Repositorio Digital de Ciencia, Tecnología e Innovación de Acceso Abierto

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTÍN TARAPOTO - PERU

Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-Compartirigual 2.5 Perú.
Vea una copia de esta licencia en http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.5/pe/

Obra publicada con autorización del autor

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTÍN -TARAPOTO

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y ARQUITECTURA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

Diseño de concreto 175 Kg/cm^2, 210 Kg/cm^2 y 280, Kg/cm^2, con agregado grueso del río Huallaga y agregado fino del río Sisa

Tesis para optar el Título Profesional de Ingeniero Civil

AUTORES:

Rina Sánchez García

Eduardo Francisco Chong Pinedo

ASESOR:

Ing. M. Sc. Enrique Napoleón Martínez Quiroz

Tarapoto – Perú

2019

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTÍN -TARAPOTO

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y ARQUITECTURA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

Diseño de concreto 175 Kg/cm^2, 210 Kg/cm^2 y 280, Kg/cm^2, con agregado grueso del rio Huallaga y agregado fino del rio Sisa

AUTORES:

Rina Sánchez García

Eduardo Francisco Chong Pinedo

Sustentada y aprobada el 29 de abril del 2019, ante el honorable jurado:

.....	.....
Ing. Jorge Isaacs Rioja Díaz	**Ing. Carlos Segundo Huamán Torrejón**
Presidente	**Secretario**
.....	.....
Ing. Iván Gustavo Reátegui Acedo	**Ing. M. Sc. Enrique Napoleón Martínez Quiroz**
Vocal	***Asesor***

Declaratoria de autenticidad

Rina Sánchez García, con DNI N° 70155956 y **Eduardo Francisco Chong Pinedo**, con DNI N° 46726202, egresados de la Facultad de Ingeniería Civil y Arquitectura, Escuela profesional de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional de San Martín – Tarapoto, con la tesis titulada: **Diseño de concreto 175 Kg/cm^2, 210 Kg/cm^2 y 280, Kg/cm^2, con agregado grueso del rio Huallaga y agregado fino del rio Sisa.**

Declaramos bajo juramento que:

1. La tesis presentada es de nuestra autoría.
2. La redacción fue realizada respetando las citas y referencias de las fuentes bibliográficas consultadas.
3. Toda la información que contiene la tesis no ha sido auto plagiada;
4. Los datos presentados en los resultados son reales, no han sido alterados ni copiados, por tanto, la información de esta investigación debe considerarse como aporte a la realidad investigada.

Por lo antes mencionado, asumimos bajo responsabilidad las consecuencias que deriven de nuestro accionar, sometiéndonos a las leyes de nuestro país y normas vigentes de la Universidad Nacional de San Martín – Tarapoto.

Tarapoto, 29 de abril del 2019.

Bach. Rina Sánchez García
DNI N° 70155956

Bach. Eduardo Francisco Chong Pinedo
DNI N° 46726202

Declaración jurada

Rina Sanchez Garcia, con DNI N° 70155956, con domiciliado legal en el Jirón San Miguel N° 373 – La Banda de Shilcayo y **Eduardo Francisco Chong Pinedo**, con *DNI* N° 46726202, domiciliado legal en el Jirón Comandante Chirinos N° 160 – Tarapoto, a efecto de cumplir con las Disposiciones Vigentes consideradas en el Reglamento de Grados y Títulos de la Facultad de Ingeniería Civil y Arquitectura de la Universidad Nacional de San Martin – Tarapoto, **Declaramos bajo juramento que,** todos los documentos, datos e información en la presente tesis, son auténticos y veraces.

En tal sentido asumimos la responsabilidad que corresponda ante cualquier falsedad, ocultamiento u omisión tanto de los documentos como de la información aportada, por lo cual nos sometemos a lo dispuesto en las Normas Académicas de la Universidad Nacional de San Martin – Tarapoto.

Tarapoto, 29 de abril del 2019.

.....

Bach. Rina Sánchez García

DNI N° 70155956

.....

Bach. Eduardo Francisco Chong Pinedo

DNI N° 46726202

Formato de autorización NO EXCLUSIVA para la publicación de trabajos de investigación, conducentes a optar grados académicos y títulos profesionales en el Repositorio Digital de Tesis

1. Datos del autor:

Apellidos y nombres:	Sánchez García Rina		
Código de alumno :	093123	**Teléfono:**	929966942
Correo electrónico :	sagakii92@gmail.com	**DNI:**	70155956

(En caso haya más autores, llenar un formulario por autor)

2. Datos Académicos

Facultad de: Ingeniería Civil
Escuela Profesional de: Ingeniería Civil

3. Tipo de trabajo de investigación

Tesis	(X)	Trabajo de investigación	( )
Trabajo de suficiencia profesional	( )		

4. Datos del Trabajo de investigación

Titulo : Diseño de concreto 175 kg/cm^2, 210 kg/cm^2 y 280 kg/cm^2, con agregado grueso del río Huallaga y agregado fino del río Sisa
Año de publicación: 2019

5. Tipo de Acceso al documento

Acceso público *	(X)	Embargo	( )
Acceso restringido **	( )		

Si el autor elige el tipo de acceso abierto o público, otorga a la Universidad Nacional de San Martín – Tarapoto, una licencia **No Exclusiva**, para publicar, conservar y sin modificar su contenido, pueda convertirla a cualquier formato de fichero, medio o soporte, siempre con fines de seguridad, preservación y difusión en el Repositorio de Tesis Digital. Respetando siempre los Derechos de Autor y Propiedad Intelectual de acuerdo y en el Marco de la Ley 822.

En caso que el autor elija la segunda opción, es necesario y obligatorio que indique el sustento correspondiente:

6. Originalidad del archivo digital.

Por el presente dejo constancia que el archivo digital que entrego a la Universidad Nacional de San Martín - Tarapoto, como parte del proceso conducente a obtener el título profesional o grado académico, es la versión final del trabajo de investigación sustentado y aprobado por el Jurado.

7. Otorgamiento de una licencia *CREATIVE COMMONS*

Para investigaciones que son de acceso abierto se les otorgó una licencia *Creative Commons,* con la finalidad de que cualquier usuario pueda acceder a la obra, bajo los términos que dicha licencia implica

https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.5/pe/

El autor, por medio de este documento, autoriza a la Universidad Nacional de San Martín - Tarapoto, publicar su trabajo de investigación en formato digital en el Repositorio Digital de Tesis, al cual se podrá acceder, preservar y difundir de forma libre y gratuita, de manera íntegra a todo el documento.

Según el inciso 12.2, del artículo 12º del Reglamento del Registro Nacional de Trabajos de Investigación para optar grados académicos y títulos profesionales - RENATI **"Las universidades, instituciones y escuelas de educación superior tienen como obligación registrar todos los trabajos de investigación y proyectos, incluyendo los metadatos en sus *repositorios institucionales precisando si son de acceso abierto o restringido, los cuales* serán posteriormente recolectados por el Repositorio Digital RENATI, a través del Repositorio ALICIA".**

.....
Firma y huella del Autor

---

8. Para ser llenado en el Repositorio Digital de Ciencia, Tecnología e Innovación de Acceso Abierto de la UNSM - T.

Fecha de recepción del documento.

10 / 02 2021

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTÍN – T.
Repositorio Digital de Ciencia, Tecnología e Innovación de Acceso Abierto – UNSM-T.

.....
Ing. M. Sc. Alfredo Ramos Perea
Responsable

***Acceso abierto**: uso lícito que confiere un titular de derechos de propiedad intelectual a cualquier persona, para que pueda acceder de manera inmediata y gratuita a una obra, datos procesados o estadísticas de monitoreo, sin necesidad de registro, suscripción, ni pago, estando autorizada a leerla, descargarla, reproducirla, distribuirla, imprimirla, buscarla y enlazar textos completos (Reglamento de la Ley No 30035).

** **Acceso restringido:** el documento no se visualizará en el Repositorio.

Formato de autorización NO EXCLUSIVA para la publicación de trabajos de investigación, conducentes a optar grados académicos y títulos profesionales en el Repositorio Digital de Tesis

1. Datos del autor:

Apellidos y nombres: Chong Pinedo Eduardo Francisco	
Código de alumno : 083146	**Teléfono:** 949960049
Correo electrónico : edu_14al@hotmail.com	**DNI:** 46726202

(En caso haya más autores, llenar un formulario por autor)

2. Datos Académicos

Facultad de: Ingeniería Civil
Escuela Profesional de: Ingeniería Civil

3. Tipo de trabajo de investigación

Tesis	(X)	Trabajo de investigación	( )
Trabajo de suficiencia profesional	( )		

4. Datos del Trabajo de investigación

Titulo : Diseño de concreto 175 Kg/cm², 210 Kg/cm² y 280 kg/cm², con agregado grueso del río Huallaga y agregado fino del río Sisa
Año de publicación: 2019

5. Tipo de Acceso al documento

Acceso público *	(X)	Embargo	( )
Acceso restringido **	( )		

Si el autor elige el tipo de acceso abierto o público, otorga a la Universidad Nacional de San Martín – Tarapoto, una licencia **No Exclusiva**, para publicar, conservar y sin modificar su contenido, pueda convertirla a cualquier formato de fichero, medio o soporte, siempre con fines de seguridad, preservación y difusión en el Repositorio de Tesis Digital. Respetando siempre los Derechos de Autor y Propiedad Intelectual de acuerdo y en el Marco de la Ley 822.

En caso que el autor elija la segunda opción, es necesario y obligatorio que indique el sustento correspondiente:

6. Originalidad del archivo digital.

Por el presente dejo constancia que el archivo digital que entrego a la Universidad Nacional de San Martín - Tarapoto, como parte del proceso conducente a obtener el título profesional o grado académico, es la versión final del trabajo de investigación sustentado y aprobado por el Jurado.

7. Otorgamiento de una licencia *CREATIVE COMMONS*

Para investigaciones que son de acceso abierto se les otorgó una licencia *Creative Commons*, con la finalidad de que cualquier usuario pueda acceder a la obra, bajo los términos que dicha licencia implica

https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.5/pe/

El autor, por medio de este documento, autoriza a la Universidad Nacional de San Martín - Tarapoto, publicar su trabajo de investigación en formato digital en el Repositorio Digital de Tesis, al cual se podrá acceder, preservar y difundir de forma libre y gratuita, de manera íntegra a todo el documento.

Según el inciso 12.2, del artículo 12º del Reglamento del Registro Nacional de Trabajos de Investigación para optar grados académicos y títulos profesionales - RENATI **"Las universidades, instituciones y escuelas de educación superior tienen como obligación registrar todos los trabajos de investigación y proyectos, incluyendo los metadatos en sus *repositorios institucionales precisando si son de acceso abierto o restringido, los cuales* serán posteriormente recolectados por el Repositorio Digital RENATI, a través del Repositorio ALICIA"**.

.....
Firma y huella del Autor

---

8. Para ser llenado en el Repositorio Digital de Ciencia, Tecnología e Innovación de Acceso Abierto de la UNSM - T.

Fecha de recepción del documento.

10 / 02 / 2021

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTÍN – T.
Repositorio Digital de Ciencia, Tecnología e Innovación de Acceso Abierto – UNSM-T.

.....
Ing. M. Sc. Alfredo Ramos Perea
Responsable

***Acceso abierto**: uso lícito que confiere un titular de derechos de propiedad intelectual a cualquier persona, para que pueda acceder de manera inmediata y gratuita a una obra, datos procesados o estadísticas de monitoreo, sin necesidad de registro, suscripción, ni pago, estando autorizada a leerla, descargarla, reproducirla, distribuirla, imprimirla, buscarla y enlazar textos completos (Reglamento de la Ley No 30035).

** **Acceso restringido:** el documento no se visualizará en el Repositorio.

Dedicatoria

A mis queridos abuelitos, ***Reynaldo y Enedina*** *quienes, con su amor incondicional, ejemplo y confianza creyeron en mis todos estos años. Todo lo que soy, lo que tengo se lo debo a ustedes*

A mi amada madre ***Leny,*** *quien, con su amor, trabajo, esfuerzo y conocimientos impartidos, lograron convertirme en un gran profesional y mejor persona, por enseñarme a no rendirme nunca ante las adversidades.*

Eduardo Francisco Chong Pinedo

A mis adorado padres, ***Helen y Nicolás,*** *quien con su gran fortaleza fueron el motor que me permitió avanzar incluso en los momentos más difíciles. Gracias desde el fondo de mi corazón.*

Rina Sánchez García

Agradecimiento

*A **mi familia** por darme el apoyo incondicional emocional, económico y sentimental para por lograr esta meta, la que definitivamente no hubiese podido ser realidad sin su ayuda*

*A **Dios** por estar siempre presente*

*A la **Universidad Nacional de San Martin** por permitir convertirme en un profesional gracias a las enseñanzas impartidas por los docentes de la **Escuela Profesional de Ingeniería Civil,** quienes me brindaron los conocimientos académicos necesarios en mi formación profesional*

Eduardo Francisco Chong Pinedo

*A **Dios** por haberme dado el tiempo necesario para realizar esta investigación, por haberme permitido conocer a muchas personas que colaboraron con nosotros para hacer uno de mis sueños realidad y porque en todo momento él siempre estuvo conmigo.*

Rina Sánchez García

Índice general

Pág.

Dedicatoria....vi
Agradecimiento....vii
Indice general....viii
Índice de tablas....x
Índice de figuras....xi
Resumen....xiii
Abstract....xiv

Introducción....1

CAPITULO I: REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA....3
1.1. Planteamiento del problema....3
1.2. Formulación del problema ….....4
1.3. Objetivos....4
1.3.1. Objetivo general....4
1.3.2. Objetivos específicos....4
1.4. Justificación Del Proyecto....5
1.4.1. Justificación teórica....5
1.4.2. Justificación práctica....5
1.4.3. Justificación metodológica....5
1.4.4. Justificación de viabilidad....5
1.4.5. Justificación social....6
1.5. Limitaciones....6
1.6. Antecedentes de la Investigación....6
1.6.1. Nivel de Internacional....6
1.6.2. Nivel Nacional....9
1.6.3. Nivel local....10
1.7. Bases teóricas....11
1.7.1. Concreto....11
1.7.2. Cemento portland....27
1.7.3. Agregados....37
1.7.4. Agua....40

1.8. Marco Conceptual....42
1.9. Hipótesis y variables....46
1.9.1. Hipótesis....46
1.10. Sistema de variables....46
1.10.1. Variable independiente....46
1.10.2. Variable dependiente....46
1.10.3. Variable interviniente....46

CAPÍTULO II: MATERIAL Y MÉTODOS....47
2.1. Tipo de investigación....47
2.1.1. Tipo....47
2.1.2. Nivel....47
2.2. Población y muestra....47
2.2.1. Población....47
2.2.2. Muestra....47
2.2.3. Método de muestreo....48
2.2.4. Criterios de evaluación de la muestra....48
2.3. Diseño del método de investigación....48
2.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos....49
2.4.1. Metodología para la selección de los agregados de las canteras....49
2.4.2. Ensayos de los agregados....50
2.4.3. Mitología para el diseño de mezcla (A.C.I. 211.1)....71
2.4.4. Validez y confiabilidad de la metodología....77
2.4.5. Técnicas de procesamiento y análisis de datos....83

CAPITULO III: RESULTADOS Y DISCUSIÓN....84
3.1. Resultados....84
3.1.1. Ensayos físicos y mecánicos en los agregados....84
3.1.2. Ensayos químicos en los agregados....88
3.1.3. Diseño de mezcla de concretos....89
3.1.4. Elaboración de probetas de concreto....105
3.1.5. Cálculo de la resistencia a la compresión....108
3.1.6. Evolución de la resistencia del concreto....120
3.1.7. Control estadístico....122

3.1.8. Prueba t-Student....124
3.2. Discusión....131
3.2.1. Agregados....131
3.2.2. Diseño de mezcla del concreto....131
3.2.3. Consistencia del concreto....131
3.2.4. Numero de muestra de probetas de concreto....132
3.2.5. Peso unitario del concreto....132
3.2.6. Control estadístico....132
3.2.7. Validez y confiabilidad del método....132
3.2.8. Contrastación de la hipótesis....132

CONCLUSIONES....133

RECOMENDACIONES....134

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS....135

ANEXOS....137

Índice de tablas

Pág.

Tabla 1 Clases de mezclas según su asentamiento 13
Tabla 2 Granulometría del agregado fino 33
Tabla 3 Composición química de la arena 35
Tabla 4 Requisito granulométrico del agregado grueso 37
Tabla 5 Límites químicos opcionales para el agua de mezcla combinada 42
Tabla 6 Cantidad de muestra a ensayar 48
Tabla 7 Peso mínimo de la muestra de ensayo 53
Tabla 8 Cantidad mínima de la muestra de agregado grueso 55
Tabla 9 Capacidad de los recipientes 57
Tabla 10 Cantidad Mínima de Material para el Ensayo 60
Tabla 11 Peso Mínimo Requerido de Agregado Fino 66
Tabla 12 Peso Mínimo Requerido de Agregado Grueso 67
Tabla 13 Límites permisibles para el agua de mezcla y curado 69
Tabla 14 Resistencia a la compresión requerida 73
Tabla 15 Asentamientos recomendados para diversos tipos de estructuras 73
Tabla 16 Requerimientos aproximados de agua de mezclado y de contenido de aire para diferentes valores de asentamiento y tamaños máximos nominales de agregado 74
Tabla 17 Correspondencia entre la relación agua/cemento y la resistencia a la compresión 75
Tabla 18 Volumen de agregado grueso por volumen de concreto 76
Tabla 19 Distribución t-Student 83
Tabla 20 Granulometría del agregado fino 84
Tabla 21 Granulometría del agregado grueso 85
Tabla 22 Peso específico y absorción del agregado fino 86
Tabla 23 Peso específico y absorción de agregado grueso 86
Tabla 24 Densidad de masa (peso unitario) suelta del agregado fino 86
Tabla 25 Densidad de masa (peso unitario) compactado del agregado fino 87
Tabla 26 Densidad de masa (peso unitario) suelto del agregado grueso 87
Tabla 27 Densidad de masa (peso unitario) compactado del agregado grueso 87
Tabla 28 Arcilla en terrones y partículas desmenuzables (friables) en el agregado fino 87
Tabla 29 Arcillas en terrones y partículas desmenuzables (friables) en el agregado grueso 88
Tabla 30 Durabilidad del agregado fino por medio de sulfato de magnesio 88

Tabla 31 Durabilidad del agregado grueso por medio de sulfato de magnesio.....88
Tabla 32 Resistencia a la compresión del concreto f'c=175 kg/cm a los 7 días 108
Tabla 33 Resistencia a la compresión del concreto f'c=210 kg/cm a los 7 días 109
Tabla 34 Resistencia a la compresión del concreto f'c=280 kg/cm a los 7 días 109
Tabla 35 Resistencia a la compresión del concreto f'c=175 kg/cm a los 14 días 110
Tabla 36 *Resistencia a la compresión del concreto f'c=210 kg/cm a los 14 días* 110
Tabla 37 Resistencia a la compresión del concreto f'c=280 kg/cm a los 14 días 111
Tabla 38 Resistencia a la compresión del concreto f'c=175 kg/cm a los 28 días 111
Tabla 39 Resistencia a la compresión del concreto f'c=210 kg/cm a los 28 días 114
Tabla 40 Resistencia a la compresión del concreto f'c=280 kg/cm a los 28 días 117
Tabla 41 Control estadístico del concreto 210 kg/cm2 122
Tabla 42 t-Student de concreto 175 kg/cm2 y concreto 210 kg/cm2 125
Tabla 43 t-Student de concreto 175 kg/cm2 y concreto 280 kg/cm2 127
Tabla 44 t-Student de concreto 210 kg/cm2 y concreto 280 kg/cm2 129

Índice de figuras

Pág.

