asentamiento y el tamaño máximo nominal de nuestro agregado.

Tabla 11: Requerimientos de agua de diseño para los diferentes valores de SLUMP

Asentamiento SLUMP	Agua en l/m^3 de concreto para los TM de agregados gruesos y consistencia indicados							
	3/8''	½''	¾''	1''	1 ½''	2''	3''	6''
Concreto sin aire incorporado								
1'' a 2''	205	200	185	180	160	155	145	125
3'' a 4''	225	215	200	195	175	170	160	140
6'' a 7''	240	230	210	205	185	180	170	----
Cantidad de aire atrapado en %	3	2,5	2	1,5	1	0,5	0,3	0,2
Concreto con aire incorporado								
1'' a 2''	180	175	165	160	145	140	135	120
3'' a 4''	200	190	180	175	160	155	150	135
6'' a 7''	215	205	190	185	170	165	160	------
Cantidad de aire atrapado en %	8	7	6	5	4,5	4	3,5	3

Fuente: Elaboración propia 2018 – Requerimientos de agua para el diseño para los diferentes valores de SLUMP, diseño de mezcla ACI

En la tabla, nuestro diseño no contempla la adición de aire y para un tamaño máximo nominal de ½'' y un asentamiento entre 1'' a 2''; se encuentra una cantidad de agua por metro cubico de concreto equivalente a 200 lt. y un volumen de aire atrapado aproximado de 2,5 %. Con esta combinación y teniendo los valores de relaciones a/c, se busca el asentamiento deseado, y si la cantidad de agua no ayuda encontrar el asentamiento deseado, modificamos la cantidad de agua y se recalcula hasta obtener nuestro asentamiento requerido.

Teniendo el valor de la cantidad de cemento, y haciendo uso de la razón a/c, calculamos la cantidad de cemento, para un metro cubico de concreto. Obtenido nuestra cantidad de cemento, calculamos el volumen total de los agregados, estos valores serán corregidos por su respectiva humedad, para obtener el peso de diseño de cada agregado y, finalmente, calcular el agua efectiva que va a participar en el concreto.

1. **Diseño de mezcla para una relación a/c = 0,55**

Para nuestra relación a/c = 0,55, y el TM del agregado = ½'', las tablas nos dan un resultado de 200 lt. Por metro cubico de concreto, y un volumen de aire de 2,5 %.

***Tabla 12**: Cálculo de los pesos secos de los agregados a/c = 0,55*

Diseño para mezcla para una relación a/c = 0,55					
Agua de Diseño (lt)	**% Aire**	**Cemento (kg)**	**Vol. Agregados (m^3)**	**Peso Arena Fina**	**Peso Piedra Chancada**
195	2,5	354,55	0,690	863,26	1009,67
200	2,5	363,64	0,682	853,39	998,13
205	2,5	372,73	0,674	843,53	986,59
210	2,5	381,82	0,666	833,66	975,05
215	2,5	390,91	0,658	823,79	963,51

Fuente: Elaboración propia 2018

Para un contenido de humedad de 5,59 % para el agregado fino y de 3,74 % para el agregado grueso, se procede a realizar las correcciones correspondientes.

***Tabla 13**: Cálculo de los pesos húmedos corregidos de los agregados a/c = 0,55*

Corrección por humedad y agua efectiva a/c = 0,55					
Agua de diseño (lt)	**AF corregido**	**Aporte de agua AF**	**AF corregido**	**Aporte de agua AF**	**Agua efectiva**
195	895,55	23,05	1041,98	- 3,84	175,79
200	885,31	22,79	1030,07	- 3,79	181,01

205	875,07	22,52	1018,16	- 3,75	186,23
210	864,84	22,26	1006,25	- 3,71	191,45
215	854,60	22,00	994,34	- 3,66	196,67

Fuente: Elaboración propia 2018

Con estos valores calculado se busca el mejor asentamiento para una relación de a/c = 0,55 para los diferentes valores del agua de diseño, encontrándose los siguientes resultados.

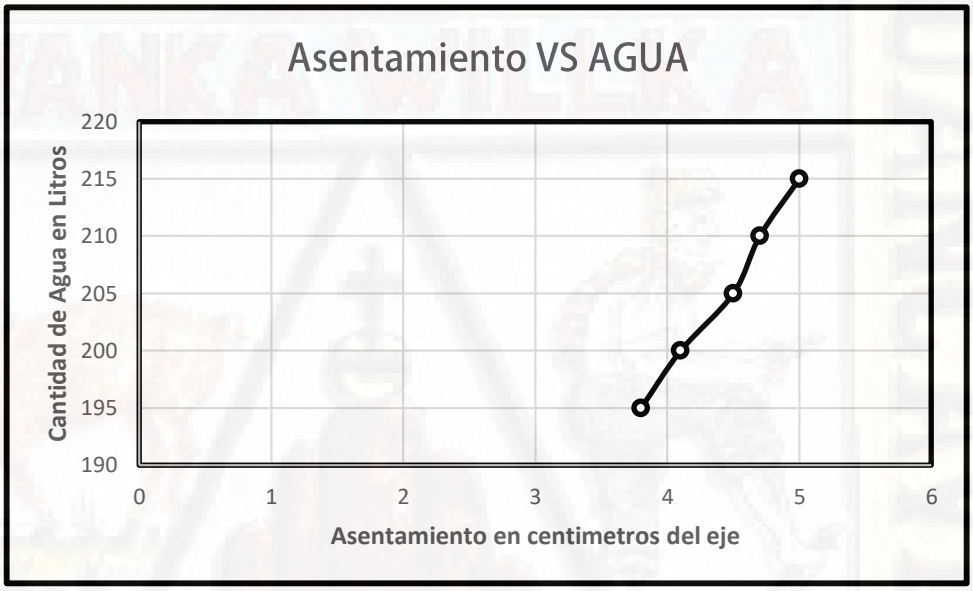


Figura 14*: Curva de relación asentamiento vs agua de diseño para una a/c = 0,55*
Fuente: Elaboración propia 2018

Ahora, de la figura seleccionamos el asentamiento promedio para los distintos diseños posteriores, con un agua de diseño de 205 lt. Con un asentamiento de 4.5 cm, el que nos dará una mayor trabajabilidad del concreto. Con estas relaciones se realiza una probeta de testigo para obtener una resistencia promedio a los 7 días, y visualizar la resistencia de diseño. Obteniéndose un f'cdis = 212 kg/cm^2 para los 7 días.

2. Diseño de mezcla para una relación a/c = 0,45

Para nuestra relación a/c = 0,45, y el TM del agregado = ½'', las tablas nos dan un resultado de 200 lt. por metro cubico de concreto, y un volumen de aire de 2,5 %.

Tabla 14*: Cálculo de los pesos secos de los agregados a/c = 0,45*

Diseño para mezcla para una relación a/c = 0,45					
Agua de Diseño (lt)	**% Aire**	**Cemento (kg)**	**Vol. Agregados (m^3)**	**Peso Arena Fina**	**Peso Piedra Chancada**
195	2,5	433,33	0,665	831,97	973,06
200	2,5	444,44	0,656	821,30	960,59
205	2,5	455,56	0,648	810,63	948,11
210	2,5	466,67	0,639	799,96	935,63
215	2,5	477,78	0,631	789,29	923,15

Fuente: Elaboración propia 2018

Para un contenido de humedad de 5,59 % para el agregado fino y de 3,74 % para el agregado grueso, se procede a realizar las correcciones correspondientes.

Tabla 15*: Cálculo de los pesos húmedos corregidos de los agregados a/c = 0,45*

Corrección por humedad y agua efectiva a/c = 0,45					
Agua de diseño (lt)	**AF corregido**	**Aporte de agua AF**	**AF corregido**	**Aporte de agua AF**	**Agua efectiva**
195	863,08	22,21	1004,20	- 3,70	176,48
200	852,01	21,93	991,32	- 3,65	181,72
205	840,94	21,64	978,45	- 3,60	186,96
210	829,88	21,36	965,57	- 3,56	192,20
215	818,81	21,07	952,69	- 3,51	197,43

Fuente: Elaboración propia 2018

Con estos valores calculados se busca el mejor asentamiento, para una relación de a/c = 0,45, para los diferentes valores del agua de diseño, encontrándose los siguientes resultados.

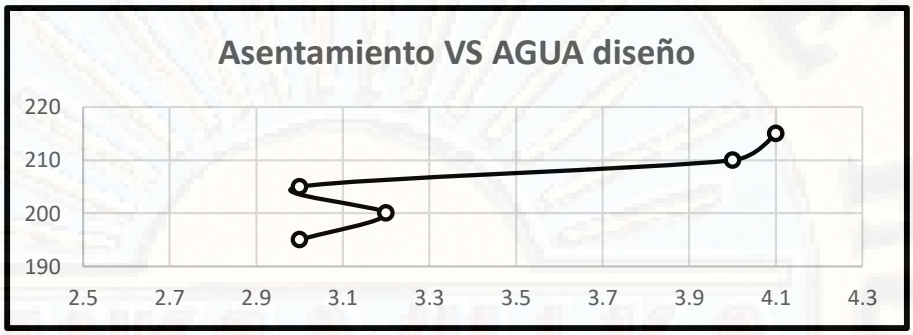


***Figura 15**:* Curva de relación asentamiento vs agua de diseño para una a/c = 0,55
Fuente: Elaboración propia 2018

Ahora, de la figura seleccionamos el asentamiento promedio para los distintos diseños posteriores, con un agua de diseño de 215 lt., con un asentamiento de 4.1 cm, el que nos dará una mayor trabajabilidad del concreto. Con estas relaciones se realiza una probeta de testigo para obtener una resistencia promedio a los 7 días, y visualizar la resistencia de diseño, obteniéndose un f'cdis = 240 kg/cm^2 para los 7 días.

3. Diseño de mezcla para una relación a/c = 0,40

Para nuestra relación a/c = 0,40, y el TM del agregado = ½'', las tablas nos dan un resultado de 200 lt. por metro cúbico de concreto, y un volumen de aire de 2,5 %.