Figura 1. Curva de resistencia a la compresión en función del tiempo 18
Figura 2. Curva esfuerzo deformación 23
Figura 3. Curva granulométrica del agregado fino 84
Figura 4. Curva granulométrica del agregado grueso 85
Figura 5. Evolución de la resistencia a la compresión de los concretos a los 7 días 120
Figura 6. Evolución de la resistencia a la compresión de los concretos a los 14 días 120
Figura 7. Evolución de la resistencia a la compresión de los concretos a los 28 días 121
Figura 8. Evolución de la resistencia a la compresión promedio de los concretos a través del tiempo 121
Figura 9. Desviación estándar (dispersión) de las resistencias a la compresión del concreto de control (patrón) 124

Resumen

El presente trabajo de investigación tuvo como objetivo principal realizar el diseño de concreto 175 Kg/cm^2, 210 Kg/cm^2 y 280, Kg/cm^2, con materiales de diferentes canteras, mediante la combinación de agregados de dos ríos, para finalmente obtener un diseño de mezcla óptimo de acuerdo a las características de los elementos. Se inició con el análisis de las propiedades físicas y químicas de las muestras tomadas en las canteras y la elaboración de probetas de concreto en el orden de; agregado fino del rio Sisa, agregado grueso rio Huallaga. Seguidamente se procedió con su rotura a los 7 días, 14 días y 28 días respectivamente con la finalidad de obtener un resultado ideal y por consiguiente más adecuado según la cantidad de agregado que se utilice de cada cantera y la resistencia a la compresión obtenida. Al finalizar los ensayos, la dosis óptima en el incremento de la relación A/C es de 1.25% de la relación patrón que se obtuvo del Método ACI. El método ACI para el diseño de los Mezclas de concreto nos permitió mediante sus criterios estimar las cantidades aproximadas de los materiales para la elaboración de los especímenes requeridos en la obtención de los diseños de concreto de 175 kg/cm2, 210 kg/cm^2 y 280 kg/cm^2.

Palabras clave: Agregado, grueso, fino, concreto, diseño, mezclas, resistencia, compresión.

Abstract

The main objective of this research work was to design concrete 175 Kg/cm^2, 210 Kg/cm^2 and 280, Kg/cm^2, with materials from different quarries, by combining aggregates from two rivers, to finally obtain a design Optimum mixing according to the characteristics of the elements. It began with the analysis of the physical and chemical properties of the samples taken in the quarries and the elaboration of concrete specimens in the order of; fine aggregate from the Sisa river, coarse aggregate from the Huallaga river. It was then broken at 7 days, 14 days and 28 days respectively in order to obtain an ideal result and therefore more appropriate according to the amount of aggregate used from each quarry and the compressive strength obtained. At the end of the tests, the optimum dose in the increase of the A / C ratio is 1.25% of the standard ratio obtained from the ACI Method. The ACI method for the design of concrete mixtures allowed us through its criteria to estimate the approximate quantities of materials for the elaboration of the specimens required in obtaining the concrete designs of 175 kg/cm^2, 210 kg/cm2 and 280 kg/cm^2.

Key words: Aggregate, coarse, fine, concrete, design, mixtures, resistance, compression.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTIN - CENTRO DE IDIOMAS
Dirección

Introducción

La presente investigación se centra en el diseño de concretos de 175 Kg/cm2, 210 Kg/cm2 y 280 Kg/cm2 basada en la combinación de agregados de dos ríos diferentes, dicha combinación y diseño son los que se buscan mejorar para alcanzar mayor calidad y resistencia posible, sin embargo, también podemos precisar que los cambios producidos, no solo incitan a la búsqueda de un mayor conocimiento, sino que también se desarrollan más alternativas que contribuyen con los detalles para llegar al objetivo principal.

La problemática a investigar se define por la poca información de la combinación de agregados de dos ríos diferentes. Por lo que esta temática es primordial para el diseño de construcciones especiales y de que las que necesiten utilizar esta modalidad.

Según la metodología, el diseño de mezcla de concreto, se estableció de acuerdo a lo indicado en las normas técnicas peruanas y siguiendo la secuencia metodológica propuesta por el Comité ACI 211.1, e investigaciones realizadas a nivel nacional e internacional; para el uso de agregados, insumos y materiales que se contemplan en el diseño, como para la elaboración misma del concreto.

Todos los ensayos de diseños se realizaron en el Laboratorio de Mecánica de Suelos, Pavimentos y Concreto de la Facultad de Ingeniería Civil y Arquitectura de la Universidad Nacional de San Martin - Tarapoto, dando inicio con la obtención de la propiedades físicas y químicas de los agregados fino y grueso provenientes de las canteras del rio Huallaga y rio Sisa, para luego diseñar una proporción inicial de agregados en base a un diseño teórico, ajustándose en dos repeticiones llegando a un diseño definitivo.

Por todas estas razones, es de esperar que la presente Tesis sirva como ejemplo en el progreso y mejoramiento de la Tecnología del Concreto, procurando siempre que todos los conocimientos y referencias aprendidas sean puestos en práctica, dado que es la única forma de garantizar que el avance obtenido en el presente trabajo de investigación, hoy en día, se pueda apreciar y además sirva a las futuras generaciones de ingenieros civiles, ya que con el transcurrir del tiempo quizás quede obsoleto ante los nuevos avances tecnológicos en las metodologías para alcanzar una óptima calidad en el diseño del concreto.

La tesis contiene los siguientes capítulos: Capítulo I: Se contempla el planteamiento del problema, formulación del problema, objetivos, justificación de la investigación y limitaciones. Así como los aspectos teóricos relacionados con el título, investigaciones internacionales y nacionales, términos y conceptos que permiten ver por qué y el cómo de la investigación; finalmente se presenta la hipótesis. En el capítulo II: Se abordó los materiales y la metodología que se utilizó, así como la población y muestra, proveyendo suficiente información para que el experimento pueda repetirse y de esa manera la presente investigación pueda validarse. En el capítulo III: Se indica de manera precisa y sin comentarios los resultados obtenidos destacando solo los aspectos más relevantes, dando respuesta a los problemas y objetivos, lo que será el motor de esta investigación.

CAPÍTULO I
REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

1.1 Planteamiento del problema

En los últimos años se han intensificado la ejecución de obras civiles en la región San Martin y por supuesto a nivel nacional por lo que también se ha intensificado la utilización del concreto, en la actualidad existen varios métodos para dosificar el concreto a su vez múltiples formas de contrarrestar la generación de micro fisuras en estructuras de concreto y que son muchas las causas por la que se originan ya sean internas (calidad de agregados, proporcionamiento, etc.) en el presente trabajo se realizaran ensayos mediante los métodos ACI, para obtener el diseño de mezcla de concreto F´C 175 kg/cm2, F´C 210 kg/cm2 y F´C 280 kg/cm2 mediante la combinación de agregados de dos diferentes canteras en la Región San Martín.

Para los diseños elaborados de Resistencia a la Comprensión en las diferentes estructuras de un proceso constructivo, implican un gran costo en la construcción y/o elaboración de este, por solo contar con los agregados de nuestra Región, específicamente de una variedad de canteras que ofrecen estos, insumos de todo tipo de calidad, ya sea en resistencia y costo.

Debido a nuestras limitaciones no se usan concretos de alta resistencia como en los países desarrollados, en el que usan tecnología de punta para mejorar la calidad de los insumos y adicionalmente el incremento de aditivos especiales para su mejor desempeño ante solicitaciones de diseño especiales.

Considerando que la explotación de agregados en nuestra región y país, se lleva a cabo con mínimo y en ocasiones ningún tipo de control de calidad que aseguren que el material obtenido cumpla con los requisitos de las normas técnicas empleadas en nuestro país, la presente investigación tiene como propósito estudiar los diferentes tipos de agregados que se pueden obtener de dos canteras diferentes para ser combinadas, elaborando un diseño de mezcla de alta resistencia con estos, y evaluar los resultados con el fin de optimizar las cantidades y los costos disponibles en el diseño final; contribuyendo así en dar a conocer que es posible producir concreto de alta resistencia con materiales combinados de la zona y las bondades que estos puedan ofrecer.

1.2 Formulación del problema

A lo largo de los años se ha incrementado la necesidad de producir una mayor resistencia a la compresión en los elementos de concreto debido a las exigencias del mundo moderno, lo que genera elevados costos en materiales y agregados de cantera. Por eso, hoy en día se estudia la posibilidad trabajar con agregados de canteras locales con el objetivo de aminorar costos, incrementar su durabilidad o resistencia de este material.

Por lo que es importante establecer Especificaciones técnicas para lograr diseños de concretos capaz de superar y establecerse en obras de construcción en nuestra Región, mediante la selección y combinación de dos canteras diferentes que podrían ser un alcance para posteriores investigaciones en cuanto a diseños de concretos con la utilización de canteras de nuestra Región.

Las consideraciones expuestas anteriormente nos llevan a plantear la siguiente pregunta

"¿Se podrá establecer especificaciones para obtener diseños de concretos de 175 Kg/cm2, 210 Kg/cm2, 280 Kg/cm2 concretos de alta resistencia utilizando combinaciones de Agregados de dos canteras distintas?"

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo general

Determinar, mediante ensayos, la dosificación y especificaciones para el diseño de concretos F´C 175 Kg/cm2, F´C 210 Kg/cm2 y F´C 280 Kg/cm2 utilizando la combinación de las canteras del Huallaga y del Sisa.

1.3.2 Objetivos específicos

- Determinar las propiedades físicas-mecánicas y químicas de los agregados de las canteras
- Seleccionar el agregado adecuado, de acuerdo a las especificaciones técnicas revisadas, procediendo con la evaluación de la cantera del rio Huallaga y del rio Sisa, Apoyados de las Normas ATSM y de los criterios Preestablecidos.

- Determinar la influencia de los agregados de diferentes procedencias sobre la resistencia del concreto.
- Determinar la influencia del diseño de mezcla sobre la resistencia del concreto.
- Diseñar las mezclas de los concretos **175 Kg/cm2, 210 Kg/cm2 y 280 Kg/cm2**, utilizando las combinaciones de los agregados fino y grueso de las canteras propuestas en la presente investigación.

1.4 Justificación de la investigación

1.4.1 Justificación teórica

Esta investigación aportará al conocimiento existente los resultados del análisis de la resistencia a la compresión de los concretos **175 Kg/cm2, 210 Kg/cm2 y 280 Kg/cm2** con la combinación de dos canteras diferentes de la Región, el cual constituye un aporte teórico importante para la comunidad dedicada a la ingeniería e investigación de materiales alternativos para la elaboración del concreto.

1.4.2 Justificación práctica

Este trabajo de investigación que tiene como necesidad de convertirse en un referente para los futuros diseños de mezcla con técnicas alternativas en nuestra Región, ya que es posible superar la resistencia a la compresión con un concreto convencional, de acuerdo a los resultados obtenidos.

1.4.3 Justificación metodológica

La presente tesis de investigación metodológicamente busca aplicar correctamente los insumos de la zona por parte del investigador y las instalaciones adecuadas en el laboratorio de ensayo de materiales.

1.4.4 Justificación de viabilidad

Esta investigación busca el desarrollo y difusión de la combinación de agregados en el diseño de concreto para obtener alta resistencia en los elementos estructurales, con materiales de fácil adquisición y de abundancia local.

1.4.5 Justificación social

La investigación beneficiará a la comunidad en general dedicadas a la construcción y brindará a la población un concreto de contribuirá con la viabilidad y accesibilidad económica de sus agregados y materiales locales.

1.5 Limitaciones

- El presente trabajo de investigación está limitado al análisis de la resistencia a la compresión y diseño de mezcal de los concretos **175 Kg/cm2, 210 Kg/cm2 y 280 Kg/cm2,** con la combinación de agregados grueso y fino de dos canteras diferentes.
- Uso del agregado grueso de la cantera del rio Huallaga.
- Uso del agregado fino de la cantera del rio Sisa.

1.6 Antecedentes de la investigación

1.6.1 Nivel internacional

Víctor M. Absalón F. y Ringo A. Salas R. (2008), el propósito fundamental fue estudiar la influencia de la calidad de los agregados pétreos ubicados en el Estado de Mérida sobre la resistencia sobre la resistencia a la compresión del concreto, realizando ensayos comparativos entre un concreto fabricado con agregados de la cantera A (Premezclados Occidente C.A.) y un concreto fabricado con agregados de la cantera B (Agregados Mérida C.A) variando las resistencias de diseño empleadas, para lo cual se realizó 60 mezclas de concreto y 180 cilindros de ensayo.

Las propiedades del concreto que se estudiaron fueron la trabajabilidad y la resistencia a la compresión a los 7 días y a los 28 días. Los resultados permitieron concluir que en el concreto realizado con agregados de la cantera A, presento poca trabajabilidad debido a la gran cantidad de tamaños cercanos al tamaño máximo nominal del agregado; en el concreto endurecido, los resultados de la resistencia a compresión fueron los esperados ene le diseño de mezcla, todo esto, a diferencia del concreto con agregados de la cantera B que presento mejor trabajabilidad pero bajas resistencias a la compresión, es de hacer notar que existen variables en la calidad de los agregados que no están incluidas en las fórmulas de diseño de mezcla que afectan directamente las propiedades mecánicas del concreto.

Romel G. Solís, Erick I. Moreno y Erick Arjona O. (2008); la resistencia a la compresión del concreto es el principal parámetro utilizado para medir la calidad de este material. Desde los primeros años en los que el concreto se empezó a utilizar como material estructural se encontró que la relación entre el agua y el cemento, utilizados en la mezcla, tiene una gran influencia en la resistencia del concreto. Posteriormente, otros estudios mostraron que la combinación óptima entre los agregados gruesos y finos, buscando la mayor compacidad entre éstos, también era un factor que afecta a la calidad del concreto. Este trabajo presenta un estudio de la resistencia del concreto manipulando tres variables: la relación entre el agua y el cemento (a/c), la relación entre la grava y la arena (g/a) y el banco de origen de los agregados. Se utilizaron valores de a/c y de g/a en un rango posible para la fabricación del concreto y varios tipos de agregados calizos triturados de la Península de Yucatán, mismos que podrían presentar características no usuales, en un diseño factorial. Se encontró influencia significativa de a/c y el banco de origen de los agregados en la resistencia del concreto.

María Pilar Aleajos G. y Susana Fernández García, (2006), su investigación consistió en la realización de ensayos con el fin de determinar como la absorción es quizás la propiedad del agregado que más influye en la consistencia del concreto, puesto que las partículas absorben agua directamente en la mezcladora, disminuyendo la manejabilidad de la mezcla. Si dos tipos de agregados tienen absorción similar, otros factores secundarios serán de importancia en la consistencia de la mezcla, tales como forma, tamaño y graduación; ya que mientras mayor superficie de agregado sea necesario cubrir con pasta, se tendrá menos fluidez. Una buena consistencia y manejabilidad de la mezcla se obtiene con la combinación de índices bajos de absorción y un coeficiente bueno de forma, en donde las partículas son aproximadamente redondas.

El presente estudio es un aporte importante para el desarrollo de la investigación, por cuanto los resultados de la misma referidos a la absorción permiten tener un patrón de comparación a la hora de analizar los resultados obtenidos en el presente estudio.

Alatorre J., Uribe R (2004), señalo que las formas de los agregados tienen incidencia sobre la trabajabilidad del concreto fresco y que las que mayor problema pueden generar son las partículas conocidas como piezas planas y alargadas, ya que revocan disminución en la trabajabilidad porque se orientan en un solo plano, de manera que el agua y los espacios

porosos pueden acumularse debajo de ellas. Esta investigación guarda relación con el estudio, por cuanto la experiencia realizada se fundamenta en el estudio del comportamiento del concreto cuando se usan agregados diferentes.

Kosmatka Steven H. y Panarese Willian C. (2003), dieron a conocer que la granulometría y el tamaño máximo del agregado para las gravas afectan las porciones relativas de los agregados, así como los requisitos de agua y cemento, la trabajabilidad la economía y durabilidad del concreto. Cuando los agregados son muy gruesos, pueden producir mezclas rígidas; mientras que los agregados que no poseen una gran deficiencia o exceso de algún tamaño y tienen una curva granulométrica suave, producirán resultados más satisfactorios en las propiedades del concreto fresco.