Tabla 16*: Cálculo de los pesos secos de los agregados a/c = 0,45*

Diseño para mezcla para una relación a/c = 0,45

Agua de diseño (lt)	% Aire	Cemento (kg)	Vol. agregados (m^3)	Peso arena fina	Peso piedra chancada
195	2,5	487,50	0,648	810,45	947,90
200	2,5	500,00	0,639	799,23	934,78
205	2,5	512,50	0,630	788,01	921,65
210	2,5	525,00	0,621	776,79	908,53

215	2,5	537,50	0,612	765,57	895,40

Fuente: Elaboración propia 2018

Para un contenido de humedad de 5,59 % para el agregado fino y de 3,74 % para el agregado grueso, se procede a realizar las correcciones correspondientes.

***Tabla 17**: Cálculo de los pesos húmedos corregidos de los agregados a/c = 0,45*

Corrección por humedad y agua efectiva a/c = 0,45					
Agua de diseño (lt)	**AF corregido**	**Aporte de agua AF**	**AF corregido**	**Aporte de agua AF**	**Agua efectiva**
195	840,76	21,64	978,23	- 3,60	176,96
200	829,12	21,34	964,69	- 3,55	182,21
205	817,48	21,04	951,14	- 3,50	187,46
210	805,84	20,74	937,60	- 3,45	192,71
215	794,20	20,44	924,06	- 3,40	197,96

Fuente: Elaboración Propia 2018

Con estos valores calculado se busca el mejor asentamiento, para una relación de a/c = 0,40 para los diferentes valores del agua de diseño, encontrándose los siguientes resultados.

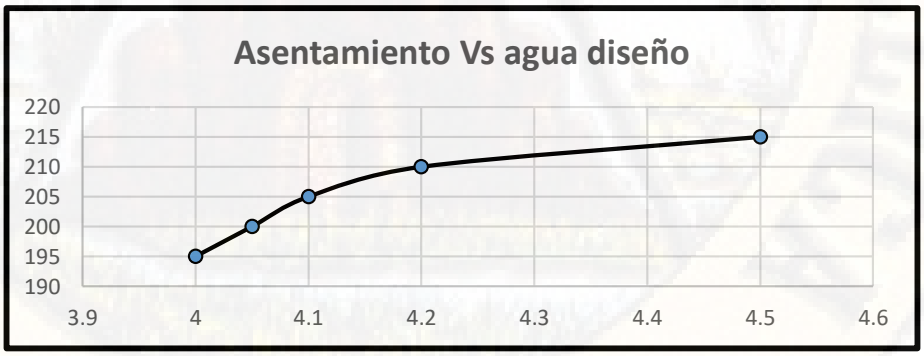


***Figura 16**: Curva de relación asentamiento vs agua de diseño para una a/c = 0,40*
Fuente: Elaboración propia 2018

Ahora, de la figura seleccionamos el asentamiento promedio para los distintos diseños posteriores, con un agua de diseño de 210 lt. Con un asentamiento de 4,2

cm, el que nos dará una mayor trabajabilidad del concreto. Con estas relaciones se realiza una probeta de testigo para obtener una resistencia promedio a los 7 días, y visualizar la resistencia de diseño. Se obtuvo un f'cdis = 272.67 kg/cm^2 para los 7 días.

4.1.4 Proporciones del concreto con método MEC

Sánchez y Tapia (2015), en su informe de investigación, muestran que se puede establecer una ecuación que relacione el tiempo de curado y la resistencia del concreto encontrándose valores de resistencia en porcentajes desde el 60 % hasta llegar a un 80 % a los 7 días.

Para nuestro caso, tenemos tres diseños de mezclas calculadas de la siguiente manera, a una edad de 7 días, dando como factor de seguridad que nuestras resistencias encontradas estén en promedio de 70 % de la resistencia a los 28 días, encontradas a las conclusiones llegadas por el autor citado líneas arriba, tal como se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 18*: Resistencias a la compresión para cada diseño preestablecido*

Resistencias de diseño encontradas en laboratorio		
f'c a los 7 días a/c = 0,55	**f'c a los 7 días a/c = 0.45**	**f'c a los 7 días a/c = 0,40**
214,8 kg/cm^2	241,8 kg/cm^2	272,7 kg/cm^2
220,1 kg/cm^2	250,6 kg/cm^2	270,5 kg/cm^2
202,6 kg/cm^2	229,5 kg/cm^2	276,6 kg/cm^2
Promedios encontrados		
212,5 kg/cm^2	240,6 kg/cm^2	273,27 kg/cm^2
Resistencia de diseño a los 28 días encontrados en laboratorio		
303,57 kg/cm^2	**343,76 kg/cm^2**	**390,38 kg/cm^2**

Fuente: Elaboración propia 2018

En la tabla se muestra que nuestro diseño optimiza al concreto para llegar a valores superiores a los 212 kg/cm^2, a continuación, se muestra las proporciones trabajadas en laboratorio para el uso del vidrio molido, en razones del (5), (7,5), 10 y 15 % con respecto al peso del cemento.

Tabla 19*: Dosificación del concreto método MEC para una unidad cubica de volumen*

Cantera río Ichu – Chuñuranra – dosificación del concreto método MEC			
Resistencia	Dosificación según peso para el f'c encontrado		
	f'c = 300 kg/cm^2	f'c = 340 kg/cm^2	f'c = 390 kg/cm^2
SLUMP	1'' – 2''	1'' – 2''	1'' – 2''
Cemento	372,73 kg	477,78 kg	525,00 kg
Agregado Fino	875,07 kg	818,81 kg	805,84 kg
Agregado Grueso	1018,16 kg	952,69 kg	937,60 kg
Agua Efectiva	186,23 lt	197,43 lt	192,71 lt

Fuente: Elaboración propia 2018

De la tabla 19 podemos obtener las relaciones en peso, para cada diseño, teniéndose que:

Para un f'c = 300 kg/cm^2, se tiene la relación C: AF: AG: A cuantificados de la siguiente manera **1: 2.58: 3.01: 0.50.**

Para un f'c = 340 kg/cm^2, se tiene la relación C: AF: AG: A cuantificados de la siguiente manera **1: 1.87: 2.17: 0.41.**

Para un f'c = 390 kg/cm^2, se tiene la relación C: AF: AG: A cuantificados de la siguiente manera **1: 1.51: 1.76: 0.37.**

Teniendo las relaciones en peso del concreto por metro cúbico para cada diseño preseleccionado, se calcula el contenido para cada tanda de concreto de 7 probetas.

***Tabla 20**: Dosificación del concreto por tanda*

Cantera río Ichu – Chuñuranra – dosificación del concreto método MEC			
Resistencia	Dosificación según peso para el f'c encontrado		
	f'c = 300 kg/cm^2	f'c = 340 kg/cm^2	f'c = 390 kg/cm^2
SLUMP	1'' – 2''	1'' – 2''	1'' – 2''
Cemento	11,40 kg	14,65 kg	16,16 kg
Agregado fino	17,09 kg	25,10 kg	24,45 kg
Agregado grueso	36,76 kg	29,20 kg	28,45 kg
Agua Efectiva	5,70 lt	6,05 lt	5,93 lt

Fuente: Elaboración propia 2018

Encontrado las dosificaciones por tanda para cada 5 probetas, se calcula el peso del vidrio molido con respecto al peso del cemento, encontrándose las siguientes cantidades:

***Tabla 21**: Cantidad de vidrio según porcentajes*

Cantera río Ichu – Chuñuranra – dosificación del concreto método MEC			
Resistencia	Dosificación según peso para el f'c encontrado		
	f'c = 300 kg/cm^2	f'c = 340 kg/cm^2	f'c = 390 kg/cm^2
SLUMP	1'' – 2''	1'' – 2''	1'' – 2''
Cemento	11,40 kg	14,65 kg	16,16 kg
Vidrio 5 %	0,57 kg	0,73 kg	0,81 kg
Vidrio 7.5 %	0,85 kg	1,10 kg	1,21 kg
Vidrio 10 %	1,14 kg	1,46 kg	1,62 kg
Vidrio 15 %	1,71 kg	2,20 kg	2,42 kg

Fuente: Elaboración propia 2018

El valor respectivo que muestra para cada porcentaje de vidrio molido finamente, son calculados con respecto al peso del cemento, este valor será remplazado con su respectivo equivalente del cemento para una tanda de 5 probetas para cada uno.

4.1.5 Ensayo de compresión digital de probetas de testigo de concreto

Este ensayo está definido en la norma técnica peruana NTP 339.0.34 y la norma ASTM C – 39, donde nos permite determinar la máxima resistencia a la compresión de una briqueta de concreto, en la cual esta será cargada axialmente, para lo cual se ha tenido cuidado con la fecha en que se realizó el vaciado, y la fecha de rotura, la numeración y marca distinguible de cada probeta y el valor a la resistencia alcanzada. Cabe recalcar que las probetas de concreto fueron sometidos a un estricto control de curado a temperatura ambiente, controlados en laboratorio.

A) Diseño de concreto con f'c = 300 kg/cm^2

Tabla 22: *Peso específico del concreto para f'c = 300 kg/cm2*

Peso de Probetas de Concreto para f'c = 300 kg/cm^2																			
0% VM				**5% VM**				**7.5% VM**				**10% VM**				**15.% VM**			
Peso	b	H	PE	**Peso**	b	H	PE	**Peso**	b	H	PE	**Peso**	B	H	PE	**Peso**	b	H	PE
12,950	15,10	30,20	2394,52	**12.880**	15,10	30,20	2381,58	**12,845**	15,00	30,20	2391,05	**12,815**	15,10	30,20	2369,56	12,705	15,20	30,20	2318,41
12,995	15,20	30,30	2363,51	**12.810**	15,10	30,10	2376,51	**12,810**	15,00	30,30	2416,33	**13,005**	15,10	30,30	2396,76	12,740	15,10	30,10	2363,52
12,680	15,00	30,00	2391,80	**12.654**	15,00	30,10	2378,97	**12,720**	15,10	30,10	2336,52	**12,775**	15,10	30,10	2370,01	12,645	15,20	30,10	2315,13
12,890	15,20	30,00	2367,85	**12.850**	15,10	30,10	2383,93	**12,800**	15,20	30,10	2328,04	**12,800**	15,20	30,10	2343,51	12,700	15,10	30,30	2340,55
12,980	15,10	30,10	2408,04	**12.900**	15,20	30,10	2361,82	**12,810**	15,00	30,10	2400,32	**12,695**	15,00	30,10	2386,68	12,740	15,00	30,30	2379,33
Peso Específico Promedio = 2385,15 kg/m^3.				Peso Específico Promedio = 2376,56 kg/m^3.				Peso Específico Promedio = 2374,45 kg/m^3.				Peso Específico Promedio = 2373.30 kg/m^3.				Peso Específico Promedio = 2343,39 kg/m^3.			