Mendoza Camey, V. (2008), En su investigación "Evaluación de la calidad de agregados para concreto, en el departamento de Totonicapán" realizada en Guatemala. Tiene como objetivo: Evaluar las propiedades físicas, mecánicas, químicas y mineralógicas de dos canteras de agregados utilizados en la construcción, aplicando cuatro normas ASTM (Asociación Americana para Pruebas de Materiales), para determinar su calidad como agregados para concreto. Los ensayos realizados fueron resistencia a la abrasión e impacto, examen petrográfico y método estándar para reactividad potencial de los agregados. Las conclusiones obtenidas fueron conforme a la recopilación de los resultados y a la caracterización de las canteras, se determinó que las muestras de agregado fino no cumplen con algunas de las especificaciones de las normas correspondientes por lo tanto son consideradas inadecuadas para mezcla de concreto.

Sanguero Girón, R. (2004), en su investigación "Examen de calidad de agregados para concreto de dos bancos en la ciudad de Quetzaltenango" realizada en Guatemala. Tiene como objetivo evaluar las propiedades físicas, mecánicas y químicas de dos bancos (canteras) de agregados utilizados en la industria de la construcción. Se obtuvo para el agregado fino según los límites que establece la norma ASTM C33: El contenido de materia orgánica según la clasificación colorimétrica fue 5, por lo tanto, no cumple con el límite que es 3. El porcentaje que pasó por el tamiz N°200 fue 16.0% siendo el límite 7%, por lo tanto, no cumple. El módulo de finura es 1.8, la especificación indica que debe estar entre 2.3 y 3.1 por lo tanto no cumple. Al realizar el ensayo utilizando la máquina de Los Ángeles se obtuvo un desgaste del 65%, la norma establece que no debe ser más del 50%, por lo tanto,

no cumple e indica que se tiene un agregado grueso con poca dureza y tenacidad no apto para concreto estructural. El ensayo de reactividad potencial en ambas muestras fue inocuo, lo cual indica que los minerales silícicos que posee esta roca no producirán una reacción dañina con los álcalis del cemento Portland.

Uribe (1991), señalo que la presencia de un porcentaje importante de materia orgánica en los agregados puede provocar problemas en la fabricación de concreto, ya que trae consigo efectos como inhibir la adecuada hidratación de cemento y por tanto causar un retraso en el endurecimiento del mismo. Los agregados contaminados pueden ser causa de reducción de la resistencia a la compresión del concreto; y además pueden contener sustancias nocivas que afecten químicamente al material de diversas formas.

1.6.2 Nivel Nacional

Hoyos Quiroz, E. (2013), en su investigación "Estudio de los agregados de cantera "Cruce Chanango" de la ciudad de Jaén - Cajamarca, para su uso en la elaboración de Concreto f´c 210 kg/cm² realizada en Perú. Tiene como objetivo determinar las propiedades físicas y mecánicas de la cantera Cruce Chanango de la ciudad de Jaén, para determinar su uso en la elaboración de un concreto de calidad y aplicar los parámetros de las propiedades físicas y mecánicas para la dosificación y realización en laboratorio de un concreto con resistencia a la comprensión f´c=210 kg/cm², y calcular la relación agua/cemento que más se ajuste a las propiedades físicas y mecánicas de los agregados en estudio. Los ensayos realizados fueron: análisis granulométrico, contenido de humedad, peso específico y absorción, abrasión, durabilidad al sulfato de sodio y magnesio, impurezas orgánicas y sales solubles. Los resultados fueron: respecto a la resistencia a la abrasión, los agregados en estudio cuentan con la dureza suficiente ya que presentan una pérdida del 12% de desgaste ante la abrasión de la máquina de los Ángeles. En el ensayo de durabilidad los resultados obtenidos para el agregado fino son: una pérdida de 8.30%, y para el agregado grueso es de 6.9%, la norma ASTM C33, establece que para el agregado fino sometido a los cinco ciclos no tendrá una pérdida en peso, no mayor del 10%, mientras que para el agregado grueso la pérdida en peso no será mayor de 12% y se obtuvo una relación agua/cemento de 0.54 para el diseño de mezcla f'c 210 kg/cm²

Sánchez Muñoz, F. y Tapia Medina, R. (2015), En su investigación "Relación de la resistencia a la compresión de cilindros de concreto a edades de 3, 7, 14, 28 y 56 días respecto a la resistencia a la compresión de cilindros de concreto a edad de 28 días" realizada en el Perú. Los agregados empleados en la investigación fueron extraídos de la cantera del Rio Bado, ubicado en la provincia de Sánchez Carrión – Departamento de La Libertad. El método empleado en el presente trabajo, se basa en la norma elaborado por el comité ACI (American Concrete Institute) 211. La resistencia seleccionada fue de 210 kg/cm², relación agua/cemento: 0.80, asentamiento máximo: 3", tamaño máximo del agregado: ¾", estimación de agua de mezclado: 216 kg/m³, contenido de cemento: 270 kg/m³ – 6.35 bolsas, módulo de fineza: 2.92, volumen de agregado: 0.608, peso de agregado grueso compactado: 1004.27 kg/m³. Teniendo como dosificación recomendada en volumen cemento: agregado fino: agregado grueso: agua, lo siguiente: 1: 2.50: 3.30: 1.10.

Arangurí Castillo, G. (2016), en su artículo "La importancia del uso de agregados provenientes de canteras de calidad" realizada en Perú. Tiene como objetivo enfatizar la importancia del agregado usado en construcción, que garantice un estudio previo de sus canteras, a través de ensayos de laboratorio que determinen sus características y especifiquen su uso. Los métodos empleados para la realización del artículo son descriptivos y están enfocados básicamente en lo siguiente: Información proporcionada por diarios nacionales sobre el uso informal de canteras de materiales no metálicos, visita a obras de la localidad, identificando que sus agregados no cuentan con ensayos ni proporcionan referencia concreta de su origen e información proporcionada por el Ministerio de Transportes y Comunicaciones sobre los ensayos mínimos y necesarios en los materiales usados en construcción y carreteras. Concluye que: Las canteras ilegales son el punto inicial de una mafia de la construcción, que perjudica a los usuarios y que implica daño ambiental, evasión tributaria, y lo más importante: proporciona material de mala calidad, que no cumple con la normatividad vigente y otorga un producto final de mala calidad.

1.6.3 Nivel local:

Eduardo Pinchi (1997), desde que se presentó la Tesis de "Mezclas de Concreto y sus resultados en la cuidad de Tarapoto" se abrió una ventana a la investigación para el estudio de diseño de mezclas con la intervención de dos canteras diferentes para su aprovechamiento

en obras de construcción civil, siendo este un primer peldaño en el desarrollo de investigación relacionados al estudio de las propiedades y características de los agregados**.**

Roger García (2011), aporta su tesis denominada "Diseño de Mezcla de concreto de f´c 280 kg/cm2 utilizando Aditivos", que ha permitido gradualmente abordar el tema de agentes químicos y aditivos para alcanzar las resistencias a la comprensión especificadas. Siendo este otro antecedente y alcance para el estudio del diseño de mezclas.

Roger Meléndez (1996), asegura que "Resultados Comparativos de diseños de Mezclas de Concreto con Agregados de los ríos Cumbaza y Huallaga" se orientan a fomentar la investigación de dos canteras para la elaboración de diseños de mezclas siempre dentro de los criterios permisibles de la Normas ASTM de agregados Grueso Y Fino, con criterios y Especificaciones; a trabajar para la obtención de concretos de diseños preestablecidos.

1.7 Bases teóricas

1.7.1 Concreto

Según **Flavio Abanto Castillo (2009),** 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.

CONCRETO = CEMENTO PORTLAND + AGREGADOS + AIRE + AGUA

El cemento y le agua reaccionan químicamente uniendo las partículas de los agregados, constituyendo un material heterogéneo. Algunas veces se añaden ciertas sustancias llamadas aditivos, que algunas veces mejoran o modifican algunas propiedades del concreto.

1.7.1.1 Propiedades del concreto en estado fresco

1.7.1.1.1 Trabajabilidad

Enrique Pasquel Carbajal (1998), menciona que está definida por la mayor o menor dificultad para el mezclado, transporte, colocación y compactación del concreto. Su evaluación es relativa, por cuanto depende realmente de las facilidades manuales o mecánicas de que se disponga durante las etapas del proceso, ya que un concreto que puede

ser trabajable bajo ciertas condiciones de colocación y compactación, no necesariamente resulta tal si dichas condiciones cambian.
Está influenciada principalmente por la pasta, el contenido de agua y el equilibrio adecuado entre gruesos y finos, que produce en el caso óptimo una suerte de continuidad en el desplazamiento natural y/o inducido de la masa.

Portugal Barriga (2007), manifiesta que encontrar una definición de trabajabilidad, es ya una idea muy subjetiva, las diferentes definiciones tratan de enlazar parámetros calificables según la perspectiva de cada evaluador, sin embargo, encontrar una definición adecuada para la trabajabilidad de los concretos de alto desempeño es necesaria, la definición propuesta por Glanville, Collins y Matthews nos dice que "la trabajabilidad se puede definir mejor como la cantidad de trabajo interno útil que se requiere para producir una compactación total", esta definición originada del supuesto que solo la fricción interna (esfuerzo de fluencia), es una propiedad intrínseca de la mezcla nos brinda una aproximación cuantitativa de la trabajabilidad, sin embargo define un estado ideal de compactación total la cual nunca se logrará, una corrección bastante simple a esta definición es la que a continuación proponemos, *"la trabajabilidad se puede definir como la cantidad de trabajo interno útil que se requiere para producir una compactación adecuada de la mezcla*".

1.7.1.1.2 Consistencia

Johana Belén Almeida Beltrán y Carolina Rebeca Trujillo Vivas (2017), la definen como la mayor o menor facilidad que tiene el concreto fresco para deformarse por acción de su propio peso. Esto depende del grado de fluidez que tenga la mezcla de hormigón y comprende desde la mezcla más seca hasta la mezcla más fluida, los factores que influyen para determinar la calidad de la mezcla son la cantidad de agua, la forma y tamaño de los agregados, y su granulometría.

1.7.1.1.2.1 Ensayo de consistencia del concreto

El ensayo de consistencia, llamado también de revenimiento o "Slump test", es utilizado para caracterizar el comportamiento del concreto fresco. Esta prueba, desarrollada por Duft Abrams; fue adoptada en 1921 por el ASTM y revisada finalmente en 1978.

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

Tabla 1
Clases de mezclas según su asentamiento

Consistencia	Slump	Trabajabilidad	Método de Compactación
Seca	0” a 2”	Poco trabajable	Vibración normal
Plástica	3” a 4”	Trabajable	Vibración ligera
Fluida	>5”	Muy trabajable	chuseada
			Chuseado

Fuente ABANTO F.(2009), “*Tecnología del concreto*, Lima, Perú, p. 49

Limitaciones de Aplicación

El ensayo de Abrams sólo es aplicable en concretos plásticos, con asentamiento normal (mezclas ricas y con un correcto dosaje de agua). No tiene interés en las siguientes condiciones:

- En el caso de concretos sin asentamiento, de muy alta resistencia.

- Cuando el contenido de agua es menor de 160 lt por m3 de mezcla.

- En concretos con contenido de cemento inferior a 250 kg/m3

- Cuando existe un contenido apreciable de agregado grueso de tamaño máximo que sobrepasa las 2.5”.

- Cuando el concreto contenga aditivos.

1.7.1.1.3 Compacidad

Gonzales García J.L. (2003), dice que es un factor característico de la trabajabilidad y está relacionado con la compactibilidad, y es la propiedad que debe tener todo concreto de modo que en un volumen fijo quepa la mayor cantidad de agregado grueso y la mayor cantidad de pasta. En estas condiciones se obtendrá un concreto muy denso de gran resistencia y más impermeable, es decir, muy estable cuando está endurecido.

1.7.1.1.4 Peso unitario

Aybar de la Torre (2017), señala que el peso unitario del concreto es el peso varillado por una unidad de volumen de una muestra representativa del concreto. Se expresa en kg/m^3.
El procedimiento para su determinación, consiste en llenar un molde de volumen determinado (muestra representativa), en tres capas sucesivas con 25 golpes cada capa y luego pesar. Entonces por definición.

Peso unitario del concreto es igual al peso total menos el peso del molde entre el volumen del molde.
De acuerdo al tipo de agregado utilizado, los concretos se clasifican en:

- Concreto Normales (2200 – 2500 Kg/m^3)
- Concretos Livianos (600 – 1800 kg/cm^3)
- Concretos Densos (2700 – 4500 kg/m^3)

1.7.1.1.5 Contenido de aire

El Instituto del Concreto (1997), señala que este elemento está presente en todos los tipos de concreto, localizado en los poros no saturables de los agregados y formando burbujas entre los componentes del concreto, bien sea por que es atrapado durante el mezclado o al ser intencionalmente incorporado por medio del uso de agentes inclusores, tales como cementos o aditivos incorporadores de aire.

El contenido de aire de un concreto sin agentes inclusores normalmente está entre el 1% y el 2% del volumen de la mezcla, mientras que en un concreto con inclusores pueden obtenerse contenidos de aire entre el 4% y el 8%.

1.7.1.1.6 Segregación

El Instituto del Concreto (1997), la define como la tendencia de separación de las partículas gruesas de la fase mortero del concreto y la colección de esas partículas deficientes de mortero en el perímetro del concreto colocado, esto por su falta de cohesividad, con lo cual su distribución y comportamiento deja de ser uniforme y homogéneo.

1.7.1.1.7 Exudación

Enrique Pasquel Carbajal (1998), menciona que es una propiedad por la cual una parte del agua de mezcla se separa de la masa y sube hacia la superficie del concreto. Es un caso típico de sedimentación en que los sólidos se asientan dentro de la masa plástica. El fenómeno está gobernado por las leyes físicas del flujo de un líquido en un sistema capilar, antes que el efecto de la viscosidad y la diferencia de densidades.

1.7.1.1.8 Cohesividad

Aybar de la Torre (2017), considera que es la propiedad del concreto fresco que trata de impedir la posible segregación de la mezcla durante el traslado, colocación y compactación de la misma. Desde el punto de vista físico y microscópico, se puede interpretar este fenómeno como las fuerzas de atracción entre las partículas del concreto, las cuales se transmiten a través del medio líquido que las rodea siendo éste "medio líquido" (pasta de cemento) no genera las fuerzas suficientes para mantener "ordenadas" a las partículas (agregados) separándose las livianas de las más pesadas originando segregación en la misma.

1.7.1.1.9 Estabilidad

Pasquel Carbajal (1993), agrega que es el desplazamiento o flujo que se produce en el concreto sin mediar la aplicación de fuerzas externas.

1.7.1.2 Propiedades del concreto en estado endurecido

1.7.1.2.1 Elasticidad

Rivva López (2012), señala que es la capacidad del concreto de deformarse bajo cargas sin tener deformación permanente se considera una medida de la resistencia del material a deformarse, ya que las mezclas más ricas tienen mayor módulo de elasticidad y por consiguiente mayor capacidad de deformarse que las mezclas pobres.

1.7.1.2.2 Resistencia

Enrique Rivva López (1992), menciona que la resistencia del concreto está definida como el máximo esfuerzo que puede ser soportado por dicho material sin romperse. Dado que el concreto está destinado principalmente a tomar esfuerzos de compresión, es la medida de su resistencia a dichos esfuerzos la que se utiliza como índice de su calidad

En general, prácticamente todas las propiedades del concreto endurecido están asociados a la resistencia y, en muchos casos, en función del valor de ella que se las cuantifica o cualifica. Sin embargo, debe siempre recordarse al diseñar una mezcla de concreto que muchos factores ajenos a la resistencia pueden afectar otras propiedades**.**

1.7.1.2.2.1 Factores que inciden en la resistencia

- **Relación agua – cemento**

La relación agua/cemento (a/c) en una mezcla de mortero o concreto se describe como la cantidad de agua en masa, sin incluir el agua absorbida por los agregados, sobre la cantidad de cemento en masa.

La resistencia del concreto está estrechamente relacionada con la relación a/c, de tal manera, que entre mayor sea el contenido de agua de mezclado, mayor será la cantidad que no se cambia con el cemento, y, por consiguiente, al disiparse la parte de agua evaporable la pasta será más porosa y la resistencia del concreto disminuirá.

- **Cantidad y tipo de cemento**

El contenido y tipo de cemento utilizado tiene gran influencia en la resistencia que finalmente conseguirá el concreto, debido a que el cemento es el material químicamente "activo" en la mezcla.

Lo más importante en lo que respecta al cemento es la cantidad dentro del concreto, porque en la medida que se aumenta se consiguen mayores resistencias. Esta afirmación se debe aplicar con precaución porque sólo es válida hasta un límite, a partir del cual, la cantidad de cemento por encima de éste no se hidrata totalmente y por tanto pasa a formar parte del concreto como un material inerte de relleno. Por otro lado, se ha demostrado que para mezclas con una baja relación agua/cemento, en los cuales se incrementa el contenido de este material a valores superiores a 470 kg/m3, se origina una disminución de la resistencia, en especial cuando de utiliza agregados de gran tamaño.

- **Características de los agregados**

Textura y forma

En general se puede decir que para una misma relación agua/cemento, las partículas de agregado con textura rugosa o de forma angular forman concretos más resistentes que otras redondeadas o lisas, debido a que hay más trabazón entre los granos gruesos y el mortero.

Granulometría

Una masa de agregados cuya granulometría sea continua, permite elaborar mezclas de alta compacidad, mucho más densas y por lo tanto se consiguen mayores resistencias.

Resistencia

Este factor y la rigidez propia del grano de agregado, también influyen en la resistencia del concreto.

Influencia del tamaño máximo

En general, la diferencia en tamaño máximo de un mismo tipo de agregado bien graduado tiene dos efectos opuestos en la resistencia a la compresión del concreto. En primer lugar, para una consistencia dada y para igual contenido de cemento, la utilización de tamaños mayores requiere menos agua de mezclado que los agregados de tamaño máximo menores. Por otro lado, mezclas con la misma consistencia e igual relación agua/cemento, presentan resistencias más bajas cuando se utilizan agregados de tamaño máximo mayor.

1.7.1.2.2.2 Resistencia a la compresión

Para Manuel Uriel Aspilcueta Asencios (2015), la resistencia a la compresión del concreto se puede definir como su capacidad para resistir esfuerzos axiales de compresión sin fallar. Este esfuerzo se genera por medio de la aplicación gradual de una fuerza de compresión al concreto. Llegará un momento en el cual las fuerzas internas del concreto alcancen un valor máximo que ya no puedan soportar la fuerza externa de compresión, es decir se encuentre a punto de fallar. Dicha máxima fuerza interna dividida entre el área del concreto expuesta a la carga externa se conoce como la resistencia a la compresión.

$\boldsymbol{F'c = \frac{P}{A}\,(kg/cm^2)}$**,** Resistencia a la compr**esión**

$A = \frac{\pi(\emptyset)^2}{4}$, Área de contacto

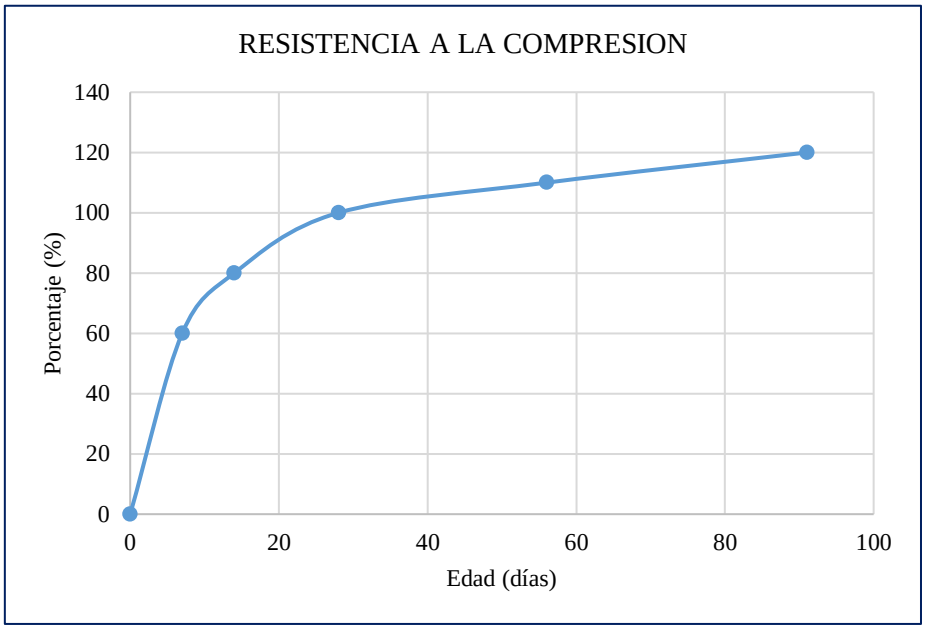

Figura 1. Curva de resistencia a la compresión en función del tiempo. (Fuente: Recuperado de Instituto del concreto (1997) "Tecnología y propiedades", Bogotá, Colombia. p. 135)

1.7.1.2.3 Impermeabilidad

Para Flavio Abanto Castillo (2009), es una importante propiedad del concreto que puede mejorarse, con frecuencia, reduciendo la cantidad de agua en la 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 (burbujas diminutas) así como un curado adecuado por tiempo prolongado, suelen aumentar la impermeabilidad.

1.7.1.2.4 Durabilidad

Flavio Abanto Castillo (2009), indica que el concreto debe ser capaz de resistir la intemperie, acción de productos químicos y desgaste, a los cuales estará sometido en el servicio. Gran parte de los daños por intemperie sufrido por el concreto pueden atribuirse a los ciclos de congelación y descongelación. La resistencia del concreto a esos daños puede mejorarse aumentando la impermeabilidad incluyendo de 2 a 6% de aire con un agente inclusor de aire, o aplicando un revestimiento protector a la superficie. Los agentes químicos, como ácidos inorgánicos, ácidos acético y carbónico y los sulfatos de calcio, sodio, magnesio, potasio, aluminio y hierro desintegran o dañan el concreto.

1.7.1.3 Aditivos químicos

Rivva López (1997), señala que los aditivos son ampliamente empleados en la producción de concretos de alta resistencia. Estos materiales incluyen agentes y adiciones químicas y minerales. Los primeros desarrollan un sistema de vacíos apropiados para incrementar la durabilidad.

Los aditivos químicos son generalmente producidos empleando lignosulfonatos, ácido hidroxilar carboxílico, carbohidratos, melamina y acetato condensado, y aceleradores orgánicos e inorgánicos de diversas formulaciones. La selección del tipo, marca y dosaje de los aditivos empleados deberá basarse en su comportamiento con otros materiales seleccionados para su uso en el proyecto de investigación, incrementos significativos en la resistencia en compresión, control de la velocidad de endurecimiento, ganancia acelerada de resistencia, mejora en la trabajabilidad y durabilidad, todas ellas contribuciones que pueden esperarse del aditivo o aditivos elegidos. El comportamiento en trabajos previos debe ser considerado durante la selección.

1.7.1.3.1 Superplastificante

Mario García Torres (2013), señala que estos son conocidos como aditivos reductores de agua de alto rango se encuentran especificados en ASTM C 494 y ASTM C 1017, los cuales tienen por finalidad reducir en forma importante el contenido de agua del concreto manteniendo una consistencia dada y sin producir efectos indeseables sobre el fraguado.

Se agregan a los concretos de agua/cemento bajo a normales para producir concretos fluidos de alto asentamiento
Los superplastificante son aditivos derivados de los formaldehidos melanina o naftaleno que tienen la propiedad de darle a la mezcla una gran plasticidad al liberar el agua sujeta a los otros materiales integrantes de ella.

También conocido como aditivo reductor de agua de alto rango, su empleo tiene por finalidad reducir en forma importante el contenido de agua del concreto manteniendo una consistencia dada y sin producir efectos indeseables sobre el fraguado. Igualmente se emplean para incrementar el asentamiento sin necesidad de aumentar el contenido de agua en la mezcla del concreto.

Rivva López (1997), añade que la dosificación depende del tipo y marca del producto y se recomienda seguir las recomendaciones del fabricante en cada caso. Su empleo permite reducir el agua en un 20% a 30%, aumentar la facilidad de manejo, y aumentar la resistencia a edades tempranas y finales.

1.7.1.4 Adicionales Minerales

1.7.1.4.1 Microsílice

Según el Comité 116 del ACI, se entiende por Microsílice a: "Una sílice no cristalina muy fina producida por hornos de arco eléctrico como un subproducto de la fabricación de silicio metálico o ferro silicio". Es un polvo fino de color gris y cumple con la Norma ASTM C1240.

Rivva López (1997), señala que el 93% de su composición es oxido de silicio (SiO2). No contiene cloruros y puede utilizarse en concretos y morteros en conjunto con un superplastificante para obtener la fluidez necesaria para la colocación del concreto. Como datos técnicos se tiene:

- Apariencia: polvo gris
- Gravedad específica: 2.20
- Superficie especifica (Blaine) 18000 a 22000 m2/Kg
- Partícula: Amorfa, de forma esférica.
- Finura (diámetro promedio): 0.1 a 0.2 µm.

Porcentaje que pasa 45 µm: 95-100%.

Las Microsílice y los aditivos conteniéndolas han sido empleados en concretos de alta resistencia para propósitos estructurales y para aplicaciones superficiales y como material de reparación en situaciones en las que la resistencia a la abrasión y la baja permeabilidad son ventajosas.

Asimismo, Rivva López, manifiesta que la Microsílice consiste en partículas vítreas muy finas con un área superficial del orden de 20,000 m2/Kg cuando se mide por las técnicas de absorción de nitrógeno. La distribución por tamaños de una Microsílice típica muestra la

mayoría de las partículas como menores de un micrómetro (1 µm) con un diámetro promedio de 0.1 µm el cual es aproximadamente 100 veces menor que las partículas de cemento promedio. La densidad de masa es aproximadamente de 160 a 320 Kg/m3; sin embargo, por razones comerciales puede encontrarse en formas densificada o lechada. Esta debido a su extrema fineza y alto contenido de sílice, son un alto material Puzolánico efectivo. La Microsílice reacciona puzolánicamente con la cal durante la hidratación del cemento para formar materiales cementicios puzolánicos estables de silicato de calcio hidratado (CSH). La disponibilidad de aditivos reductores de agua de alto rango ha facilitado el empleo de la Microsílice como parte del material cementante del concreto para producir concretos de alta resistencia. Normalmente el contenido de Microsílice de un cemento varia del 5% al 15% del contenido del cemento portland.

Rivva López (1997), añade también que el empleo de Microsílice para producir concretos de alta resistencia se ha incrementado significativamente a partir de 1980. Tanto las experiencias de laboratorio como las de obra de los concretos a los cuales se ha incorporado Microsílice tienen un incremento en la tendencia para desarrollar grietas por contracción plástica. Por ello, es necesario cubrir rápidamente la superficie del concreto con Microsílice recién colocado para prevenir una rápida evaporación de agua.

1.7.1.4.2 Mecanismos de acción

Morataya (1934), adiciona que la Microsílice reacciona con el hidróxido de calcio que se forma como subproducto en el proceso de hidratación del cemento, dando como resultado un incremento en la cantidad de silicato de calcio hidratado, ligante que se sabe proporciona al concreto su resistencia y que es conocido como gel. Este incremento en el contenido de gel disminuye los poros capilares de la pasta, hace la pasta más compacta, facilita la distribución de los elementos mayores y aumenta la densidad del sistema.

Las fuerzas superficiales que actúan entre las partículas de Microsílice, pueden impedir una adecuada dispersión de ésta en el concreto fresco. Los superplastificantes, al reducir el exceso de agua y las fuerzas superficiales, hacen a las partículas más móviles, permiten una compactación más densa y mejoran la dispersión del sistema.

La Microsílice reacciona dentro de los primeros 28 días, con el hidróxido de calcio formando durante la hidratación y mejorando la resistencia en compresión del mortero. Además,

modifican la distribución por tamaños de los poros por reacción con el hidróxido de calcio formado y producen una estructura de poros más discontinua e impermeable que la pasta hidratada.

1.7.1.5 Propiedades de los concretos de alta resistencia.

1.7.1.5.1 Módulo de elasticidad

Morataya (1934), se informó de los valores por el módulo de elasticidad determinado, como la cuesta de la tangente a la curva esfuerzo-deformación uniaxial de compresión a 25 por ciento de tensión del máximo de 29GPa a 36GPa para hormigones que tienen resistencias a compresión que van de 69MPa a 76Mpa. Muchos otros investigadores han informado valores por el módulo de elasticidad de concreto de alta resistencia solidifica del orden de 31 a 45 GPa, que dependen principalmente del método de determinar el módulo. Una comparación de valores determinados experimentalmente para el módulo de elasticidad es aquellos por la expresión dada de ACI 318, Sección 8.5 para concretos de resistencia baja, y se basó en un peso de la unidad seco de 2346 kg/m3.

Se han propuesto muchas correlaciones entre el módulo de elasticidad (Ec) y la resistencia en compresión (f'c). Las desviaciones del valor predicho son solamente dependientes de las propiedades y proporciones del agregado grueso.

1.7.1.5.2 Relación de poisson

La información sobre la Relación de Poisson para los concretos de alta resistencia es muy limitada. Shideler y Carrasquillo, han reportado valores de concretos de alta resistencia preparados con agregados livianos, teniendo una resistencia a la compresión uniaxial de 730 Kg/cm2 a los 28 días, en los que la relación de Poisson era el 0.20 independientemente de la resistencia en compresión, edad y contenido de humedad. Los valores determinados por el método dinámico fueron ligeramente mayores.

Por otra parte, Perenchio y Klieger han reportado valores para la relación de Poisson de concretos de peso normal y alta resistencia con resistencias en compresión variando de 55 a 80 Mpa, entre 0.20 y 0.28. Ellos han indicado que la relación de Poisson tiende a disminuir con incrementos en la relación agua/cemento.

Rivva López, señala que Kaplan ha encontrado valores para la relación de Poisson determinados empleando medidas dinámicas entre 0.23 y 0.32 independientes de la resistencia en compresión, agregado grueso y edad de ensayo, para concretos con resistencias en compresión que variaban de 17 a 79 Mpa.

Basándose en esta información, la relación de Poisson de concretos de alta resistencia en el rango elástico es comparable al rango de valores esperado para los concretos de baja resistencia.

1.7.1.5.3 Comportamiento esfuerzo - deformación en compresión uniaxial

Rivva López (1997), señala que los esfuerzos axiales Vs las curvas de deformación para concretos con resistencias en compresión hasta de 83 Mpa han sido estudiados detalladamente por el ACI. El perfil de la parte ascendente de la curva esfuerzo-deformación es más lineal y parado para los concretos de alta resistencia, y la deformación en el esfuerzo máximo es ligeramente más parada para los concretos de alta resistencia. Para obtener la parte descendente de la curva esfuerzo-deformación, es generalmente necesario evitar la interacción de los especímenes de ensayo; ello es más difícil en los concretos de alta resistencia.

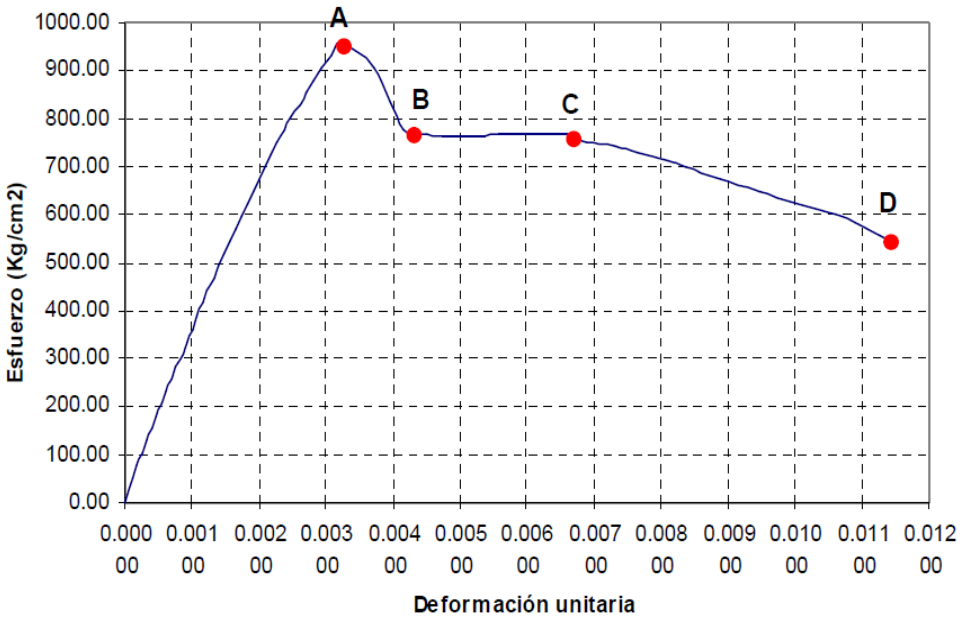

Figura 2: Curva esfuerzo deformación (Fuente: Tecnología del Concreto de Alto Desempeño – Pablo Portugal Barriga 2007 p. 99)

En el Figura 2, se puede observar la curva esfuerzo deformación, en donde podemos identificar 4 zonas bien definidas:

- La primera zona corresponde al estado elástico del concreto, se observa una recta con pendiente pronunciada, esta zona finaliza en el punto de máxima resistencia de la muestra de concreto.
- La segunda zona corresponde a un descenso de la resistencia a la compresión, se ha entendido que en esta zona el concreto que cubre al reforzamiento falla totalmente no aportando a la resistencia a la compresión en el punto final de esta zona corresponde a la resistencia portada por el núcleo de concreto confinado.
- En la tercera zona se puede apreciar un ligero incremento de la resistencia, siendo este muy pequeño, sin embargo, la deformación unitaria ya alcanza el doble de la deformación de la primera zona.

En la última zona se observa un descenso de la resistencia pudiendo llegar a ser este mayor hasta llegar a la falla total del testigo.

1.7.1.5.4 Módulo de rotura

Rivva López (2007), manifiesta que los valores reportados por diversos investigadores para el módulo de rotura tanto de concreto de bajo peso como los de peso normal están en el rango de raíz cuadrada de 7.3f'c a raíz cuadrada de 12f'c, cuando tanto el módulo de rotura como la resistencia en compresión están expresados por psi (libra/pulg2).

1.7.1.5.5 Resistencia a la tensión por deslizamiento

Dewar J. D. (1964), ha estudiado la interrelación entre la resistencia a la tensión indirecta y la resistencia a la compresión por encima de 84 Mpa a los 28 días. Él concluye que, en las bajas resistencias, la resistencia a la tensión indirecta puede ser tan alta como un 10% de la resistencia en compresión pero que en las altas resistencias ella puede reducirse al 5%. Él ha observado que la resistencia a la tensión por deslizamiento era del orden del 8% más alta si se empleaba en el concreto agregado grueso consistente en roca partida en relación a los concretos preparados a base de grava como agregado grueso. Adicionalmente, Dewar, ha encontrado que la resistencia por tensión indirecta era un 70% de la resistencia a la flexión a los 28 días.

Ramón L. Carrasquillo, Arthur H. Nilson, y Floyd O. (1981) Slate han reportado que la resistencia al deslizamiento no varía mucho del rango de los valores usuales, aun cuando la resistencia en compresión se incrementa. Los valores de resistencia al deslizamiento caen dentro del límite superior del rango esperado.

1.7.1.5.6 Resistencia a la fatiga

Enrique Rivva López (1992), señala que el comportamiento a la fatiga de concretos de alta resistencia es muy limitado.

Bennet y Muir (2011) han estudiado la resistencia a la fatiga en compresión axial en concretos de alta resistencia y encontraron que después de un millón de ciclos, la resistencia de especímenes de concretos sujetos a cargas repetidas varía entre 66% y 71% de la resistencia estática para un nivel de esfuerzos mínimo de 8.6 Mpa. Los valores menores fueron encontrados para los concretos de más alta resistencia y para concretos preparados con los tamaños menores de agregado grueso, pero la actual magnitud de las diferencias fue pequeña.