Fuente: Elaboración propia 2018

En la tabla se muestra la variación que presenta el peso específico, descrito en el promedio de cada muestra y cómo influye el reemplazo del cemento con respecto al vidrio molido finamente. Esto para una resistencia de diseño f'c = 300 kg/cm^2 estos valores corresponden a probetas curadas en laboratorio hasta los 28 días.

A continuación, se muestra los resultados del ensayo de *resistencia a la compresión*, para el concreto sin adición de vidrio, curada en laboratorio y a temperatura ambiente hasta el día 28.

Tabla 23*: Resistencia a la compresión para f'c = 300 kg/cm2 sin vidrio adicionado*

No	Etiqueta	Fecha de ensayo	edad (días)	Carga máxima (kgf)	Resistencia a la compresión	Unidad	% Resistencia
01	TESIS MEC 0-1	12/11/2018	28	60, 040	339,80	Kg/cm^2	113,27 %
02	TESIS MEC 0-2	12/11/2018	28	60,540	342,60	Kg/cm^2	114,20 %
03	TESIS MEC 0-3	12/11/2018	28	61,020	345,30	Kg/cm^2	115,10 %
04	TESIS MEC 0-4	12/11/2018	28	60,200	340,60	Kg/cm^2	113,53 %
05	TESIS MEC 0-5	12/11/2018	28	60,450	342,10	Kg/cm^2	114,03 %

Fuente: Elaboración propia 2018

A continuación, se muestra los resultados del ensayo de *resistencia a la compresión*, para el concreto con adición de vidrio molido finamente al 5 %, curada en laboratorio y a temperatura ambiente hasta el día 28.

Tabla 24: Resistencia a la Compresión para f'c = 300 kg/cm2 con 5% de vidrio adicionado

No	Etiqueta	Fecha de ensayo	Edad (días)	Carga máxima (kgf)	Resistencia a la compresión	Unidad	% Resistencia
01	TESIS MEC 5-1	12/11/2018	28	59,770	338,30	Kg/cm^2	112,77 %
02	TESIS MEC 5-2	12/11/2018	28	63,680	360,30	Kg/cm^2	120,10 %

03	TESIS MEC 5-3	12/11/2018	28	61,800	349,70	Kg/cm^2	116,57 %
04	TESIS MEC 5-4	12/11/2018	28	63,450	359,10	Kg/cm^2	119,70 %
05	TESIS MEC 5-5	12/11/2018	28	63,450	359,0	Kg/cm^2	119,70 %

Fuente: Elaboración propia 2018

A continuación, se muestra los resultados del ensayo de Resistencia a la Compresión, para el concreto con adición de vidrio molido finamente al 7,5 %, curada en laboratorio y a temperatura ambiente hasta el día 28.

Tabla 25: Resistencia a la Compresión para f'c = 300 kg/cm2 con 7.5% de vidrio adicionado

No	Etiqueta	Fecha de Ensayo	Edad (días)	Carga Máxima (kgf)	Resistencia a la Compresión	Unidad	% Resistencia
01	TESIS MEC 7,5-1	12/11/2018	28	65,290	369,50	Kg/cm^2	123,17 %
02	TESIS MEC 7,5-2	12/11/2018	28	64,480	364,90	Kg/cm^2	121,63 %
03	TESIS MEC 7,5-3	12/11/2018	28	64,720	366,20	Kg/cm^2	122,07 %
04	TESIS MEC 7,5-4	12/11/2018	28	60,280	341,20	Kg/cm^2	113,73 %
05	TESIS MEC 7,5-5	12/11/2018	28	47,270	267,50	Kg/cm^2	89,17 %

Fuente: Elaboración propia 2018

A continuación, se muestra los resultados del ensayo de *resistencia a la compresión*, para el concreto con adición de vidrio molido finamente al 10 %, curada en laboratorio y a temperatura ambiente hasta el día 28.

Tabla 26: Resistencia a la compresión para f'c = 300 kg/cm2 con 10% de vidrio adicionado

No	Etiqueta	Fecha de ensayo	Edad (días)	Carga máxima (kgf)	Resistencia a la compresión	Unidad	% Resistencia
01	TESIS MEC 10-1	12/11/2018	28	51,860	293,50	Kg/cm^2	97,83 %
02	TESIS MEC 10-2	12/11/2018	28	64,100	362,70	Kg/cm^2	120,90 %
03	TESIS MEC 10-3	12/11/2018	28	66,300	375,20	Kg/cm^2	125,07 %
04	TESIS MEC 10-4	12/11/2018	28	61,400	347,50	Kg/cm^2	115,83 %
05	TESIS MEC 10-5	12/11/2018	28	65,050	368,10	Kg/cm^2	122,7 %

Fuente: Elaboración propia 2018

A continuación, se muestra los resultados del ensayo de *resistencia a la compresión*, para el concreto con adición de vidrio molido finamente al 15 %, curada en laboratorio y a temperatura ambiente hasta el día 28.

Tabla 27: Resistencia a la Compresión para f'c = 300 kg/cm2 con 15% de vidrio adicionado

No	Etiqueta	Fecha de ensayo	Edad (días)	Carga máxima (kgf)	Resistencia a la compresión	Unidad	% Resistencia
01	TESIS MEC 15-1	12/11/2018	28	50,480	285,70	Kg/cm^2	95,23 %
02	TESIS MEC 15-2	12/11/2018	28	60,150	340,40	Kg/cm^2	113,46 %
03	TESIS MEC 15-3	12/11/2018	28	61,050	345,50	Kg/cm^2	115,17 %
04	TESIS MEC 15-4	12/11/2018	28	55,050	311,60	Kg/cm^2	103,87 %

05	TESIS MEC 15-5	12/11/2018	28	60,100	340,10	Kg/cm^2	113,37 %

Fuente: Elaboración propia 2018

B) Diseño de concreto con f'c = 340 kg/cm^2.

Tabla 28: *Peso específico del concreto para f'c = 340 kg/cm2*

Peso de probetas de concreto para f'c = 300 kg/cm^2																			
0% VM				**5% VM**				**7,5% VM**				**10% VM**				**15 % VM**			
Peso	b	H	PE	**Peso**	b	H	PE	**Peso**	B	H	PE	**Peso**	B	H	PE	**Peso**	b	H	PE
12.900	15.00	30.10	2425.22	**12.355**	15.00	30.00	2330.50	**12.560**	15.10	30.10	2330.13	**12.440**	15.10	30.10	2307.86	**12.360**	15.00	30.20	2316.00
12.660	15.10	30.20	2340.90	**12.625**	15.10	30.10	2342.18	**12.560**	15.00	30.20	2353.48	**15.585**	15.00	30.20	2358.16	**12.400**	15.10	30.10	2300.44
12.745	15.00	30.00	2404.06	**12..460**	15.00	30.10	2342.50	**12.470**	15.00	30.40	2321.24	**12.530**	15.10	30.00	2332.31	**12.290**	15.20	30.10	2250.13
12.475	15.00	30.20	2337.55	**12.600**	15.10	30.00	2345.34	**12.500**	15.10	30.30	2303.69	**12.450**	15.20	30.10	2279.43	**12.410**	15.10	30.00	2309.97
12.600	15.10	30.30	2322.12	**12.560**	15.20	30.00	2307.23	**12.520**	15.00	30.20	2345.98	**12.500**	15.00	30.10	2350.02	**12.400**	15.10	30.30	2285.26
Peso Específico Promedio = 2365.97 kg/m^3.				Peso Específico Promedio = 2333.55 kg/m^3.				Peso Específico Promedio = 2330.90 kg/m^3.				Peso Específico Promedio = 2325.56 kg/m^3.				Peso Específico Promedio = 2292.36 kg/m^3.			

Fuente: Elaboración propia 2018

En la tabla se muestra la variación que presenta el peso específico, descrito en el promedio de cada muestra y cómo influye el reemplazo del cemento con respecto al vidrio molido finamente. Esto para una resistencia de diseño f'c = 340 kg/cm^2 estos valores corresponden a probetas curadas en laboratorio hasta los 28 días.

A continuación, se muestra los resultados del ensayo de *resistencia a la compresión*, para el concreto sin adición de vidrio, curada en laboratorio y a temperatura ambiente hasta el día 28.

Tabla 29: Resistencia a la compresión para f'c = 340 kg/cm^2 sin vidrio adicionado

No	Etiqueta	Fecha de ensayo	Edad (días)	Carga máxima (kgf)	Resistencia a la compresión	Unidad	% Resistencia
01	TESIS MEC*0-1	13/11/2018	28	68,140	385,60	Kg/cm^2	113,41 %
02	TESIS MEC 0-2	13/11/2018	28	60,700	343,50	Kg/cm^2	101,03 %
03	TESIS MEC*0-3	13/11/2018	28	64,570	365,40	Kg/cm^2	107,47 %
04	TESIS MEC 0-4	13/11/2018	28	67,980	384,70	Kg/cm^2	113,15 %
05	TESIS MEC*0-5	13/11/2018	28	67,200	380,30	Kg/cm^2	111,85 %

Fuente: Elaboración propia 2018

A continuación, se muestra los resultados del ensayo de *resistencia a la compresión*, para el concreto con adición de vidrio molido finamente al 5 %, curada en laboratorio y a temperatura ambiente hasta el día 28.