En la medida de lo que en la actualidad se conoce, la resistencia a la fatiga de los concretos de alta resistencia es la misma que para los concretos de bajas resistencias.

1.7.1.5.7 Peso unitario

Enrique Rivva López (2011), añade que los valores medidos del peso unitario de los concretos de alta resistencia son ligeramente mayores que los concretos de resistencias menores preparados con los mismos materiales.

1.7.1.5.8 Evolución del calor debido a la hidratación

Enrique Rivva López (2011), concluye que la temperatura se eleva en el concreto debido a la hidratación, dependiendo del contenido de cemento, la relación agua/cemento, tamaño del cemento, temperatura ambiente, entorno del elemento.

Fredman (2011), ha concluido que la evaluación de calor de los concretos de alta resistencia deberá ser de aproximadamente 6° a 8° por cada 60 Kg/m3 de cemento. Valores de elevación de temperatura 56°C en concretos de alta resistencia que contenían 502 Kg/m3 de cemento han sido medidos en edificios construidos en Chicago.

1.7.1.5.9 Ganancia de la resistencia con la edad.

Enrique Rivva López (2011), considera que los concretos de alta resistencia muestran una ganancia de resistencia en edades tempranas si se compara con concretos de resistencias menores, pero en el largo plazo la diferencia no es significativa.

Parrot L. J. (1987), ha reportado relaciones típicas de 7 a 28 días de 0.8 a 0.9 para concretos de alta resistencia y de 0.7 a 0.72 para concretos de resistencias menores.

Carrasquilla, ha encontrado relaciones típicas de 7 a 95 días de 0.60 para bajas resistencias, 0.65 para resistencias medias, y 0.73 para concretos de alta resistencia.

1.7.1.6 Ventajas y Desventajas del concreto de alta resistencia

1.7.1.6.1 Ventajas

Enrique Rivva (2011), precisa que las ventajas son los siguientes:

- Ideal para reducir las dimensiones de elementos verticales y horizontales, lo que se traduce es más área de servicio y un menor peso de los edificios estructuras.
- Alta resistencia a la edad temprana y final.
- Mayor durabilidad, especialmente en estructuras expuestas a la acción del mar.
- Gran resistencia a la tracción, apropiada a la construcción de vigas pretensadas.
- Elementos más esbeltos, permitiendo mayor área de servicio.
- Gran resistencia a compresión por unidad de peso, volumen o costo; importante para la construcción de pilares y columnas en edificios de altura.
- Mejora en la protección a la corrosión del acero de refuerzo.
- Mayor aptitud para su transporte por bombas para las mismas distancias que los concretos tradicionales
- Al obtener mayor resistencia a la compresión del concreto se obtiene un mayor módulo de elasticidad pues ambos están relacionados.
- Muy alta fluidez que hace posible su colocación aún en zonas congestionadas de acero de refuerzo.
- Usado en losas permite remoción temprana del encofrado y eliminación del reapuntalamiento.

- Requiere menos mano de obra de infraestructura en puentes de grandes luces.
- La estructura tiene un menor costo en comparación con otras elaboradas con acero.

1.7.1.6.2 Desventajas

Así mismo Rivva, menciona las desventajas siguientes:

- Necesidad de materiales y componentes de alta calidad
- Control de calidad muy exigente.
- Riguroso cuidado en el curado porque posee relaciones agua/cemento bajas.
- Rotura frágil.
- Personal profesional y operarios de altas calificaciones
- Supervisión permanente.

1.7.2 Cemento portland

Roger Meléndez Ganoza (1996), menciona que el Cemento Portland se define en la norma como el producto obtenido por la pulverización del Clinker Portland con la adición eventual de Sulfato de Calcio, admitiéndose la adición de otros productos que no excedan de 1 % en peso del total, siempre que la norma correspondiente establezca que su inclusión no afecta las propiedades del cemento resultante; todos los productos adicionados deberán ser pulverizados conjuntamente con el Clinker.

1.7.2.1 Principales compuestos químicos

Cada uno de los cuatro compuestos principales del cemento portland contribuye en el comportamiento del cemento, cuando pasa del estado plástico al endurecido después de la hidratación.

1.7.2.1.1 Silicato Tricálcico (3CaO.SiO2 →C3S→ Alita)

- Se hidrata y endurece rápidamente.
- Es el más importante de los compuestos del cemento.
- Determina la rapidez o velocidad de fraguado.
- Determina la resistencia inicial del cemento.
- Libera gran cantidad de calor de hidratación es equivalente a 120 cal/gr. Este compuesto tiene mucha importancia en el calor de hidratación de los cementos.

- Contribuye una buena estabilidad de volumen.
- Contribuye a la resistencia al intemperismo.

1.7.2.1.2 Silicato Dicálcico (2CaO.SiO2→ C2S→ Belita)

- Contribuye con las resistencias a edades mayores a una semana.
- Por su porcentaje en el Clinker es el segundo en importancia.
- Se hidrata y endurece con lentitud.
- Alcanza elevada resistencia a la compresión a largo plazo (después de prolongado endurecimiento).
- El valor de hidratación es equivalente a 63 cal/gr.
- Contribuye a la resistencia al intemperismo junto al C3S.
- Su contribución a la estabilidad de volumen es regular.

1.7.2.1.3 Aluminato Tricálcico (3CaO.Al2O3→ C3A→Celita)

- Es el primero en hidratarse, o sea fragua con mucha rapidez (hidratación violenta).
- Libera gran cantidad de calor durante los primeros días de la hidratación.
- Incide levemente en la resistencia mecánica.
- Tiene baja resistencia al intemperismo (acción del hielo y deshielo).
- Escasa resistencia a la acción del ataque de los sulfatos y ataques químicos.
- Calor de hidratación equivalente a 207 cal /gr.
- 1.7.2.1.4. Alumino-Ferrito Tetracálcico (4CaO.Al2O3.Fe2O3→C4AF→Felita)
- Reduce la temperatura de formación del Clinker.
- Rápida velocidad de hidratación.
- El calor de hidratación es equivalente a 100 cal/gr (moderado).
- En la resistencia mecánica no está definida su influencia.
- La estabilidad de volumen es mala.
- Influye en el color final del cemento.

Nota: El Silicato Tricálcico (C3S) y el Silicato Dicálcico (C2S) constituyen el 75% del cemento, por eso la resistencia mecánica se debe a estos dos compuestos.

En menor proporción, el cemento contiene los siguientes compuestos:

1.7.2.1.4 Óxido de Magnesio (MgO)

Pese a ser un componente menor, tiene importancia pues para contenidos mayores del 5% trae problemas de expansión en la pasta hidratada y endurecida.

1.7.2.1.5 Óxidos de Potasio y Sodio (K2O, Na2O→Álcalis)

Tienen importancia para casos especiales de reacciones químicas con ciertos agregados, y los solubles en agua contribuyen a producir eflorescencias con agregados calcáreos.

1.7.2.1.6 Óxidos de Manganeso y Titanio (Mn2O3, TiO2)

El primero no tiene significación especial en las propiedades del cemento, salvo en su coloración, que tiende a ser marrón si se tienen contenidos mayores del 3%. Se ha observado que en casos donde los contenidos superan el 5% se obtiene disminución de resistencia a largo plazo. El segundo influye en la resistencia, reduciéndola para contenidos superiores a 5%. Para contenidos menores, no tiene mayor trascendencia.

1.7.2.2 Tipos de cemento Portland

Según José Luis Leandro Espinoza (2010), en el mercado peruano existe variedad de cementos para ser empleados por el usuario, siendo en su totalidad cementos Portland que cumplen con los requisitos que específica la Norma ASTM C- 150, o cementos combinados que cumplen con lo indicado en la norma ASTM C-595.

- **Cemento Portland Tipo I**: Para construcciones de concreto y mortero de uso general y cuando no se requiera propiedades específicas, se utiliza en concretos que no estén sujetos al ataque de factores agresivos como podría ser la presencia de sulfatos en el suelo o en el agua.

- **Cemento Portland Tipo II**: Uso general y de moderada resistencia a los sulfatos, es el cemento portland destinado a obras de concreto en general y obras expuestas a la acción moderada de sulfatos o donde se requiere moderado calor de hidratación. Se recomienda en edificaciones, estructuras industriales, puentes, obras portuarias, perforaciones y en general en todas aquellas estructuras de volumen considerable, y en climas cálidos.

- **Cemento Portland Tipo III**: Es el cemento Portland de alto calor de hidratación, alcanza la resistencia F’c muy rápido y baja resistencia a los sulfatos. Para uso en clima frío o en los casos en que se necesita adelantar la puesta en servicio de las estructuras.

- **Cemento Portland Tipo IV:** Para Estructuras se requiera bajo calor de hidratación, caso de represas, centrales hidroeléctricas y obras de grandes masas de concreto, también debe tenerse en cuenta que este cemento desarrolla resistencias a una velocidad inferior a la de los otros cementos.

- **Cemento Portland Tipo V:** Además de las cualidades del Tipo II, es recomendado para ambientes muy agresivos y obras donde se requiera elevada resistencia a los sulfatos. Es el caso de obras portuarias expuesta al agua de mar. También en canales, alcantarillas, túneles, suelos con alto contenido de sulfatos, estos cementos desarrollan resistencias más lentamente que los cementos tipo I, incrementan su resistencia a los sulfatos.

Adicionalmente detallaremos los tipos de cementos Portland puzolánico y de escoria, de acuerdo a la norma ASTM C – 595.

- **Cemento Portland Puzolánico Tipo IP:** Producido mediante molienda conjunta de Clinker y puzolana (15% - 40%)

- **Cemento Portland Puzolánico Modificado Tipo I (PM):** Producido mediante molienda conjunta de Clinker y puzolana (contenido de puzolana: menor del 15%).

Estos cementos cuya adición viene a ser la puzolana tienen uso similar al del Tipo I, y se recomienda en obras masivas o con ataques de aguas agresivas, aguas negras, en cimentaciones en todo terreno, son cementos de moderado calor de hidratación y de moderada resistencia a los sulfatos.

- **Cemento Portland Puzolánico Tipo P:** Para su uso en la construcción cuando no se requieren altos valores de resistencia.

- **Cemento Portland Compuesto Tipo ICo:** Es un cemento Portland obtenido por la pulverización conjunta del Clinker Portland, materiales calizos y/o inertes hasta un máximo de 30%. Corresponde al cemento tipo I mejorado con mayor plasticidad, se puede utilizar en obras de concreto y de concreto armado en general, morteros en general, especialmente para tarrajeo y asentado de unidades de albañilería, pavimentos y cimentaciones.

- **Cemento Portland de Escoria Tipo IS:** Producido mediante molienda conjunta de Clinker y escoria (contenido de escoria: 25% - 70%)

- **Cemento Portland de Escoria Modificado Tipo I (SM):** Producido mediante molienda conjunta de Clinker y escoria (contenido de escoria: < 25%). Son elementos adicionados de escorias se puede emplear en todo tipo de construcciones de concreto son resistentes a la agresión química, se puede utilizar en estructuras en ambientes y suelos húmedos-salitrosos, para estructuras en cimientos y pisos. En general se puede decir que tienen moderada resistencia a los sulfatos y moderado calor de hidratación.

1.7.2.3 Hidratación del cemento

Para Enrique Pascal Carvajal (1998), se denomina hidratación al conjunto de reacciones químicas entre el agua y los componentes del cemento, que llevan consigo el cambio del estado plástico al endurecido, con las propiedades inherentes a los nuevos productos formados. Los componentes ya mencionados anteriormente, al reaccionar con el agua forman hidróxidos e hidratos de Calcio complejos. La velocidad con que se desarrolla la hidratación es directamente proporcional a la finura del cemento e inversamente proporcional al tiempo, por lo que inicialmente es muy rápida y va disminuyendo paulatinamente con el transcurso de los días, aunque nunca se llega a detener.

Contrariamente a lo que se creía hace años, la reacción con el agua no une las partículas de cemento, sino que cada partícula se dispersa en millones de partículas de productos de hidratación desapareciendo los constituyentes iniciales. El proceso es exotérmico generando un flujo de calor hacia el exterior denominado calor de hidratación. Durante el proceso de hidratación, el volumen externo de la pasta se mantiene relativamente constante, sin embargo, internamente el volumen de sólidos se incrementa constantemente con el tiempo, causando la reducción permanente de la porosidad, que está relacionada de manera inversa con la resistencia de la pasta endurecida y en forma directa con la permeabilidad.

Para que se produzca la hidratación completa se necesita la suficiente cantidad de agua para la reacción química y proveer la estructura de vacíos o espacio para los productos de hidratación, la temperatura adecuada y tiempo, desprendiéndose de aquí el concepto fundamental del curado, que consiste en esencia en procurar estos tres elementos para que el proceso se complete.

1.7.2.4 Calor de hidratación

Durante el proceso de endurecimiento se producen reacciones que generan calor. Cuando las secciones son pequeñas y el calor puede liberarse, el calor de hidratación no es importante, pero al vaciar grandes volúmenes de concreto y cuando el calor no puede liberarse fácilmente, resulta un factor a tenerse muy en cuenta; la temperatura que genera la hidratación llega a los 50°C en presas, algunos investigadores han observado temperaturas mayores. Como la temperatura ambiente es menor se producen descensos bruscos de ésta, ocasionando contracciones y en consecuencia rajaduras.

En el vaciado de grandes volúmenes es indispensable controlar este efecto si no se desea sufrir desagradables sorpresas. Se debe usar cemento de bajo calor de hidratación y/o puzolanas. El calor de hidratación del cemento se mide en calorías gramo, cuanto menor sea el calor de hidratación del cemento menor será la temperatura a que se eleve el concreto.

Los calores de hidratación son:

- C3S = 120 cal/gr
- C2S = 62 cal/gr
- C3A = 107 cal/gr
- C4AF = 100 cal/gr

1.7.3 Agregados

De acuerdo al Instituto del Concreto (1997), son cualquier sustancia sólida o partículas añadidas intencionalmente al concreto que ocupan un espacio rodeado por pasta de cemento de tal forma, que en combinación con ésta proporcionan resistencia mecánica, al mortero o concreto en estado endurecido y controlan los cambios volumétricos que normalmente tienen lugar durante el fraguado del cemento, así como las que se producen por las variaciones en el contenido de humedad de las estructuras.

La calidad de los agregados está determinada por el origen, por su distribución granulométrica, densidad, forma y superficie. Se han clasificado en agregado grueso y

agregado fino, fijando un valor en tamaño de 4.75 mm a 0.075 mm para el fino o arena, y de 4.75 mm en adelante para el grueso. La selección del tamaño de agregado grueso para concreto reforzado está en función del tipo de estructura y separación de la armadura.

Los agregados en el concreto ocupan alrededor de las tres cuartas partes del volumen, de ahí la justificación para su adecuada selección, además que, agregados débiles podrían limitar la resistencia del concreto, por otro parte, son estos elementos los que proporcionan una estabilidad volumétrica al concreto y durabilidad.

1.7.3.1 Tipos de agregados

1.7.3.1.1 Agregado finos

El agregado fino consiste en arena natural, arena manufacturada o una combinación de ellas., que pasan el tamiz normalizado 9.5 mm (3/8 pulg) y queda retenido en el tamiz normalizado 75 μm (N° 200); deberá cumplir con los límites establecidos en la NTP. 400.037. Dentro de las arenas naturales la más abundante y usada es la arena silícea.

1.7.3.1.1.1 Granulometría

La granulometría es la distribución por tamaños de las partículas de arena. La distribución del tamaño de partículas se determina por separación con una serie de tamices normalizados.

El agregado fino deberá tener la gradación según los límites de la **Tabla 2.**

Tabla 2

Granulometría del agregado fino.

Tamiz	Porcentaje que pasa
9.5 mm (3/8 pulg)	100
4.75 mm (Nº 4)	95 a 100
2.36 mm (Nº 8)	80 a 100
1.18 mm (Nº 16)	50 a 85
600 μm (Nº 30)	25 a 60
300 μm (Nº 50)	10 a 30
150 μm (Nº 100)	2 a 10

Fuente: Norma Técnica peruana 400.037 (2014), "AGREGADOS. Especificaciones normalizadas para agregados en concreto", Lima, Perú, p.8

El agregado no deberá retener más del 45% en dos tamices consecutivos cualesquiera.

El porcentaje indicado para las mallas N° 50 y 100 podrá ser reducido a 5% y 0% respectivamente; si el agregado es empleado en concretos con aire incorporado cuyo contenido de cemento es mayor de 225 Kg/m3, o en concretos sin aire incorporado cuyo contenido de cemento es mayor de 300 Kg/m3; esta posición se explica porque el mayor contenido de cemento contribuye a la plasticidad del concreto y la compacidad de la pasta, función que cumple el agregado más fino.

1.7.3.1.1.2 Módulo de fineza

Es un factor empírico que permite estimar el grosor predominante del agregado, es de mucha importancia como parámetro en el diseño de mezclas, puesto que la base experimental que apoya al concepto módulo de fineza, es que granulometrías que tengan igual M.F. independientemente de la gradación individual, requieren la misma cantidad de agua para producir mezclas de concreto de similar plasticidad y resistencia, lo que lo convierte en un parámetro ideal para el diseño y control de mezclas.

El módulo de fineza se calcula sumando los porcentajes acumulativos retenidos en la serie de tamices estándar: 3/8", Nº 4, Nº 8, Nº 16, Nº 30, Nº 50 y Nº 100, y dividendo entre 100.

Se recomienda que el módulo de fineza de las arenas no debe ser menor de 2.30 ni mayor de 3.10, las arenas que estén comprendidas entre 2.30 y 2.80 de módulo de fineza producen concretos de buena trabajabilidad y reducida segregación, y los que se encuentran entre 2.80 y 3.10 son las más favorables para concretos de alta resistencia.

1.7.3.1.1.3 Composición química de la arena

El análisis químico se realiza para conocer la calidad de la arena, pues es importante que contenga en su mayor proporción sílice y no contenga óxidos que puedan afectar las propiedades del concreto, como el caso de ocasionar reacciones con álcalis. La composición química de la arena se determina mediante la norma internacional ASTM C149, la determinación de SiO_2 se lleva a cabo por espectrofotometría UV visible y para determinación de Al_2O_3, Na_2O, K_2O, CaO y MgO por absorción atómica.