Tabla 30*: Resistencia a la Compresión para f'c = 340 kg/cm2 con 5% de vidrio adicionado*

No	Etiqueta	Fecha de ensayo	Edad (días)	Carga máxima (kgf)	Resistencia a la compresión	Unidad	% Resistencia
01	TESIS MEC*5-1	13/11/2018	28	70,420	398,50	Kg/cm^2	117,21 %
02	TESIS MEC*5-2	13/11/2018	28	69,910	395,60	Kg/cm^2	116,35 %

03	TESIS MEC*5-3	13/11/2018	28	66,310	375,20	Kg/cm^2	110,47 %
04	TESIS MEC 5-4	13/11/2018	28	65,290	369,50	Kg/cm^2	108,68 %
05	TESIS MEC*5-5	13/11/2018	28	66,450	376,10	Kg/cm^2	110,62 %

Fuente: Elaboración propia 2018

A continuación, se muestra los resultados del ensayo de *resistencia a la compresión*, para el concreto con adición de vidrio molido finamente al 7,5 %, curada en laboratorio y a temperatura ambiente hasta el día 28.

Tabla 31*: Resistencia a la compresión para f'c = 340 kg/cm2 con 7,5% de vidrio adicionado*

No	Etiqueta	Fecha de ensayo	Edad (días)	Carga máxima (kgf)	Resistencia a la compresión	Unidad	% Resistencia
01	TESIS MEC*7.5-1	12/11/2018	28	60,600	343,00	Kg/cm^2	100,88 %
02	TESIS MEC*7.5-2	13/11/2018	28	69,250	392,10	Kg/cm^2	115,32 %
03	TESIS MEC*7.5-3	13/11/2018	28	70,050	396,40	Kg/cm^2	116,60 %
04	TESIS MEC 7.5-4	13/11/2018	28	65,040	368,10	Kg/cm^2	108,26 %
05	TESIS MEC*7.5-5	13/11/2018	28	64,250	363,60	Kg/cm^2	106,94 %

Fuente: Elaboración propia 2018

A continuación, se muestra los resultados del ensayo de *resistencia a la compresión*, para el concreto con adición de vidrio molido finamente al 10 %, curada en laboratorio y a temperatura ambiente hasta el día 28.

Tabla 32*: Resistencia a la Compresión para f'c = 340 kg/cm2 con 10% de vidrio adicionado*

No	Etiqueta	Fecha de ensayo	Edad (días)	Carga máxima (kgf)	Resistencia a la compresión	Unidad	% Resistencia
01	TESIS MEC*10-1	13/11/2018	28	71,710	405,80	Kg/cm^2	119,35 %
02	TESIS MEC*10-2	13/11/2018	28	62,120	351,50	Kg/cm^2	103,38 %
03	TESIS MEC*10-3	13/11/2018	28	64,920	367,40	Kg/cm^2	108,06 %
04	TESIS MEC*10-4	13/11/2018	28	66,050	373,80	Kg/cm^2	109,94 %
05	TESIS MEC*10-5	12/11/2018	28	65,100	368,40	Kg/cm^2	108,35 %

Fuente: Elaboración propia 2018

A continuación, se muestra los resultados del ensayo de Resistencia a la Compresión, para el concreto con adición de vidrio molido finamente al 15 %, curada en laboratorio y a temperatura ambiente hasta el día 28.

Tabla 33*: Resistencia a la Compresión para f'c = 340 kg/cm2 con 15% de vidrio adicionado*

No	Etiqueta	Fecha de Ensayo	Edad (días)	Carga Máxima (kgf)	Resistencia a la Compresión	Unidad	% Resistencia
01	TESIS MEC*15-1	13/11/2018	28	54,040	305,80	Kg/cm^2	89,94 %

02	TESIS MEC*15-2	13/11/2018	28	60,250	340,90	Kg/cm^2	100,26 %
03	TESIS MEC*15-3	13/11/2018	28	60,600	343,00	Kg/cm^2	100,90 %
04	TESIS MEC*15-4	13/11/2018	28	62,500	353,70	Kg/cm^2	104,03 %
05	TESIS MEC*15-5	13/11/2018	28	60,200	340,70	Kg/cm^2	100,21 %

Fuente: Elaboración propia 2018

C) Diseño de concreto con f'c = 390 kg/cm^2.

Tabla 34: *Peso específico del concreto para f'c = 390 kg/cm2*

Peso de probetas de concreto para f'c = 300 kg/cm^2																			
0% VM				**5% VM**				**7.5% VM**				**10% VM**				**15.% VM**			
Peso	b	H	PE	**Peso**	b	H	PE	**Peso**	b	H	PE	**Peso**	B	H	PE	**Peso**	b	H	PE
12,795	15,00	30,20	2397,51	**12,635**	15,00	30,00	2383,32	**12,855**	15,00	30,20	2408,76	**12,745**	15,00	30,20	2388,14	12,705	15,00	30,20	2380,65
12,770	15,00	30,00	2408,78	**12,740**	15,00	30,40	2371,50	**12,945**	15,20	30,30	2354,41	**12,800**	15,00	30,20	2398,45	12,680	15,20	30,20	2313,85
12,400	15,00	30,00	2338,99	**12,745**	15,00	30,10	2396,08	**12,905**	15,20	30,30	2347,14	**12,810**	15,00	30,30	2392,40	12,702	15,10	30,00	2364,32
12,780	15,00	30,20	2394,70	**12,735**	15,10	30,20	2354,77	**12,900**	15,20	30,20	2354,00	**12,780**	15,00	30,30	2386,80	12,650	15,00	30,10	2378,22
12,700	15,10	30,30	2340,55	**12,750**	15,10	30,20	2357,54	**12,950**	15,00	30,20	2426,56	**12,800**	15,20	30,10	2343,51	12,590	15,10	30,20	2327,96
Peso específico promedio = 2376,11 kg/m^3.				Peso específico promedio = 2372,64 kg/m^3.				Peso específico promedio = 2378,17 kg/m^3.				Peso específico promedio = 2381,86 kg/m^3.				Peso específico promedio = 2353,00 kg/m^3.			

Fuente: Elaboración propia 2018

En la tabla se muestra la variación que presenta el peso específico, descrito en el promedio de cada muestra y cómo influye el reemplazo del cemento con respecto al vidrio molido finamente. Esto para una resistencia de diseño f'c = 390 kg/cm^2 estos valores corresponden a probetas curadas en laboratorio hasta los 28 días.

A continuación, se muestra los resultados del ensayo de *resistencia a la compresión*, para el concreto sin adición de vidrio, curada en laboratorio y a temperatura ambiente hasta el día 28.

Tabla 35: Resistencia a la compresión para f'c = 390 kg/cm2 sin vidrio adicionado

No	Etiqueta	Fecha de ensayo	Edad (días)	Carga máxima (kgf)	Resistencia a la compresión	Unidad	% Resistencia
01	TESIS MEC 0-1	12/11/2018	28	73,440	415,60	Kg/cm^2	106,56 %
02	TESIS MEC 0-2	12/11/2018	28	77,110	436,30	Kg/cm^2	111,87 %
03	TESIS MEC 0-3	12/11/2018	28	68,140	385,60	Kg/cm^2	98,87 %
04	TESIS MEC 0-4	12/11/2018	28	72,400	409,70	Kg/cm^2	105,05 %
05	TESIS MEC 0-5	12/11/2018	28	72,860	412,30	Kg/cm^2	105,72 %

Fuente: Elaboración propia 2018

A continuación, se muestra los resultados del ensayo de *resistencia a la compre*sión, para el concreto con adición de vidrio molido finamente al 5 %, curada en laboratorio y a temperatura ambiente hasta el día 28.

Tabla 36*: Resistencia a la compresión para f'c = 390 kg/cm2 con 5% de vidrio adicionado*

No	Etiqueta	Fecha de Ensayo	Edad (días)	Carga Máxima (kgf)	Resistencia a la Compresión	Unidad	% Resistencia
01	TESIS MEC 5-1	12/11/2018	28	81, 510	461,30	Kg/cm^2	118,30 %
02	TESIS MEC 5-2	12/11/2018	28	77, 090	436.20	Kg/cm^2	111,85 %

03	TESIS MEC 5-3	12/11/2018	28	78,210	442,60	Kg/cm^2	113,50 %
04	TESIS MEC 5-4	12/11/2018	28	80,050	453,00	Kg/cm^2	116,15 %
05	TESIS MEC 5-5	12/11/2018	28	80,420	455,10	Kg/cm^2	116,70 %

Fuente: Elaboración propia 2018

A continuación, se muestra los resultados del ensayo de *resistencia a la compresión*, para el concreto con adición de vidrio molido finamente al 7,5 %, curada en laboratorio y a temperatura ambiente hasta el día 28.

Tabla 37*: Resistencia a la compresión para f'c = 390 kg/cm2 con 7,5 % de vidrio adicionado*

No	Etiqueta	Fecha de ensayo	Edad (días)	Carga máxima (kgf)	Resistencia a la compresión	Unidad	% Resistencia
01	TESIS MEC 7,5-1	12/11/2018	28	85,790	485,50	Kg/cm^2	124,50 %
02	TESIS MEC 7,5-2	12/11/2018	28	89,010	503,70	Kg/cm^2	129,15 %
03	TESIS MEC 7,5-3	12/11/2018	28	85,680	484,90	Kg/cm^2	124,33 %
04	TESIS MEC 7,5-4	12/11/2018	28	87,520	495,30	Kg/cm^2	127,00 %
05	TESIS MEC 7,5-5	12/11/2018	28	86,750	490,90	Kg/cm^2	125,90%

Fuente: Elaboración propia 2018

A continuación, se muestra los resultados del ensayo de *resistencia a la compresión*, para el concreto con adición de vidrio molido finamente al 10 %, curada en laboratorio y a temperatura ambiente hasta el día 28.

Tabla 38: *Resistencia a la Compresión para f'c = 390 kg/cm2 con 10% de vidrio adicionado*

No	Etiqueta	Fecha de ensayo	Edad (días)	Carga máxima (kgf)	Resistencia a la compresión	Unidad	% Resistencia
01	TESIS MEC 10-1	12/11/2018	28	83,480	472,40	Kg/cm^2	121,13 %
02	TESIS MEC 10-2	12/11/2018	28	80,260	454,20	Kg/cm^2	116,50 %
03	TESIS MEC 10-3	12/11/2018	28	80,650	456,40	Kg/cm^2	117,03 %
04	TESIS MEC 10-4	12/11/2018	28	77,210	436,90	Kg/cm^2	112,03 %
05	TESIS MEC 10-5	12/11/2018	28	80,150	453,60	Kg/cm^2	116,31%

Fuente: Elaboración propia 2018

A continuación, se muestra los resultados del ensayo de *resistencia a la compresión*, para el concreto con adición de vidrio molido finamente al 15 %, curada en laboratorio y a temperatura ambiente hasta el día 28.

Tabla 39: *Resistencia a la compresión para f'c = 390 kg/cm2 con 15% de vidrio adicionado*

No	Etiqueta	Fecha de ensayo	Edad (días)	Carga máxima (kgf)	Resistencia a la compresión	Unidad	% Resistencia
01	TESIS MEC 15-1	12/11/2018	28	84,090	475,90	Kg/cm^2	122,03 %
02	TESIS MEC 15-2	12/11/2018	28	83,150	470,60	Kg/cm^2	120,67 %
03	TESIS MEC 15-3	12/11/2018	28	80,480	455,40	Kg/cm^2	116,80 %
04	TESIS MEC 15-4	12/11/2018	28	78,420	443,80	Kg/cm^2	113,80 %
05	TESIS MEC 15-5	12/11/2018	28	80,640	456,30	Kg/cm^2	117,00 %

Fuente: Elaboración propia 2018

4.2 Proceso y prueba de hipótesis

Para el desarrollo del análisis estadístico, se hace uso de la estadística descriptiva para indicar las medidas de dispersión de cada diseño de mezcla, con cada uno de sus respectivos porcentajes de vidrio molido finamente.

Tabla 40: *Análisis estadístico para una resistencia a la compresión para f'c = 300 kg/cm2*

No	Sin VM	5% VM	7.5% VM	10% VM	15% VM	Unidad
01	339.80	.	369.50	.	.	Kg/cm^2
02	342.60	360.30	364.90	362.70	340.40	Kg/cm^2
03	345.30	349.70	366.20	375.20	345.50	Kg/cm^2
04	340.60	359.10	341.20	347.50	311.60	Kg/cm^2
05	342.10	359.10	.	368.10	340.10	Kg/cm^2

Fuente: Elaboración propia 2018

Haciendo el análisis estadístico se cuenta con las medidas de tendencia central, para cada porcentaje de vidrio molido adicionado a la mezcla, encontrándose los siguientes valores.

Tabla 41: *Medidas de tendencia central para f'c = 300 kg/cm2*

Estadístico	Sin VM	5% VM	7.5% VM	10% VM	15% VM
Rango	5,5	10,6	4,6	27,7	33,9
Media	342,08	357,05	366,87	363,38	334,40
Mediana	342,10	359,10	366,20	365,40	340,25
Desviación Estándar	2,123	4,933	2,371	11,756	15,401
Coeficiente de Variación	0,62 %	1,38 %	0,65 %	3,24 %	4,61 %

Varianza	4,507	24,330	5,623	138,209	237,180
Mínimo	339,8	349,7	364,9	347,5	311,6
Máximo	345,3	360,0	369,5	375,2	345,5

Fuente: Elaboración propia 2018

En la tabla se resume y se distingue la variación de la media para cada valor del porcentaje de vidrio molido, presentándose una resistencia a la compresión promedio mínimo de 334,40 kg/cm^2 a un porcentaje del 15 % de vidrio adicionado, para una resistencia de diseño de 300 kg/cm^2 con un coeficiente de variación de 4,61 % máximo para un porcentaje de vidrio del 15 %.

Figura 17*:* Comparación de las resistencias medias y porcentajes de vidrio para f'c=300kg/cm2
Fuente: Elaboración propia 2018

De la figura se observa, que para un porcentaje del 10% VM, nos da la mayor resistencia superior a los 360 kg/cm2, y para valores de su extremo las resistencias descienden.

Tabla 42: *Análisis Estadístico para una resistencia a la compresión para f'c = 340 kg/cm2*

No	Sin VM	5% VM	7.5% VM	10% VM	15% VM	Unidad
01	385.60	398.50	.	.	.	Kg/cm^2
02	343.50	395.60	392.10	.	340.90	Kg/cm^2
03	365.40	375.20	396.40	367.40	343.00	Kg/cm^2
04	384.70	369.50	368.10	373.80	353.70	Kg/cm^2
05	380.30	376.10	.	368.40	340.70	Kg/cm^2

Fuente: Elaboración propia 2018

Haciendo el análisis estadístico, se cuenta con las medidas de tendencia central, para cada porcentaje de vidrio molido adicionado a la mezcla, encontrándose los siguientes valores.

Tabla 43: *Medidas de tendencia central para f'c = 340 kg/cm2*

Estadístico	Sin VM	5% VM	7,5% VM	10% VM	15% VM
Rango	42,1	29	28,3	6,4	13
Media	371,8	382,98	385,53	369,87	344,58
Mediana	380,3	376,1	392,1	368,4	341,9
Desviación estándar	17,825	13,13	21,93	19,94	18,15
Coeficiente de variación	4,79 %	3,42 %	3,96 %	0,93 %	1,79 %
Varianza	317,725	172,427	232,563	11,853	38,089
Mínimo	343,5	369,5	368,1	367,4	340,7
Máximo	385,6	398,5	396,4	405,8	353,7

Fuente: Elaboración propia 2018

En la tabla se resume y se distingue la variación de la media para cada valor del porcentaje de vidrio molido, presentándose una resistencia a la compresión promedio mínimo de 344,58 kg/cm^2 a un porcentaje del 15 % de vidrio adicionado, para una resistencia de diseño de 340 kg/cm^2 con un coeficiente de variación de 1,79 % máximo para un porcentaje de vidrio del 15 %.

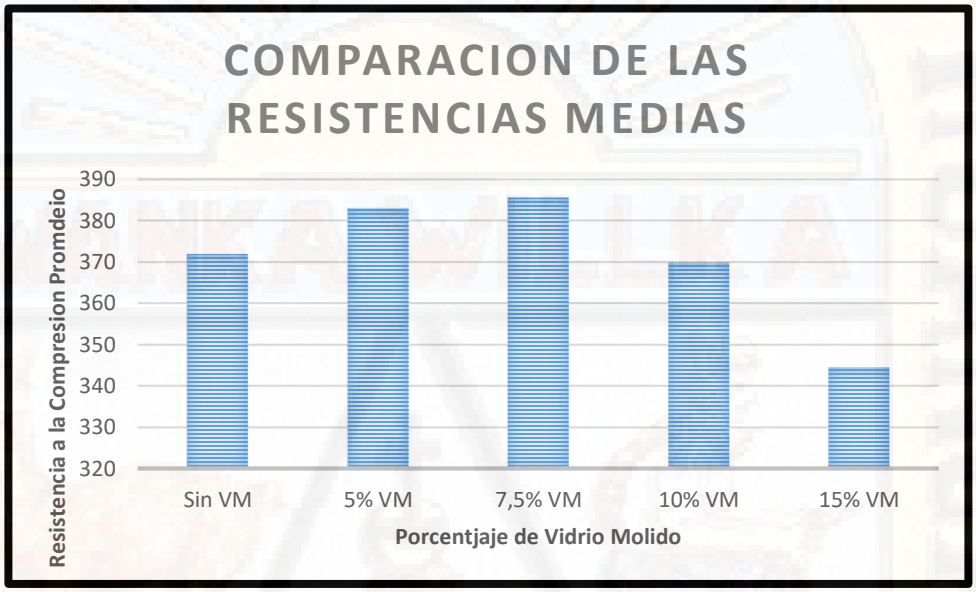


Figura 18: Comparación de las resistencias medias y porcentajes de vidrio para f'c = 340 kg/cm2
Fuente: *Elaboración propia 2018*

De la figura se observa, que para un porcentaje del 7,5 % VM, nos da la mayor resistencia superior a los 380 kg/cm2, y para valores de su extremo las resistencias descienden.

Tabla 44: *Análisis Estadístico para una Resistencia a la Compresión para f'c = 390 kg/cm2*

No	Sin VM	5% VM	7.5% VM	10% VM	15% VM	Unidad
01	415,60	461,30	485,50	472,40	.	Kg/cm^2
02	436,30	.	503,70	454,20	470,60	Kg/cm^2
03	.	442,60	484,90	456,40	455,40	Kg/cm^2
04	409,70	453,00	495,30	.	443,80	Kg/cm^2
05	412,30	455,10	490,90	453,60	456,30	Kg/cm^2

Fuente: Elaboración propia 2018

Haciendo el análisis estadístico se cuenta con las medidas de tendencia central, para cada porcentaje de vidrio molido adicionado a la mezcla, encontrándose los siguientes valores.

Tabla 45: *Medidas de tendencia central f'c = 390 kg/cm^2*

Estadístico	Sin VM	5% VM	7.5% VM	10% VM	15% VM
Rango	26,6	18,7	18,8	18,8	26,8
Media	418,48	453,00	492,06	459,15	456,53
Mediana	413,95	454,05	490,90	455,30	455,85
Desviación Estándar	12,126	7,777	7,772	8,915	10,975
Coeficiente de Variación	2,89 %	1,72 %	1,58 %	1,94 %	2,40 %
Varianza	147,043	60,487	60,408	79,477	120,449
Mínimo	409,7	442,6	484,9	453,6	443,8
Máximo	436,3	461,3	503,7	472,4	475,9

Fuente: Elaboración propia 2018

En la tabla se resume y se distingue la variación de la media para cada valor del porcentaje de vidrio molido, presentándose una resistencia a la compresión promedio mínimo de 418,5 kg/cm^2 sin vidrio adicionado, para una resistencia de diseño de 390 kg/cm^2 con un coeficiente de variación de 2,40 % máximo para nuestras probetas sin adición de vidrio.