Tabla 3

Composición química de la arena

Componente	Porcentaje según revisión bibliográfica	Porcentaje según ensayos de laboratorio
SiO2	94.00 – 100.00	96.80
Al2O3	0.14 – 1.30	1.50
Na2O	0.04 – 0.09	0.01
K2O	0.01 – 0.012	0.10
CaO	0.01 – 0.80	0.05
MgO	0.01 – 0.05	0.02

Fuente: Recuperado de Sánchez Y. Oviedo A, Novoa M, (2015), *"Análisis de propiedades de adhesivos tipo mortero para baldosas de cerámica con reemplazo del agregado fino (arena) por vidrio plano molido reciclado",* Bogotá, Colombia, p.8

1.7.3.1.2 Agregado grueso

Es el agregado retenido en el tamiz normalizado 4.75 mm (N° 4) proveniente de la desintegración natural o mecánica de la roca, deberá cumplir con los límites establecidos en la NTP. 400.037. Sus partículas deben tener un perfil angular o semiangular, ser duras y resistentes, y tener una superficie preferentemente rugosa para una mejor adherencia con el mortero. Adicionalmente, las partículas deben ser químicamente estables y estar libres de escamas, tierra, polvo, limo, humus, materia orgánica, sales u otras sustancias dañinas.

1.7.3.1.2.1 Granulometría

La granulometría es la distribución por tamaños de las partículas del agregado grueso. La distribución del tamaño de partículas se determina por separación con una serie de tamices normalizados.

El agregado grueso deberá tener la gradación según los límites de la **Tabla 4.**

1.7.3.1.2.2 Tamaño Máximo (TM)

Se define como la abertura del menor tamiz por el cual pasa el 100% de la muestra.

El tamaño máximo de los agregados gruesos en el concreto armado se fija por la exigencia de que pueda entrar fácilmente en los encofrados y entre las barras de la armadura.

En ningún caso el tamaño máximo del agregado grueso deberá ser mayor que:

- 1/5 de la menor dimensión, entre caras de encofrados.

- 1/3 de la altura de las losas.

- 3/4 del espacio libre entre las barras o alambres individuales de refuerzo, paquetes de barras, cables o duetos de presfuerzo.

Estas limitaciones están dirigidas a que las barras de refuerzo queden convenientemente recubiertas y no se presenten cavidades de las llamadas "cangrejeras". Sin embargo, pueden omitirse por excepción, si el ingeniero responsable comprueba que los métodos de puesta en obra y la trabajabilidad del concreto lo permiten.

Se considera que, cuando se incrementa el tamaño máximo del agregado, se reducen los requerimientos del agua de mezcla, incrementándose la resistencia del concreto. En general este principio es válido con agregados hasta 1 1/2. En tamaños mayores, sólo es aplicable a concretos con bajo contenido de cemento.

1.7.3.1.2.3 Tamaño máximo nominal

Es otro parámetro que se deriva del análisis granulométrico y es el que corresponde al menor tamiz de la serie utilizada que produce el primer retenido entre 5 % y 10 %.

Tabla 4

Requisito granulométrico del agregado grueso

		Porcentaje que pasa por los tamices normalizados													
Huso	Tamaño Máximo Nominal	100 mm (4 pulg)	90 mm (3 1/2 pulg)	75 mm (3 pulg)	63 mm (2 1/2 pulg)	50 mm (2 pulg)	37.5 mm (1 1/2 pulg)	25.0 mm (1 pulg)	19.0 mm (3/4 pulg)	12.5 mm (1/2 pulg)	9.5 mm (3/8 pulg)	4.75 mm (N° 4)	2.36 mm (N° 8)	1.18 mm (N° 16)	300 µm (N° 50)
1	90 mm a 37.5 mm	100	90 a 100	-	25 a 60	-	0 a 15	-	0 a 5	-	-	-	-	-	-
2	63 mm a 37.5 mm	-	-	100	90 a 100	35 a 70	0 a 15	-	0 a 5	-	-	-	-	-	-
3	50 mm a 25.0 mm	-	-	-	100	90 a 100	35 a 70	0 a 15	-	0 a 5	-	-	-	-	-
357	50 mm a 4.72 mm	-	-	-	100	95 a 100	-	35 a 70	-	10 a 30	-	0 a 5	-	-	-
4	37.5 mm a 19.0 mm	-	-	-	-	100	90 a 100	20 a 55	0 a 5	-	0 a 5	-	-	-	-
467	37.5 mm a 4.75 mm	-	-	-	-	100	95 a 100	90 a 100	35 a 70	-	10 a 30	0 a 5	-	-	-
5	25.0 mm a 12.5 mm	-	-	-	-	-	100	90 a 100	20 a 55	0 a 10	0 a 5	-	-	-	-
56	25.0 mm a 9.5 mm	-	-	-	-	-	100	95 a 100	40 a 85	10 a 40	0 a 15	0 a 5	-	-	-
57	25.0 mm a 4.75 mm	-	-	-	-	-	100	100	-	25 a 60	-	0 a 10	0 a 5	-	-
6	19.0 mm a 9.5 mm	-	-	-	-	-	-	100	90 a 100	20 a 55	0 a 15	0 a 5	-	-	-
67	19.0 mm a 4.75 mm	-	-	-	-	-	-	-	90 a 100	-	20 a 55	0 a 10	0 a 5	-	-
7	12.5 mm a 4.75 mm	-	-	-	-	-	-	-	100	90 a 100	40 a 70	0 a 15	0 a 5	-	-
8	9.5 mm a 2.36 mm	-	-	-	-	-	-	-	-	100	85 a 100	10 a 30	0 a 10	0 a 5	-
89	12.5 mm a 9.5 mm	-	-	-	-	-	-	-	-	100	90 a 100	20 a 55	5 a 30	0 a 10	0 a 5
9A	4.75 mm a 1.18 mm	-	-	-	-	-	-	-	-	-	100	85 a 100	10 a 40	0 a 10	0 a 5

Fuente: Recuperado de Norma Técnica Peruana 400.037 (2014), "*AGREGADOS. Especificaciones normalizadas para agregados en concreto*", Lima, Perú, p.13.

1.7.3.2 Propiedades físicas

1.7.3.2.1 Contenido de humedad

Se define como la cantidad de agua superficial retenida en un momento determinado por las partículas de agregado. Es una característica importante que se debe tomar en cuenta pues altera la cantidad de agua en el concreto, razón por cual se debe tomar en cuenta conjuntamente con la absorción para efectuar las correcciones necesarias en el proporcionamiento de las mezclas de diseño.

1.7.3.2.2 Absorción

Es la capacidad de los agregados de llenar con agua los vacíos al interior de las partículas, es decir, es la cantidad de agua que un agregado necesita para pasar de la condición seca a la condición de saturado superficialmente; se expresa generalmente en porcentaje.

El fenómeno se produce por capilaridad, no llegándose a llenar absolutamente sus poros pues siempre queda aire atrapado. Tiene importancia pues se refleja en el concreto reduciendo el agua de mezcla, con influencia en las propiedades resistentes y en la trabajabilidad, por lo que es necesario tenerla siempre en cuenta para hacer las correcciones necesarias.

1.7.3.2.3 Densidad de masa (Peso unitario)

La densidad de masa o peso unitario, es el peso del agregado requerido para llenar un recipiente con un volumen unitario determinado, es decir la masa neta del agregado en el recipiente, dividida entre su volumen. El peso unitario depende de lo compactado que esté el agregado y de la distribución de formas y tamaños de las partículas. Por ello, para propósitos de prueba, debe especificarse el grado de compactación.

La norma NTP. 400.017 reconoce dos formas: suelto y compactado**.**

1.7.3.2.3.1 Densidad de masa (Peso unitario) suelta

Cuando el agregado seco se coloca con cuidado en un recipiente de diámetro y profundidad prescrita que depende del tamaño máximo del agregado hasta que rebose y después es nivelado pasando la varilla por la superficie.

1.7.3.2.3.2 Peso especifico

El peso específico de un agregado es la relación de su peso respecto al peso de un volumen absoluto igual de agua (agua desplazada por inmersión) a una temperatura determinada. El

valor del peso específico para agregados normales oscila entre 2.50 y 2.75 g/cm3 y se puede expresar en tres estados:

- **Peso Específico de Masa**

Se refiere al volumen del material sólido, incluido todos los poros.

- **Peso Específico de Masa Saturado Superficialmente Seco**

Se refiere al volumen del material cuando todos los poros del agregado están llenos de agua.

- **Peso Específico Aparente**

Se refiere al volumen del material sólido, incluido los poros impermeables, aunque no los capilares.

1.7.3.3 Propiedades mecánicas

1.7.3.3.1 Dureza

Es la resistencia al desgaste por la acción de unas partículas sobre otras, o por agentes externos, lo cual depende de la constitución mineralógica, estructuración y procedencia de los agregados. Generalmente se cuantifica indirectamente por medio del ensayo de la resistencia a la abrasión en la máquina de Los Ángeles.

1.7.3.3.2 Resistencia

Es la capacidad de resistir esfuerzos internos (compresión, corte, tracción y flexión); normalmente se mide por medio de la resistencia en compresión. La resistencia en compresión está inversamente relacionada con la porosidad y la absorción y directamente con el peso específico. Agregados normales con Peso específico entre 2.50 a 2.70, tienen resistencias en compresión del orden de 750 a 1,200 Kg/cm2. Agregados ligeros con peso específico entre 1.60 a 2.50 usualmente manifiestan resistencias de 200 a 750 Kg/cm2

1.7.3.3.3 Adherencia

Es la interacción existente entre los agregados y el mortero, la cual es producida por fuerzas de origen físico y químico. Mientras mayor sea la adherencia entre los agregados y el mortero en estado endurecido, mayor será la resistencia del concreto. Esta propiedad

depende en gran medida del tamaño, forma, rigidez y rugosidad superficial de las partículas de los agregados.

1.7.3.4 Sustancias perjudiciales

1.7.3.4.1 Suelos finos

Está referido a partículas que pasan el tamiz N° 200 (75 µm), pudiendo estar presente como polvo o estar recubriendo al agregado. Incluso cuando delgadas capas de estas partículas cubran al agregado, puede existir peligro trascendiendo en la adherencia entre los agregados y el mortero en estado endurecido, lo cual podría causar incremento en la demanda de agua en el concreto, bajas resistencias a la compresión y durabilidad reducida.

1.7.3.4.2 Partículas deleznables

Son materiales que se desmoronan fácilmente, están compuestas principalmente por madera, carbón, lignito, terrones de arcilla, partículas blandas y otros, los cuales se confunden con el agregado grueso debido a su forma. Estos materiales son puntos débiles en la masa del concreto ya que afectan la resistencia y la durabilidad, en el caso de estar expuesto a la abrasión.

1.7.3.4.3 Materia orgánica

La materia orgánica suele consistirse por lo general en productos de la descomposición de materia vegetal (sobre todo ácido tónico o húmico, derivado de la abundancia de follaje) y se manifiesta en forma de humus o margas orgánicas. La materia orgánica puede interferir las reacciones químicas de hidratación del cemento, así también puede resultar en un concreto de menor resistencia y puede afectar la velocidad de la reacción del cemento, retrasando el fraguado y el endurecimiento del concreto.

1.7.4 Agua

Es un componente fundamental e indispensable en la elaboración del concreto, tanto para la hidratación del cemento como para el desarrollo de sus propiedades, estando relacionado con la resistencia, trabajabilidad y propiedades del concreto endurecido, por lo tanto, este componente debe cumplir ciertos requisitos para llevar a cabo su función en la combinación química, sin ocasionar problemas colaterales si tiene ciertas sustancias que pueden dañar al concreto.

1.7.4.1 Agua de mezcla

El agua de mezcla cumple dos funciones muy importantes, reaccionar con el cemento para hidratarlo y actuar como lubricante para contribuir a la trabajabilidad del concreto. De toda el agua que se emplea en la preparación del concreto, parte hidrata el cemento, el resto no presenta ninguna alteración y con el tiempo se evapora; como ocupaba un espacio dentro de la mezcla, al evaporarse deja vacíos los cuales disminuyen la resistencia y la durabilidad del mortero o del concreto.

El problema principal del agua de mezcla reside en las impurezas y la cantidad de éstas, que ocasionan reacciones químicas que alteran el comportamiento normal de la pasta de cemento. Las aguas potables y aquellas que no tengan sabores u olores pueden ser utilizadas para preparar concreto, sin embargo, algunas aguas no potables también pueden ser usadas si cumplen con algunos requisitos, en nuestro país es frecuente trabajar con aguas no potables sobre todo cuando se tratan de obras en las afueras de las ciudades.

1.7.4.2 Agua de curado

El aumento de la resistencia del concreto continuará con el pasar del tiempo mientras se encuentre cemento sin hidratar, con la condición de que el concreto permanezca húmedo o tenga una humedad relativa superior a aproximadamente el 80%, y permanezca favorablemente su temperatura, por lo que una vez que el concreto haya fraguado, es necesario el suministro de agua para garantizar la completa hidratación de las partículas de cemento.

El objeto del curado es mantener el concreto saturado, o lo más próximo posible a la saturación, hasta que los espacios que inicialmente estaban saturados de agua se llenen hasta un nivel deseado con los productos de la hidratación del cemento. Si se vuelve a saturar el concreto luego de un periodo de secado, la hidratación se reanuda y la resistencia vuelve a aumentar. Sin embargo, lo mejor es aplicar el curado húmedo al concreto de manera continua desde el momento en que se ha colocado hasta cuando haya alcanzado la calidad deseada debido a que el concreto es difícil de resaturar.

1.7.4.3 Requisitos de calidad

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

Tabla 5

Limites químicos opcionales para el agua de mezcla combinada

	Límite
A. Cloruro como Cl^-, ppm	
1. En concreto pretensado, tableros de puentes, o designados de otra manera	500[B]
2. Otros concretos reforzados en ambientes húmedos o que contengan aluminio embebido o metales diversos o con formas metálicas galvanizadas permanentes	1,000[B]
B. Sulfatos como SO_4, ppm	3,000
C. Álcalis como (Na_2O + 0.658 K_2O), ppm	600
D. Sólidos totales por masa, ppm	50,000
B. Cuando el productor pueda demostrar que estos límites para el agua de mezcla pueden ser excedidos, los requerimientos para el concreto del código ACI 318 regirán. Para condiciones que permiten utilizar cloruro de calcio ($CaCl_2$) como aditivo acelerador, se permitirá que el comprador pueda prescindir de la limitación del cloruro	

Fuente: Recuperado de Norma Técnica Peruana 339.088 (2006), *"AGREGADOS. Especificaciones normalizadas para agregados en concreto"*, Lima Perú p.10

1.8 Marco Conceptual

- **Absorción**

Es la cantidad de agua que puede absorber un agregado, expresado en porcentaje.

- **Aditivos**

Material que se añade al crudo, al Clinker o al cemento, durante la fabricación del mismo o bien al mortero o concreto durante el amasado, con el objeto de modificar alguna de sus propiedades.

- **Agregados**

Es el material pétreo, natural o artificialmente dividido en trozos o partículas resistentes de forma y tamaño estable, cuya función específica es actuar como material inerte en morteros y concretos.

- **Agua**

Es un elemento fundamental en la preparación del concreto, estando relacionado con la resistencia, trabajabilidad y propiedades del concreto endurecido·

- **Asentamiento**

Es la diferencia entre la altura del recipiente que sirvió de molde de una probeta de concreto fresco y la de la probeta fuera de mole, medida en el eje expresado en centímetros.

- **ASTM**

Es una organización de normas internacionales que desarrolla y publica acuerdos voluntarios de normas técnicas para una amplia gama de materiales, productos, sistemas y servicios.

- **Cantera**

Es una explotación minera, generalmente a cielo abierto, en la que se obtienes rocas industriales y áridas; es la fuente principal de materiales pétreos los cuales se constituyen en uno de los insumos fundamentales en el sector de la construcción de obras civiles.

- **Cemento**

El cemento es un material pulverizado que, cuando es combinado con el agua, forma una pasta capaz de endurecer tanto bajo como fuera del aire.

- **Cemento Portland**

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 minerales, tiene la propiedad de reaccionar lentamente con el agua hasta formar una masa endurecida.

- **Concreto**

Es la mezcla de cemento Portland o cualquier otro cemento hidráulico, agregado fino, agregado grueso y agua, con o sin aditivos**.**

- **Curado**

Procedimiento que asegura la temperatura y humedad necesarias para que se cumplan los procesos de fraguado y endurecimiento en condiciones óptimas.

- **Diseño de mezcla**

Proceso mediante el cual se proyecta el diseño de una determinada mezcla, para una resistencia determinada

- **Dosificación**

Es la proporción en peso y en volumen de los distintos elementos integrantes de una mezcla.

- **Durabilidad.**

Es la propiedad que tienen los morteros y/o concretos de resistir la acción de agentes destructivos.

- **Exudación**

Es 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.

- **Fraguado**

Es fundamentalmente un proceso de hidratación de los distintos componentes de un conglomerante hidráulico por el cual este adquiere una mayor consistencia puesta en evidencias por ensayos tipificados.

- **Granulometría**

Es la técnica que tiene por objeto la medida y la determinación de la forma y tamaño del agregado.

- **Humo de sílice**

Es un subproducto que se origina en la reducción de cuarzo, de elevada pureza, con carbón en hornos eléctricos de arco para la producción de silicio y ferrosílicio. Se utiliza como adiciones para hormigón de alta resistencia.

- **Microsílice**

Es una sílice no cristalina muy fina producida por hornos de arco eléctrico como un subproducto de fabricación de silicio metálico o ferro silicio.

- **Peso Unitario**

Es el peso varillado por unidad de volumen de una muestra representativa de un concreto. Se expresa en kg/m3.

- **Resistencia**

Es la capacidad de una estructura o de alguno de sus miembros, para soportar sin romperse, bajo la acción de cualquier carga a la que pueda ser sometida.

- **Segregación**

Esta propiedad del concreto fresco, implica la descomposición de este en sus partes constituyentes o lo que es lo mismo, la separación del agregado grueso del mortero.

- **Superplastificante**

Son aditivos derivados de los formaldehidos melanina o naftaleno que tienen la propiedad de darle a la mezcla una gran plasticidad al liberar el agua sujeta a los otros materiales integrantes de ella.

- **Tamaño Máximo (TM).**

El "Tamaño Máximo" como a aquel que corresponde al menor tamiz por el que pasa toda la muestra de agregado grueso.

- **Tamaño Máximo Nominal (TMN).**

El "Tamaño Máximo Nominal" como a aquel que corresponde el menor tamiz de la serie utilizada que produce el primer retenido.

- **Trabajabilidad**

Es la mayor o menor facilidad que presenta un concreto o mortero, de ser mezclado, transportado y colocado.

- **Permeabilidad**

Fracción del área de aberturas en una superficie respecto al área total de la misma. La relación de área efectiva es el complemento de la permeabilidad.

- **Probeta**

Parte de una porción de lo que se va a analizar o ensayar, que puede tener forma de un prisma, un cilindro, un cubo, etc.

1.9 Hipótesis y variables

1.9.1 Hipótesis

La calidad de los agregados de las canteras de los ríos Huallaga y Sisa, así como una adecuada dosificación son óptimas para obtener concretos de f´c = 175 Kg/cm2, f´c = 210 Kg/cm2, f´c = 280 Kg/cm2 y de alta resistencia

1.10 Sistema de variables

1.10.1 Variable independiente

Calidad de los agregados

Relación agua – cemento A/C

Agua – cemento - agregados

1.10.2 Variable dependiente

Las resistencias a la compresión f´c = 175 Kg/cm2, f´c = 210 Kg/cm2 y f´c = 280 Kg/cm2

1.10.3 Variable interviniente

El porcentaje de humedad de los agregados.

Características de los agregados

CAPÍTULO II
MATERIAL Y MÉTODOS

2.1 Tipo y nivel de investigación

2.1.1 Tipo

La investigación a realizarse es de tipo **experimental** ya que tiene como propósito determinar una característica importante en el diseño de mezcla de concreto simple con la combinación de agregados de dos canteras diferentes en su composición, de tal manera que permita establecer la finalidad práctica y factible de su uso, considerándolo como alternativa para futuras obras civiles.

2.1.2 Nivel

La investigación es **explicativa** debido a que se necesita ejecutar ensayos de compresión en diversas probetas de concreto simple dosificadas cuidadosamente en laboratorio con agregados de diferentes canteras, determinando los porcentajes óptimos cuyas influencias en la resistencia del concreto a varias edades sea el admisible. Estos son estudios poco analizados en el medio actualmente y con este informe se da paso a posibles perfeccionamientos y aplicaciones futuras.

2.2 Población y muestra

2.2.1 Población

En la presente investigación, se consideró como población a la cantidad de probetas de control con concreto F'c = 175 Kg/cm2, F'c = 210 Kg/cm2 y F'c = 280 Kg/cm2, y la combinación de agregados de diferentes canteras, con un tiempo de curado de 7, 14 y 28 días, siendo 60 probetas por cada diseño de mezcla, lo cual hace un total de 180 probetas.

2.2.2 Muestra

La muestra contiene 60 probetas de concreto por cada Resistencia de concreto, coincidiendo con la población, al ser este una población relativamente baja, siendo la muestra de tipo censal.

2.2.3 Método de muestreo

El método es no probabilístico porque se fabricó las mezclas de concreto combinando agregados de dos canteras diferentes. Según Roberto Hernández

Sampieri, Carlos Fernández Collado y María del Pilar Baptista Lucio (2014), en las muestras no probabilísticas, la elección de los elementos no depende de la probabilidad, sino de causas relacionadas con las características de la investigación o los propósitos del investigador.

2.2.4 Criterios de evaluación de la muestra

Se elaboraron 180 probetas de concreto para ser evaluados, las cuales fueron repartidas en 3 grupos de 60 probetas cada uno. En cada grupo se ensayaron probetas a 7, 14 y 28 días de curado, con una distribución de 6,6 y 48 probetas respectivamente. Según la norma ASTM C 192, usualmente se moldean 3 o más probetas para cada edad y condiciones de ensayo.

Tabla 6
Cantidad de muestra a ensayar

F´C Kg/cm2	Tiempo de curado			Sub total de probetas
	7 días	14 días	28 días	
175 kg/cm2	6	6	48	60
210 kg/cm2	6	6	48	60
280 kg/cm2	6	6	48	60
Total				**180**

Fuente: ELABORACIÓN PROPIA, (2019)

2.3 Diseño del método de investigación

El siguiente esquema representa un diseño experimental debido a que existe manipulación de la variable independiente y que mediante graduaciones produce un efecto en la variable dependiente, a la vez, se comparan los grupos manipulados con un grupo de control.

$$G_0 \quad Y_0 \quad X_1 \quad Y_1 \quad G_1$$

$$G_0 \quad Y_0 \quad X_2 \quad Y_2 \quad G_2$$

$$G_0 \quad Y_0 \quad X_3 \quad Y_3 \quad G_3$$

$$G_0 \quad Y_0 \quad __ \quad Y_4 \quad G_4$$

Donde:

G0: Grupo experimental compuesto por la variable dependiente.

Y0: Medición en primera instancia de la variable dependiente.

X1, X2, X3: Aplicación de la variable independiente en diferentes porcentajes.

Y1, Y2, Y3: Medición de la variable dependiente luego de ser manipulada.

Y4: Medición de la variable dependiente sin ser manipulada.

G1, G2, G3: Grupo experimental compuesto por la variable dependiente luego de ser manipulada.

G4: Grupo experimental compuesto por la variable dependiente sin ser manipulada, el cual será comparado con **G1, G2, G3.**

2.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Se presentan todos los métodos y procedimientos utilizados en el desarrollo de la investigación para la obtención de información.

2.4.1 Metodología para la selección de los agregados de las canteras

2.4.1.1 Ubicación de puntos de recolección

Esta etapa consistió en la ubicación de lugares estratégicos donde se encontrase la mayor cantidad de agregados limpios y libres de malezas, es decir ubicar puntos donde este tipo de material sea accesible para la maquinaria y los tesistas de diversas formas.

Siendo el rio Huallaga a la altura del Centro poblado mayor de Shilcayo, distrito Chazuta, Provincia San Martin el lugar para extracción del agregado grueso Cantera “Shilcayo”. Y para el agregado fino se ubicó en el rio Sisa a la altura Centro poblado menor de San Rafael, distrito de San José de Sisa, provincia de El Dorado.

2.4.1.2 Selección de los agregados

Para la selección del lugar de los agregados se tomó en cuenta referencias de trabajos y obras civiles que determinan que el mejor agregado y el que cumple con especificaciones ASTM es el que proviene del rio Huallaga, del cual elegimos el que se encuentra a la altura del Centro poblado mayor de Shilcayo por su accesibilidad, estación del año verano para poder

obtener material puro, limpio y libre en su mayoría de malezas. Para el agregado fino se tomaron en cuenta los mismos criterios eligiendo fechas en las cuales el rio Sisa se encontraba en su nivel más bajo para poder sacar el material necesario.

2.4.2 Ensayos de los agregados

Los agregados utilizados en esta investigación forman en promedio un 75% del volumen total de las mezclas de concreto; participando en mayor proporción que cualquier otro material, otorgando muchas de las propiedades al concreto, haciendo indispensable los estudios físicos y químicos de este material previo al diseño.

La cuantificación de las propiedades del agregado, toma importancia porque son utilizados en los cálculos para el proporcionamiento de mezclas de concreto y en los aspectos que el diseñador debe considerar para la exposición que tendrá el concreto fabricado con los agregados durante la vida útil de la estructura. Esta cuantificación se lleva a cabo mediante ensayos a nivel de laboratorio. El desarrollo de estos ensayos se realizó en el laboratorio de Ensayo de Materiales de la Universidad Nacional de San Martin (UNSM), y se basó en el procedimiento que establece la norma ASTM C 33 y las Normas Técnicas Peruanas (NTP) correspondientes.

2.4.2.1 Peso específico y absorción del agregado fino (NTP 400.022)

Esta norma establece un método de ensayo para determinar el peso específico de la masa, el peso específico saturado superficialmente seco, el peso específico aparente y el porcentaje de absorción (después de saturarse 24 horas en el agua) del agregado fino.

Materiales:

- Balanza con sensibilidad de 0.1 g o menos y con capacidad de 1 Kg a más.
- Frasco volumétrico de 500 cm3 de capacidad, calibrado hasta ±0.1 cm3 a 20°C.
- Molde metálico con forma de tronco de cono de 40 mm ± 3 mm de diámetro en la parte superior, 90 mm ± 3 mm de diámetro en la parte inferior, y 75 mm ± 3 mm de altura.
- Barra compactadora de metal de 340 gramos ± 15gramos de peso con un extremo de superficie plana circular de 25 mm ± 3 mm de diámetro.
- Estufa capaz de mantener una temperatura de 110°C ± 5°C.

Preparación de la muestra

Se colocó aproximadamente 1000 gramos del agregado fino, obtenido del agregado que se desea ensayar por el método del cuarteo, en un envase adecuado. Después se secó a peso constante a una temperatura de 110°C ± 5ºC. Se cubrió la muestra con agua y se dejó en reposo durante 24horas ± 4 horas.

Se extendió sobre una superficie plana expuesta a una corriente suave de aire caliente y se removió con frecuencia para garantizar un secado uniforme. Se continuó esta operación hasta que los granos del agregado fino no se adhieran marcadamente ente sí. Luego se procedió a colocar el agregado fino en forma suelta en un molde cónico, golpeó la superficie suavemente 25 veces con el pisón de metal y se levanta el molde verticalmente.

Si existe humedad libre, el cono del agregado fino mantendrá su forma. Se siguió secando, revolviendo constantemente y se probó a intervalos frecuentes hasta que el cono se derrumbe al quitar el molde. Esto indica que el agregado fino ha alcanzado una condición superficialmente seca.

Procedimiento:

Se introdujo en el frasco una muestra de 500g ± 10 g del material en condición saturado superficialmente seco, llenó de agua hasta alcanzar aproximadamente el 90% de su

capacidad, a una temperatura de 23°C ± 2°C. Luego se hizo rodar el frasco sobre una superficie plana para eliminar todas las burbujas de aire, después del cual se colocó en un baño a temperatura constante de 23°C ± 2°C.

Después de aproximadamente 1 h ± 1/2 h, se llenó el frasco con agua hasta su capacidad de calibración, y se determinó el peso total del agua introducida en el frasco con aproximación. Se sacó el agregado fino del frasco se seca hasta peso constante a una temperatura de 100°C a 110°C, se enfrió a temperatura ambiente en un secador durante media hora a una hora y media, y se pesó.

Expresión de resultados:

- Peso específico de masa

Peso específico de masa $= \frac{w_0}{v - v_a}$

- Peso específico de masa saturada superficialmente seca

  Peso específico de masa $= \frac{500}{v - v_a}$

- Peso específico aparente

  Peso específico aparente $= = \frac{W_0}{v - v_a) - (500 - w_{seca})}$

- Absorción

  Absorción (%) $= \frac{500 - w_0}{w_0} x100$

Donde:

w_0= Peso en el aire de la muestra secada en la estufa.

Pe, a= Peso en el aire de la muestra saturada superficialmente seca.

V= Volumen del volumenómetro usado hasta la marca de calibración (fiola).

v_a= Volumen de agua añadida al volumenómetro, hasta la marca de calibración, luego de ser añadida la muestra.

2.4.2.2 Peso específico y absorción del agregado grueso (NTP 400.021)

Esta Norma establece un método de ensayo para determinar el peso específico de masa, el peso específico saturado superficialmente seco, el peso específico aparente y el porcentaje de absorción (después de saturarse 24 horas en agua) del agregado grueso.

Materiales

- Balanza con sensibilidad de 0.5 g y con capacidad de 5,000 g o más. La balanza estará equipada con un dispositivo capaz de suspender la muestra en la cesta con malla de alambre en el recipiente con agua desde del centro de la plataforma de pesado.
- Cesta con malla de alambre, con abertura correspondiente al tamiz N° 6, o menor, o un recipiente de aproximadamente igual ancho y altura con capacidad de 4 L a 7 L.

- Depósito estanco adecuado para sumergir la cesta de alambre en agua y un dispositivo para suspenderla del centro de la escala de la balanza.
- Estufa, capaz de mantener una temperatura de 110°C ± 5°C.

Preparación de la muestra

Se mezcló la muestra y se redujo aproximadamente a la cantidad necesaria usando el método del cuarteo descrito en la norma ASTM C 702, y luego descartó todo material que pasó por el tamiz 4.75 mm (Nº 4). El peso mínimo para el ensayo se detalla en la **Tabla 7**.

Tabla 7
Peso mínimo de la muestra de ensayo.

Tamaño Máximo Nominal mm (pulg)	Peso Mínimo de la Muestra de Ensayo kg (lb)
12.5 (1/2) o menos	2 (4.4)
19.0 (3/4)	3 (6.6)
25.0 (1)	4 (8.8)
37.5 (1 1/2)	5 (11.0)
50.0 (2)	8 (18.0)
63.0 (2 1/2)	12 (26.0)
75.0 (3)	18 (40.0)
90.0 (3 1/2)	25 (55.0)
100.0 (4)	40 (88.0)
112 (4 1/2)	50 (110.0)
125.0 (5)	75 (165.0)
150 (6)	125 (276.0)

Fuente: Recuperado de Norma Técnica Peruana 400.021 (2002), *"AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para peso específico y absorción del agregado grueso"*, Lima, Perú, p.8.

Procedimiento

Se secó la muestra en la estufa a una temperatura de 110°C ± 5°C, ventiló en un lugar fresco por 1 a 3 horas hasta que el agregado se haya enfriado a una temperatura que sea cómoda al tacto. Inmediatamente se sumergió la muestra del agregado en agua por 24 h ± 4 h.
Luego, se removió la muestra del agua e hizo rodar sobre un paño absorbente quitando toda la película de agua visible en la superficie. Posteriormente, se procedió a pesar la muestra en condiciones de saturación con superficie seca, y se colocó de inmediato en la cesta de alambre y determinó el peso en agua.

Expresión de resultados

- Peso específico de masa

  Peso específico de masa = $\frac{A}{B-C}$

- Peso específico de masa saturada superficialmente seca

  Peso específico de masa s.s.s. = $\frac{B}{B-C}$

- Peso específico aparente

  peso específico aparente = $\frac{A}{A-C}$

- Absorción

  Absorción (%) = $\frac{B-A}{A} x100$

Donde:

A= Peso en el aire de la muestra secada en la estufa.
B= Peso en el aire de la muestra saturada superficialmente seca.
C =Peso en el agua de la muestra saturada superficialmente seca.

2.4.2.3 Análisis granulométrico del agregado fino y grueso (NTP 400.012)

Esta Norma establece un método de ensayo para determinar la distribución por tamaño de las partículas del agregado fino y grueso**.**

Materiales:

- Balanzas: Para agregado fino, con aproximación de 0.1 gr. y exacta a 0.1 gr. ó 0.1% de la masa de la muestra. Para el agregado grueso, con aproximación y exacta a 0.5 gr. ó 0.01% de la masa de la muestra; para ambos agregados, cualquiera que sea mayor, dentro del rango de uso.
- Tamices: Estarán montados sobre armaduras construidas de manera que se prevea perdida de material durante el tamizado.

- Agitador Mecánico de Tamices: Para impartir un movimiento vertical o un movimiento lateral al tamiz, causando que las partículas tiendan a saltar y girar presentando así diferentes orientaciones a la superficie del tamizado.
- Horno: Capaz de mantener una temperatura uniforme de 110°C ± 5°C.

Preparación de la muestra:

Se tomó la muestra del agregado según la NTP 400.010. El tamaño de la muestra debió ser la cantidad indicada en la NTP 400.010 ó cuatro veces la cantidad requerida en el cuadro que se presenta para el agregado grueso.

Para el agregado fino, la cantidad de la muestra de ensayo, luego del secado, fue de 390 gramos como mínimo. Mientras que para el agregado grueso se detalla en la **Tabla 8.**

Tabla 8
Cantidad mínima de la muestra de agregado grueso.

Tamaño Máximo Nominal mm (pulg)	Cantidad de la Muestra de Ensayo, Mínimo kg (lb)
9.5 (3/8”)	1 (2)
12.5 (1/2”)	2 (4)
19.0 (3/4”)	5 (11)
25.0 (1”)	10 (22)
37.5 (1 ½”)	15 (33)
50.0 (2”)	20 (44)
63.0 (2 ½”)	35 (77)
75.0 (3”)	60 (130)
90.0 (3 ½”)	100 (220)
100.0 (4”)	150 (330)
125.0 (5”)	300 (660)

Fuente: Recuperado de Norma Técnica Peruana 400.012 (2001), *“AGREGADOS. Análisis granulométrico del agregado fino, grueso y global”*, Lima, Perú, p.5.

Procedimiento:

Primero, se procedió a secar la muestra a peso constante a una temperatura de 110°C ± 5°C. Luego, se seleccionaron los tamaños adecuados de tamices para proporcionar la información requerida por las especificaciones que cubran el material al ser ensayado, encajándolos en orden de abertura decreciente desde la tapa hasta el fondo y colocar la muestra sobre el tamiz

superior. Agitó los tamices por medio del agitador mecánico por un periodo suficiente aproximadamente de 10 minutos.

Se limitó la cantidad de material sobre el tamiz utilizado de tal manera que todas las partículas tengan la oportunidad de alcanzar la abertura del tamiz un número de veces durante la operación del tamizado.

Expresión de resultados:

Calcular el porcentaje que pasa, los porcentajes totales retenidos, o los porcentajes sobre cada tamiz, aproximadamente al 0.1% más cercano de la masa seca inicial de la muestra.