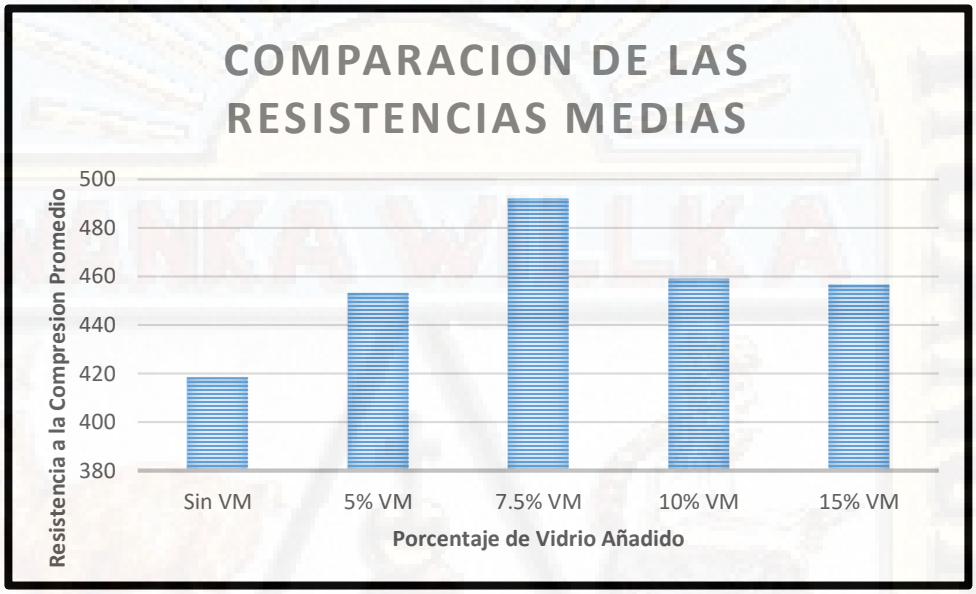


***Figura 19**:* Comparación de las resistencias medias y porcentajes de vidrio para f'c=390 kg/cm2
Fuente: Elaboración propia 2018

De la figura se observa, que para un porcentaje del 7,5% VM, nos da la mayor resistencia superior a los 480 kg/cm2, y para valores de su extremo las resistencias descienden.

4.2.1 Hipótesis estadística

Ho: Todos los tratamientos de las combinaciones de los diferentes porcentajes de vidrio molido finamente en los diseños de mezcla f'c = 300 kg/cm^2, f'c = 340 kg/cm^2, y f'c = 390 kg/cm^2 no influyen significativamente sobre la resistencia del concreto.

Ha: Al menos uno de los tratamientos de las combinaciones de los diferentes porcentajes de vidrio molido finamente en los diseños de mezcla f'c = 300 kg/cm^2, f'c = 340 kg/cm^2, y f'c = 390 kg/cm^2 influyen significativamente sobre la resistencia del concreto.

Con las hipótesis planteadas, se procede a someter a la prueba de hipótesis con los datos encontrados, con uso del cuadro de ANOVA y el estadístico de prueba F, con un nivel de significancia del 5 % y un 95 % de nivel de confianza. A continuación, se realiza la comparación de medias, para determinar la significancia de los porcentajes de vidrio molido utilizados.

a) Para el primer diseño de f'c = 300 kg/cm^2, se tiene los siguientes cálculos.

Tabla 46*: Datos de f'c = 300 kg/cm2 con variación de % vidrio molido*

No	Sin VM	5% VM	7.5% VM	10% VM	15% VM	Unidad
01	339,80	.	369,50	.	.	Kg/cm^2
02	342,60	360,30	364,90	362,70	340,40	Kg/cm^2
03	345,30	349,70	366,20	375,20	345,50	Kg/cm^2
04	340,60	359,10	341,20	347,50	311,60	Kg/cm^2
05	342,10	359,10	.	368,10	340,10	Kg/cm^2

Fuente: Elaboración propia 2018

A continuación, se resume la varianza efectuada para cada grupo de tratamientos diferenciado, por el porcentaje de vidrio molido.

Tabla 47*: Resumen de la varianza de f'c = 300 kg/cm2 por grupo de factor (% VM)*

Grupos	N	Suma	Promedio	Varianza
Sin VM	5	1710,4	342,08	4,507
5% VM	4	1428,2	357,05	24,33

7.5% VM	4	1441,8	360,45	168,44
10% VM	4	1453,5	363,38	138,21
15% VM	4	1337,6	334,4	237,18

***Nota**: VM. Vidrio molido*
Fuente: Elaboración propia 2018

Con estos valores se procede a construir el cuadro ANOVA, para lo cual tenemos.

Tabla 48*: Cuadro ANOVA para f'c = 300 kg/cm2*

Fuente de Variación	GL	SC	CM	F	Probabilidad	Valor crítico para F
% de VM	4	2616,243	654,061	6,075	0,0035	3,0069
Error	16	1722,516	107,657			
Total	20	4338,758				

Nota: VM. Vidrio molido
Fuente: Elaboración propia 2018

Como el valor calculado de F = 6,075 es mayor que el valor crítico para F, encontrado en tabla, se rechaza la hipótesis nula, por lo tanto, se determina que al menos uno de los tratamientos de las combinaciones de los diferentes porcentajes de vidrio molido finamente en los diseños de mezcla f'c = 300 kg/cm^2 influye significativamente sobre la resistencia del concreto.

Al existir una diferencia significativa entre cada tratamiento e influenciando a las resistencias del concreto, se realiza la comparación de medias, mediante el uso del test de Tukey HSD (Diferencia honestamente significativa).

Tabla 49: *Prueba de Tukey (HSD) para f'c = 300 kg/cm2*

```
Linear Hypotheses:
                     Estimate Std.  Error  t value  Pr(>|t|)
1.15VM - 1.10VM == 0  -28.975      7.337  -3.949  0.00868 **
1.5VM - 1.10VM == 0    -6.325      7.337  -0.862  0.90641
1.75VM - 1.10VM == 0   -2.925      7.337  -0.399  0.99412
1.SV - 1.10VM == 0    -21.295      6.960  -3.059  0.05041 .
1.5VM - 1.15VM == 0    22.650      7.337   3.087  0.04784 *
1.75VM - 1.15VM == 0   26.050      7.337   3.551  0.01938 *
1.SV - 1.15VM == 0      7.680      6.960   1.103  0.80216
1.75VM - 1.5VM == 0     3.400      7.337   0.463  0.98959
1.SV - 1.5VM == 0     -14.970      6.960  -2.151  0.24717
1.SV - 1.75VM == 0    -18.370      6.960  -2.639  0.10942
---
Signif. codes:  0 ‘***’ 0.001 ‘**’ 0.01 ‘*’ 0.05 ‘.’ 0.1 ‘ ’ 1
(Adjusted p values reported -- single-step method)
```

Fuente: Elaboración propia 2018

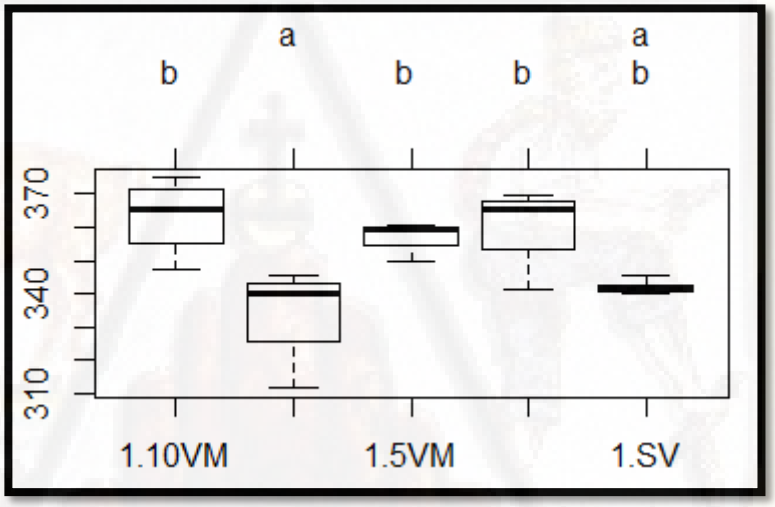


Figura 20: Comparación de las resistencias medias y porcentajes de vidrio para f’c=300 kg/cm2

Fuente: Elaboración propia 2018

En la figura se distingue que el tratamiento del 15 % de VM y los tratamientos sin Vidrio Molido, son diferentes al resto, y mientras que, para los porcentajes del 5% de VM, 7,5% VM y el 10% de VM, no existe diferencia significativa en las medias de los tratamientos.

b) Para el primer diseño de f'c = 340 kg/cm^2, se tiene los siguientes cálculos.

Tabla 50: *Datos de f'c = 340 kg/cm2 con variación de % vidrio molido*

No	Sin VM	5% VM	7.5% VM	10% VM	15% VM	Unidad
01	385,60	398,50	.	.	.	Kg/cm^2
02	343,50	395,60	392,10	.	340,90	Kg/cm^2
03	365,40	375,20	396,40	367,40	343,00	Kg/cm^2
04	384,70	369,50	368,10	373,80	353,70	Kg/cm^2
05	380,30	376,10	.	368,40	340,70	Kg/cm^2

Fuente: Elaboración propia 2018

A continuación, se resume la varianza efectuada para cada grupo de tratamientos diferenciado, por el porcentaje de vidrio molido.

Tabla 51: *Resumen de la Varianza de f'c = 340 kg/cm2 por Grupo de factor (% VM)*

Grupos	N	Suma	Promedio	Varianza
Sin VM	5	1859,5	371,9	317,725
5% VM	5	1914,9	382,98	172,427
7,5% VM	3	1156,6	385,53	232,563
10% VM	3	1109,6	369,86	11,853
15% VM	4	1378,3	344,58	38,089

Nota: VM. Vidrio molido
Fuente: Elaboración propia 2018

Con estos valores se procede a construir el cuadro ANOVA, para lo cual tenemos.

Tabla 52*: Cuadro ANOVA para f'c = 340 kg/cm2*

Fuente de variación	GL	SC	CM	F	Probabilidad	Valor crítico para F
% de VM	4	4152,221	1038,06	6,073	0,0041	3,056
Error	15	2563,709	170,91			
Total	19	6715,93				

Nota: VM. vidrio molido
Fuente: Elaboración propia 2018

Como el valor calculado de F = 6,07 es mayor que el valor crítico para F, encontrado en tabla, se rechaza la hipótesis nula, por lo tanto, se determina que al menos uno de los tratamientos de las combinaciones de los diferentes porcentajes de vidrio molido finamente en los diseños de mezcla f'c = 340 kg/cm^2 influyen significativamente sobre la resistencia del concreto.

Al existir una diferencia significativa entre cada tratamiento e influenciando a las resistencias del concreto, se realiza la comparación de medias, mediante el uso del test de Tukey HSD (Diferencia honestamente significativa).

Tabla 53*: Prueba de Tukey (HSD) para f'c = 340 kg/cm2*

```
Linear Hypotheses:
                      Estimate Std.  Error  t value Pr(>|t|)
1.15VM - 1.10VM == 0  -25.292      9.985  -2.533  0.13403
1.5VM - 1.10VM == 0    13.113      9.547   1.373  0.65074
1.75VM - 1.10VM == 0   15.667     10.674   1.468  0.59511
1.SV - 1.10VM == 0      2.033      9.547   0.213  0.99948
1.5VM - 1.15VM == 0    38.405      8.770   4.379  0.00413 **
1.75VM - 1.15VM == 0   40.958      9.985   4.102  0.00705 **
1.SV - 1.15VM == 0     27.325      8.770   3.116  0.04715 *
1.75VM - 1.5VM == 0     2.553      9.547   0.267  0.99873
1.SV - 1.5VM == 0     -11.080      8.268  -1.340  0.67041
1.SV - 1.75VM == 0    -13.633      9.547  -1.428  0.61864
---
Signif. codes:  0 ‘***’ 0.001 ‘**’ 0.01 ‘*’ 0.05 ‘.’ 0.1 ‘ ’ 1
(Adjusted p values reported -- single-step method)
```

Fuente: Elaboración propia 2018

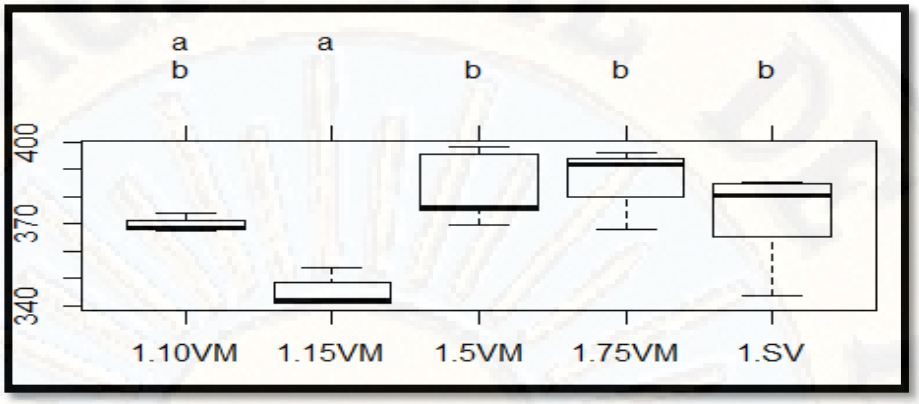


***Figura 21**:* Comparación de las resistencias medias y porcentajes de vidrio para f'c=340 kg/cm2

Fuente: Elaboración propia 2018

En la figura se distingue que el tratamiento del 15 % de VM es diferente al resto, y mientras que, para los porcentajes, no existe diferencia significativa en las medias de los tratamientos al 10%, 5%, 7,5% y sin vidrio.

c) Para el primer diseño de f'c = 390 kg/cm^2, se tiene los siguientes cálculos.

Tabla 54*: Datos de f'c = 390 kg/cm2 con variación de % vidrio molido*

No	Sin VM	5% VM	7,5% VM	10% VM	15% VM	Unidad
01	415,60	461,30	485,50	472,40	.	Kg/cm^2
02	436,30	.	503,70	454,20	470,60	Kg/cm^2
03	.	442,60	484,90	456,40	455,40	Kg/cm^2
04	409,70	453,00	495,30	.	443,80	Kg/cm^2
05	412,30	455,10	490,90	453,60	456,30	Kg/cm^2

Fuente: Elaboración propia 2018

A continuación, se resume la varianza efectuada para cada grupo de tratamientos diferenciado, por el porcentaje de vidrio molido.

Tabla 55: *Resumen de la varianza de f'c = 390 kg/cm2 por Grupo de factor (% VM)*

Grupos	N	Suma	Promedio	Varianza
Sin VM	4	1673,9	418,48	147,042
5% VM	4	1812,0	453,00	60,487
7,5% VM	5	2460,3	492,06	60,408
10% VM	4	1836,6	459,15	79,477
15% VM	4	1826,1	456,53	120,449

Nota: VM. Vidrio molido
Fuente: Elaboración propia 2018

Con estos valores se procede a construir el cuadro ANOVA, para lo cual tenemos.

Tabla 56: *Cuadro ANOVA para f'c = 390 kg/cm2*

Fuente de Variación	GL	SC	CM	F	Probabilidad	Valor crítico para F
% de VM	4	12156,37	3039,84	33,22	1,45E-07	3,0069
Error	16	1463,99	91,50			
Total	20	13623,37				

Nota: VM. Vidrio molido
Fuente: Elaboración propia 2018

Como el valor calculado de F = 33,22 es mayor que el valor crítico para F, encontrado en tabla, se rechaza la hipótesis nula, por lo tanto, se determina que al menos uno de los tratamientos de las combinaciones de los diferentes porcentajes de vidrio molido finamente en los diseños de mezcla f'c = 390 kg/cm^2 influyen significativamente sobre la resistencia del concreto.

Al existir una diferencia significativa entre cada tratamiento e influenciando a las resistencias del concreto, se realiza la comparación de medias, mediante el uso del test de Tukey HSD (Diferencia honestamente significativa).

Tabla 57*: Prueba de Tukey (HSD) para f'c = 390 kg/cm2*

```
Linear Hypotheses:
                      Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
1.15VM - 1.10VM == 0   -2.625      6.764  -0.388 0.994689
1.5VM - 1.10VM == 0    -6.150      6.764  -0.909 0.889096
1.75VM - 1.10VM == 0   32.910      6.417   5.129 0.000825 ***
1.SV - 1.10VM == 0    -40.675      6.764  -6.014 0.000146 ***
1.5VM - 1.15VM == 0    -3.525      6.764  -0.521 0.983875
1.75VM - 1.15VM == 0   35.535      6.417   5.538 0.000415 ***
1.SV - 1.15VM == 0    -38.050      6.764  -5.625 0.000299 ***
1.75VM - 1.5VM == 0    39.060      6.417   6.087 0.000118 ***
1.SV - 1.5VM == 0     -34.525      6.764  -5.104 0.000878 ***
1.SV - 1.75VM == 0    -73.585      6.417 -11.468  < 1e-04 ***---
Signif. codes:  0 ‘***’ 0.001 ‘**’ 0.01 ‘*’ 0.05 ‘.’ 0.1 ‘ ’ 1
```

Nota: VM. Vidrio molido
Fuente: Elaboración propia 2018

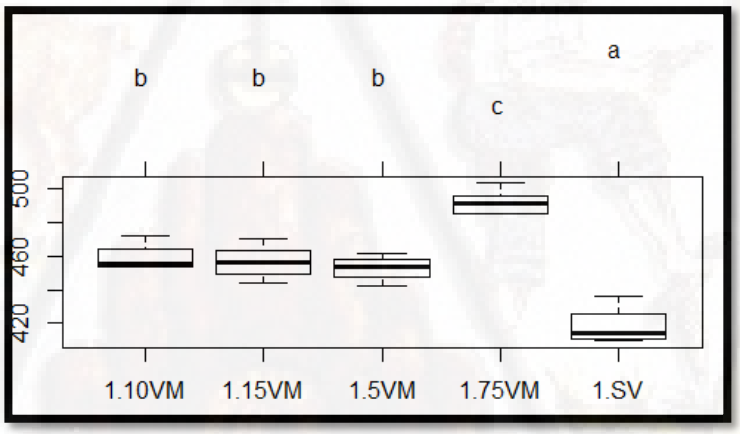


Figura 22: Comparación de las resistencias medias y porcentajes de vidrio para f’c=390 kg/cm2
Fuente: Elaboración propia 2018

En la figura se distingue que el tratamiento del 15 %, 5% y 10% de VM es significativa a la media del tratamiento in uso de VM, y el tratamiento de 7,5% de VM presenta una mayor diferencia significativa con respecto a los otros tratamientos.

4.3 Discusión de resultados

El análisis estadístico, a los diferentes tratamientos muestran que la adición de vidrio molido, influye significativamente en la resistencia del concreto.

1. Por Espinoza (2010) se confirma que los concretos de alta resistencia y el diseño de mezcla por el MEC, presenta grandes ventajas con respecto a los concretos normales, ya que a mayor resistencia del concreto las secciones son menores. Y en uso del MEC, los concretos son más homogéneos y densos y ayudan a mejorar las propiedades del concreto.

2. Según Catalan (2013), se visualizó que la adición del vidrio al concreto no modifica la cantidad del agua, esto determinado por el ensayo de Abrams; y el uso del vidrio modifica la densidad del concreto, reduciendo su peso específico. Pero se discrepa en el porcentaje de vidrio utilizado, ya que el autor propone el uso del 10% genera un ligero incremento. Del análisis estadístico, se visualiza que, para concretos con uso de vidrio, en un rango del 5 – 7% de vidrio modifica de forma gradual la resistencia del concreto.

3. De conformidad con las conclusiones Pineda (2003), se demuestra que el concreto de alto desempeño nos permite mejor trabajabilidad, gran capacidad para deformarse y fluir libremente, y esto a la par dará buena cohesión, mayor densidad y esto demuestra las mayores resistencias alcanzados en el ensayo de compresión digital de testigos de probeta de concreto.

CONCLUSIONES

De nuestra hipótesis general, se concluye que el uso de vidrio molido y la selección de materiales áridos con el método MEC, incrementan la resistencia del concreto para una f'c=300 kg/cm^2 encontrando el valor de adición máximo de vidrio molido del 10%, para un f'c=340 kg/cm^2 encontrando el valor de adición máximo de vidrio molido del 7,5%, y, para un f'c=390 kg/cm^2 encontrando el valor de adición máximo de vidrio molido del 7,5%.

De acuerdo con análisis de varianza, para un f'c=300 kg/cm^2 con una probabilidad de error del 0,0035 % al menos uno de los tratamientos de las combinaciones de los diferentes porcentajes de vidrio molido influye en la resistencia del concreto, para un f´c=340 kg/cm^2 con una probabilidad de error del 0,0041 % al menos uno de los tratamientos de las combinaciones de los diferentes porcentajes de vidrio molido influye en la resistencia del concreto y con la prueba de Test de Tukey los tratamientos de los porcentajes de adición de vidrio no presentan diferencia significativa, y para una adición de vidrio del 15 % muestra una resistencia a la compresión inferior al promedio, y, para un f´c=390 kg/cm^2 con una probabilidad de error del 1,45E-07 % al menos uno de los tratamientos de las combinaciones de los diferentes porcentajes de vidrio molido influye en la resistencia del concreto y con la prueba de Test de Tukey se muestra que para una adición de vidrio del 7,5% muestra una media significativa a la media del resto de tratamientos.

El diseño de mezcla con el MEC muestra mayor trabajabilidad en la colocación a los diferentes encofrados, presentando baja segregación y una alta densidad del concreto. Y la adición del vidrio molido finamente a la mezcla, influye en la densidad del concreto en estado endurecido, haciendo descender gradualmente mientras más vidrio se use.

RECOMENDACIONES

En el análisis al ensayo a la resistencia mecánica del concreto, se recomienda para futuras investigaciones realizar este ensayo pasado los 28 días, siendo estos a los 56 y 90 días, ya que se presentaron probetas ensayadas con quiebras en los bordes y no pudiendo llegar a su máxima capacidad de resistencia del concreto.

De acuerdo con las conclusiones de la tesis de Belito y Paucar (2018), se recomienda realizar investigaciones para las demás canteras presentas en la región de Huancavelica, ya que el uso de MEC, nos permite lograr concretos de alta resistencia.

El uso de los agregados que no cumplan con la norma técnica, puede ser optimizada con el método del MEC, ya esta mejora la gradación de cada agregado, por tal se recomienda hacer uso del diseño de mezcla con el MEC, y esto a la vez es mucho más trabajable y mayor resistencia mecánica con la adición del vidrio molido.

Todos los ensayos realizados fueron realizados y controladas en laboratorio, por lo que los resultados pueden diferir en el uso a obra, se recomienda hacer nuevos estudios siguiendo la metodología planteada, con materiales y situaciones presentadas en obra.

REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA

Abanto Castillo, F. (2009). *Tecnologia del Concreto* (Segunda Edición ed.). Lima: San Marcos.

Arauco Vera, S. (2010). *ESTUDIO DE LAS PROPIEDADES DEL CONCRETO EN ESTADO FRESCO Y ENDURECIDO UTILIZANDO CEMENTO DE LA REPUBLICA DOMINICANA QUISQUEYA PÓRTLAND - TIPO I.* Lima: Universidad Nacional de Ingeniería.

Belito Huamani, G., & Paucar Chanca, F. (2018). *"INFLUENCIA DE AGREGADOS DE DIFERENTES PROCEDENCIAS Y DISEÑO DE MEZCLA SOBRE LA RESISTENCIA DEL CONCRETO".* Huancavelica: Universidad Nacional de Huancavelica.

Catalan Arteaga, C. J. (2013). *"ESTUDIO DE LA INFLUENCIA DEL VIDRIO MOLIDO EN HORMIGONES GRADO H15, H20, Y H30".* Valdivia: Universidad Austral de Chile.

Espinoza Montenegro, A. A. (2010). *"Estudio de Dosificación de Hormigón de Ultra-Alta Resistencia, Basado en el Empaquetamiento de los Aridos".* Madrid: Universidad Politecnica de Madrid.

Gala Puente, F., & Lizana Espinoza, R. (2015). *"ESTUDIO DE LA INFLUENCIA DE VIDRIO MOLIDO EN CONCRETO DE FC=210 KG/CM2 EN EL DISTRITO DE LIRCAY, PROVINCIA DE ANGARAES".* Lircay: Universidad Nacional de Huancavelica.

HERNÁNDEZ SAMPIERI, R., FERNÁNDEZ COLLADO, C., & BAPTISTA LUCIO, P. (2014). *METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN.* México: McGraw Hill Education.

ICG. (2010). *Materiales de Contrucción.* Lima: Fondo Editorial ICG.

Lensol, I. (2015). *Investigation on reliability of particle packing models for aggregates.* Luleá: Luleá University of Technology.

Ministerio del Ambiente. (2013). *Informe Nacional del Estado del Ambiente.* Lima: MINAN.

Ñaupas Paitán, H., Mejía Mejía, E., Novoa Ramírez, E., & Villagómez Paucar, A. (2014). *Metodología de la invetigación.* Bogotá: Ediciones de la U.

Pineda Vallejo, H. E. (2003). *"DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO AUTOCOMPACTANTE".* Lima: Universidad Nacional de Ingenieria.

Portugal Barriga, P. (2007). *TECNOLOGIA DEL CONCRETO DE ALTO DESEMPEÑO.* Paris: Imprimerie Lafayette.

Rivva López, E. (2010). *Materiales para el Concreto.* Lima: Fondo Editorial ICG.

Rivva López, E. (2014). *Concretos de Alta Resistencia.* Lima: Fondo Editorial ICG.

Sanchez Muñoz, F., & Tapia Medina, R. (2015). *"RELACION DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESION DE CILINDROS DE CONCRETO ARMADO A EDADES DE 3, 7, 14, 28 Y 56 DIAS RESPECTO A LA RESISTENCIA A LA COMPRESION DE CILINDROS DE CONCRETO A EDAD DE 28 DIAS".* TRUJILLO: UNIVERSIDAD PRIVADA ANTENOR ORREGO.

Sergio Santana, J., & Mateos Farfán, E. (2014). *El arte de programar en R.* México: Instituo Mexicano de Tecnología del Agua.

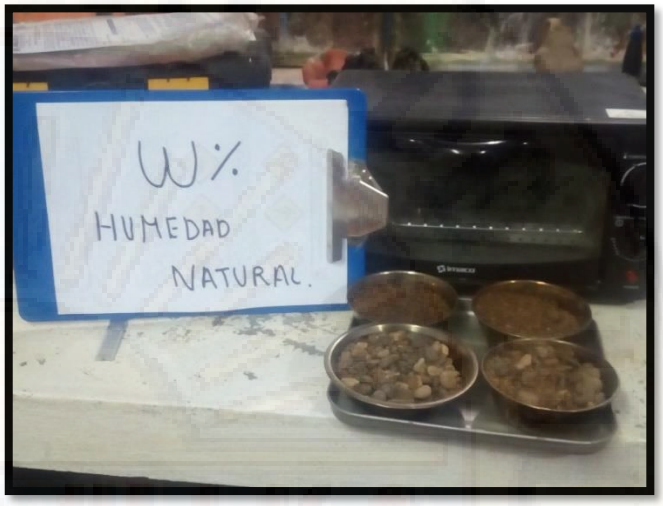
Supo, J. (2012). *Seminarios de INVESTIGACIÓN Científica.* Arequipa: SIPRO.

Vargas Salazar, R., & Sciaraffia Pérez, R. (2006). *Diseño y evaluación de hormigos autocompactantes (HAC).* Chile: Revista Ingenieria de Construccion.

APENDICE

Materiales de laboratorio para el ensayo de análisis granulométrico

Agregado fino y agregado grueso, en proporciona para el tamizaje correspondiente



Agregado fino y agregado grueso, para la determinación de contenido de humedad

Agregado fino y agregado grueso, para la determinación de contenido de humedad

*Calibración de la balanza electrónica y p*eso de materiales antes de la mezcla.

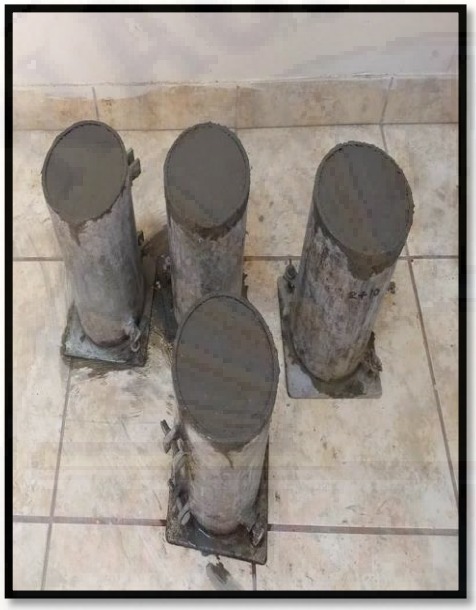
Visualización de vidrio molido y materiales para el preparado de la mezcla concreto.

Extracción del cono de Abrams y verificación del sentamiento del concreto fresco sin vidrio molido

Extracción del cono de Abrams y verificación del asentamiento del concreto fresco usando vidrio.

Extracción del cono de Abrams y verificación del asentamiento del concreto usando mayor porcentaje de vidrio.

Vista del Termostato que regula la temperatura del agua para el curado del concreto y vista del curado de las probetas



Vista las probetas recién preparadas y vista del peso antes de la ruptura de la probeta

Anotación del peso exacto de las probetas y vista de la probeta de concreto y ubicación correcta

Vista de la probeta fracturada a los 28 días fractura tipo 2 según NTP 339.034

Vista de las probetas de concreto fracturadas con un 5 % de vidrio molido y vista de las probetas de concreto fracturadas con un 10 % de vidrio molido.

Vista de las probetas de concreto fracturadas con un 10 % de vidrio molido y vista de las probetas de concreto fracturadas.