Si la misma muestra fue ensayada por el método de ensayo que se describe en la NTP 400.018, incluir la masa del material más fino que la malla (N° 200) calculada por el método del lavado y utilizar el total de la masa de la muestra seca previa al lavado descrito en el método de ensayo de la NTP 400.018, como base para calcular todos los porcentajes.
Cuando se requiera calcular el módulo de finura global, se hará sumando el porcentaje acumulado retenido del material de cada uno de los siguientes tamices: (porcentaje acumulado retenido) y dividir la suma entre 100: (N°100), (N°50), (N°30), (N°16), (N°8), (N°4), (3/8), (3/4), (1 ½), y mayores; incrementando en la proporción 2 a 1.
Por lo que el reporte incluirá lo siguiente:

- Porcentaje total que pasa cada tamiz.
- Porcentaje total retenido en cada tamiz.
- Porcentaje retenido entre tamices consecutivos.
- Reportar el módulo de fineza cuando se solicite.

2.4.2.4 Densidad de masa (Peso unitario) del agregado fino y grueso (NTP 400.017)

Mediante este método de ensayo se determina las relaciones masa/volumen del agregado y el recipiente, en condiciones de suelto y compactado y el cálculo del porcentaje de vacíos entre las partículas del agregado basados en la densidad de masa determinada.

Materiales:

- Balanzas: Con una exactitud dentro el 0,1% de la carga de ensayo en cualquier punto del rango de uso, con graduación al menos de 0,05 kg.

- Varilla de apisonado: Una varilla recta y lisa de acero, redondeada de 16 mm de diámetro y aproximadamente 600 mm de longitud, teniendo un extremo o ambos extremos de forma redondeada tipo semiesférica, con 16 mm de diámetro.
- Recipiente: De forma cilíndrica, de metal, preferiblemente provisto de asas. Será hermético a prueba de agua, con bordes superior e inferior firmes y parejos con precisión en sus dimensiones interiores y suficientemente rígidas para mantener su forma en condiciones severas de uso. El recipiente tendrá una altura aproximadamente igual al diámetro, pero en ningún caso tendrá una altura de menos del 80 % ni más del 150 % del diámetro. La capacidad del recipiente estará de conformidad con los límites de la **Tabla 9**, para el tamaño del agregado a ser ensayado.
- Cucharón: De tamaño conveniente para llenar el recipiente con el agregado

Tabla 9

Capacidad de los recipientes.

Tamaño Máximo Nominal mm (pulg)	**Cantidad de la Muestra de Ensayo, Mínimo m^3 (pie^3)**
12.5 (1/2)	0.0028 (1/10)
25.0 (1)	0.0093 (1/3)
37.5 (1 1/2)	0.0140 (1/2)
75.0 (3)	0.0280 (1)
100.0 (4)	0.0700 (2 1/2)
125.0 (5)	0.1000 (3 1/2)

Fuente: Recuperado de Norma Técnica Peruana 400.017 (2011), *"AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para determinar la masa por unidad de volumen o densidad ("Peso Unitario") y los vacíos en los agregados"*, Lima, Perú, p.4.

Preparación de la muestra:

El tamaño de la muestra fue aproximadamente de 125 % a 200 % la cantidad requerida para llenar el recipiente, y fue manipulada de manera de evitar la segregación. Se debió secar la muestra de agregado esencialmente a masa constante, preferiblemente en una estufa a 110ºC ± 5 ºC.

Procedimiento:

- **Compactado:** Se llenó el recipiente a 1/3 del total y niveló la superficie con los dedos. Luego, se apisonó la capa de agregado con 25 golpes con la varilla lisa uniformemente

distribuido sobre la superficie. Se llenó el recipiente a los 2/3 del total y nuevamente niveló y apisonó como anteriormente. Finalmente, se llenó el recipiente, apisonó nuevamente de la forma indicada y niveló la superficie del agregado con una espátula de manera que cualquier proyección leve de las partículas más grandes del agregado grueso aproximadamente haya equilibrado los vacíos mayores en la superficie por debajo de la parte superior del recipiente.

Finalmente, determinó la masa del recipiente más su contenido, y la masa del recipiente vacío, y registró los valores con exactitud de 0,05 kg.

- **Suelto:** Se llenó el recipiente hasta el reboce con el cucharón, teniendo cuidado a fin de prevenir, como sea posible, la segregación del tamaño de partículas que constituyen la muestra, luego, se niveló la superficie del agregado con una espátula de manera que cualquier proyección leve de las partículas más grandes del agregado grueso aproximadamente haya equilibrado los vacíos mayores en la superficie por debajo de la parte superior del recipiente. Finalmente, se determinó la masa del recipiente más su contenido, y la masa del recipiente vacío, y registró los valores con exactitud de 0,05 kg.

Expresión de resultados:

- Densidad de masa (Peso unitario) en condición seca.

  Densidad de masa = M= $\frac{G-T}{V}$

- Densidad de masa (Peso unitario) en condición saturada superficialmente seca.

  *Densidad de masa sss= M *(1+*$\frac{A}{100}$*)*

- Contenido de vacíos

  % de vacíos= 100(*$\frac{S*W-M}{S*W}$*)*

Donde:

G= Peso del recipiente más el agregado.

T= Peso del recipiente.

V= Volumen del recipiente.

A= Porcentaje de la absorción del agregado.

S= Peso específico de la masa.

W= Densidad del agua (998 kg/m3)

2.4.2.5 Material que pasa la malla N° 200 (NTP 339.132)

Este ensayo describe el procedimiento para determinar, por lavado, la cantidad de material fino que pasa el tamiz N° 200 en un agregado.
Durante el ensayo se separan de la superficie del agregado, por lavado, las partículas que pasan el tamiz N° 200, tales como: Arcilla, agregados muy finos, y materiales solubles en el agua.

Materiales:

- Balanza, con sensibilidad de por lo menos 0.1% del peso de la muestra que se va a ensayar.
- Dos tamices, siendo el menor de (N° 200), y el otro (N° 16).
- Recipientes.
- Estufa, de tamaño adecuado y capaz de mantener una temperatura constante y uniforme de 110 ± 5° C.

Muestra de Ensayo:
Tómese la muestra del agregado de acuerdo con los procedimientos descritos en la NTP (400.01). Redúzcase la muestra por cuarteo, hasta un tamaño suficiente, de acuerdo con el tamaño máximo del material, si va a ser sometida a tamizado en seco. En caso contrario, la muestra no será menor que la indicada en la **Tabla 10.**

Tabla 10

Cantidad Mínima de Material para el Ensayo

Tamaño nominal Máximo en (mm.)	**Peso Mínimo en (gr.)**
2.38 (N°8)	100
4.76 (N°4)	500
9.51 (3/8")	2000
19 (3/4")	2500
31.10 (1 ½" o mayor)	5000

Fuente: Tesis de José Luis Gonzales García

Procedimiento:

Séquese la muestra de ensayo, hasta peso constante, a una temperatura que no exceda los 110 ± 5°C. y pésese con una precisión de 0.1%.

Después de secada y pesada, colóquese la muestra de ensayo en el recipiente y asegúrese suficiente cantidad de agua por cubrirla. Agítese vigorosamente el contenido de recipiente y de inmediato viértase sobre el juego de tamices armado. Se considera satisfactorio el uso de una cuchara para agitar la muestra en el agua.

Agítese con suficiente vigor para lograr la separación total de todas las partículas más finas que el tamiz (N°200), y provocar la suspensión del material fino, de manera que pueda ser removido por decantación del agua de lavado. Es conveniente tener el cuidado necesario para no arrastrar las partículas más gruesas. Repítase esta operación hasta que el agua de lavado salgue completamente limpia.

Devuélvase todo el material retenido en el juego de tamices a la muestra lavada. Sáquese el agregado lavado hasta obtener un peso constante, a una temperatura que no exceda de 110 ± 5°C y pésese con una aproximación de 0.1% del peso de la muestra.

El agua empleada no debe contener detergentes, agentes dispersantes u otras sustancias de este tipo.

Expresión de resultados:

Calcúlese la cantidad de material que pasa el tamiz N° 200 por lavado de la forma siguiente:

% del material fino que pasa el tamiz N°200, por lavado $A = \left(\frac{B-C}{B}\right) * 100$

Donde:

A = Porcentaje del material fino que pasa el tamiz N° 200, por lavado.

B = Peso original de la muestra seca, en gramos.

C = Peso de la muestra seca, después de lavada, en gramos.

2.4.2.6 Análisis de Contenido Químico en Agregados.

Los métodos utilizados en la determinación de los contenidos de sulfatos, cloruros y sales solubles serán los clásicos, como gravimetrías, cromatografías, volumetrías, extracciones, destilaciones, que son los que pondremos en práctica.

Un análisis gravimétrico típico consta de tres pasos principales. En primer lugar, la muestra que se requiere pesar se disuelve para dar una solución. Luego el elemento o ion que se está analizando se hace reaccionar con un reactivo seleccionado para que precipite de la solución, como uno de sus compuestos. Finalmente, el precipitado se filtra y seca, y a veces se hace reaccionar otra vez o se calienta mucho (para formar un compuesto más estable) antes de ser pesado.

El análisis gravimétrico se debe realizar con pequeñas cantidades de sustancias, se necesitan por tanto balanzas muy precisas, como las de carga superior, de triple astil, de brazos iguales, híbridas, electrónicas, con errores en las medidas menores de $1x10^{-7}$ gramos.

El análisis volumétrico, lleva consigo la reacción de productos químicos en solución, para determinar la fuerza de uno de ellos. Si un químico quiere averiguar la cantidad de un ácido de una disolución, deberá utilizar una sustancia álcali que reaccione con él y que será conocida como sustancia estándar, de concentración conocida, los materiales implicados son matraz Erlenmeyer, balanza electrónica, pipetas y bureta, tomamos un volumen conocido del ácido a valorar y la introducimos en el Erlenmeyer, en la bureta colocamos el álcali de concentración conocida, la reacción final se detecta por la presencia de una sustancia llamada indicador que vira de color cuando ha terminado la reacción entre el ácido y la base, de este modo sabemos qué cantidad de base ha requerido dicho ácido para su total neutralización, obteniendo como productos finales agua salada y el indicador.

La gama de indicadores es muy amplia, y los márgenes de viraje son los necesarios para identificar el carácter ácido o básico de las sustancias; tenemos a la fenolftaleína, azul de metileno, anaranjado de metilo, papel indicador universal o tornasol, el almidón que se usa para averiguar la presencia de yodo, etc.

El objetivo de estas determinaciones permite verificar mediante procedimientos establecidos, los contenidos de elementos y/o sustancias nocivas presentes en los agregados existentes y su interacción con el concreto.

2.4.2.6.1 Contenido de Sulfatos Solubles (NTP 339.177).

Poner 4-5 c.c de agua en un tubo de ensayo, añadir tres o cuatro gotas de ácido clorhídrico y calentar, una vez empiece a hervir se añaden unas gotas de cloruro de bario, un precipitado blanco indica presencia de sulfatos.

2.4.2.6.2 Contenido De Cloruros Solubles (NTP 339.178).

Colocar 1-2 cm3 de agua en un tubo de ensayo, añadir unas gotas de ácido nítrico y unas gotas de nitrato de plata, si el ion CLORURO está presente se formará un precipitado de color blanco que es cloruro de plata.

2.4.2.7 Ensayo de Abrasión (ASTM C-131)

En los agregados gruesos una de las propiedades físicas en los cuales su importancia y su conocimiento son indispensables en el diseño de mezclas es la RESISTENCIA A LA ABRASIÓN O DESGASTE de los agregados.

La prueba consiste en hacer golpear una muestra de material con una carga abrasiva dentro de un tambor metálico (giratorio), a una determinada velocidad.

La evaluación de la resistencia a la abrasión se realiza a partir del incremento en material fino que se produce por el efecto de golpeo con la carga abrasiva dentro del tambor cilíndrico. Y de esta manera, medir el desgaste producido por una combinación de impacto y rozamiento superficial en una muestra de agregado de granulometría preparada. La resistencia a la abrasión se usa generalmente como un índice de calidad de los agregados, ya que proporciona cierta indicación de la capacidad de éstos para producir concretos resistentes.

Para determinar la resistencia al desgaste de los agregados se emplea el ensayo en la máquina de Los Ángeles, de acuerdo con la Norma ASTM C-131. Este ensayo consiste básicamente en colocar el agregado dentro de un cilindro rotatorio con una carga de bolas de acero por

un periodo de tiempo especificado, después de lo cual se determina el porcentaje de desgaste sufrido.

El agregado grueso ensayado a desgaste no deberá mostrar una pérdida mayor del 50 por ciento en peso. Para grava, grava triturada o roca triturada.

2.4.2.8 Ensayo de Durabilidad (ASTM C 150)

Bajo la luz de las normas vigentes, la durabilidad se ratifica como propiedad fundamental para el diseño de estructuras en concreto. Instituciones de carácter normativo como el ACI (American Concrete Institute), las normas ASTM, entre otras, le han dado la relevancia al diseño de estructuras bajo la óptica de la durabilidad como factor fundamental.

El ACI define la durabilidad del concreto de cemento Portland, como "La habilidad para resistir la acción del intemperismo, el ataque químico, la abrasión, o cualquier otro proceso o condición de servicio de las estructuras, que produzca deterioro del concreto." De esta manera se entiende que la durabilidad no depende únicamente de la elaboración del concreto sino del medio al que este se exponga.

La durabilidad de una estructura se debe plantear desde varios niveles. Para el caso específico del objeto de esta tesis, se pretende visualizar desde la perspectiva del material, específicamente del concreto.

2.4.2.8.1 Ataque Ion Sulfato

El ion sulfato aparece en mayor o menor proporción en todas las aguas libres subterráneas. El contenido de ion sulfato de las aguas subterráneas es considerable en los terrenos arcillosos, constituyendo uno de los más importantes alimentos de los vegetales. En zonas áridas los sulfatos se pueden presentar en las arenas como material de aporte y en rocas carbonatadas de origen sedimentario.

Los sulfatos más abundantes en los suelos son: sulfatos de calcio, de magnesio y de sodio, todos ellos de diferente solubilidad. La acción de los sulfatos se produce sobre el hidróxido de calcio y fundamentalmente sobre el aluminato de calcio C_3A y el ferro aluminato tetra cálcico C_3FA

El ataque del sulfato se manifiesta con una exudación de apariencia blanquecina y agrietamiento progresivo que reduce al concreto a un estado quebradizo y hasta suave.

La acción del sulfato de calcio es relativamente simple, ataca al aluminato tricálcico y en menor medida al ferro aluminato tetra cálcico, produciendo sulfoaluminato tricálcico (etringita) e hidróxido de calcio (portlandita). La acción del sulfato de sodio es doble, reacciona primero con el hidróxido de calcio generando durante la hidratación del cemento, formando sulfato de calcio e hidróxido de sodio. A su vez el sulfato de calcio ataca al aluminato tricálcico formando etringita

La acción del sulfato de magnesio es la que produce un mayor daño, en cuanto actúa sobre las fases de la pasta de cemento, como son los silicatos cálcicos, mediante una serie de acciones complejas que modifican el PH de las pastas de cemento.

El ataque por sulfatos es uno de los más peligrosos para el concreto, el agente agresivo comienza por atacar los granos de Clinker hidratados, la pasta de cemento sufre cierta expansión, se torna blanda y por último se agrieta.

De los cuatro compuestos de cemento Portland (al minato tricálcico, aluminato tetra cálcico, silicato bicálcico y silicato tricálcico) el más vulnerable es el aluminato tricálcico (C_3A) éste compuesto reacciona con el sulfato de calcio ($CaSO_4$) mas 32 moléculas de agua (32 H_2O) formándose un sulfoaluminato cálcico llamado etringita (C_3A 3 $CaSO_4$) que es poco soluble y que crea muy fuertes presiones por su aumento de volumen (expansión) que es alrededor de 2.3 veces el original.

$CaSO_4 + C_3A + 32H_2O \rightarrow C_3A\ 3\ CaSO_4.\ 32\ H_2O$

El sulfato de calcio es más agresivo que el de sodio y el de magnesio, su ataque sobre el concreto, que puede ser físico o fisicoquímico, se da por reacción con el aluminato cálcico hidratado, generando la formación de yeso en los capilares y espacios vacíos.

Este efecto inicialmente aumenta la compacidad del concreto, pero como el yeso es un compuesto expansivo, finalmente deteriora el material Teniendo en cuenta esto, se han generado múltiples recomendaciones y normas en las que se especifican ciertas características con las cuales se debe contar para lograr un concreto durable y resistente a sulfatos.

En esencia las características que debe tener un concreto para reducir el impacto del ataque de los sulfatos son:

- Garantizar la baja permeabilidad y porosidad del concreto.

- Reducir la reacción que tiene los sulfatos con el aluminato tricálcico.

Para garantizar la baja permeabilidad del concreto es recomendado disminuir la relación agua cemento de la mezcla, teniendo siempre en cuenta que esta no provoque posteriormente fisuras por contracción del concreto, por el calor de hidratación de la pasta de cemento.

La segunda característica se debe especialmente al tipo de cemento empleado en la mezcla. De esta manera, y de acuerdo a la ASTM C 150.

Existen cementos de alta resistencia a los sulfatos (Tipo V y Tipo II), los cuales tienen un contenido moderado de Aluminato tricálcico lo que hace menos vulnerable a la mezcla de reaccionar ante la presencia de los sulfatos.

2.4.2.8.2 Soluciones Necesarias

2.4.2.8.2.1 Solución de sulfato de sodio.

La solución saturada de sulfato de sodio, se prepara disolviendo el peso necesario de sal del tipo "comercial", en agua a la temperatura de 25 a 30°C (77 a 86 °F).
Se añade suficiente cantidad de sal, bien de la forma anhidra (Na_2SO_4) o cristalizada ($Na_2SO_4.10H_2O$), para asegurar no solamente que la solución esté saturada, sino también que quede un exceso de cristales cuando la solución esté preparada. Se agita bien la solución mientras se está preparando.
Se enfría la solución a 21 ± 1 °C (140±2° F) y se mantiene a esta temperatura por lo menos durante 48 horas antes de emplearla; se agita bien, inmediatamente antes de usarla, y en este momento debe tener un peso específico entre 1.151 y 1.174.
La solución que presente impurezas debe filtrarse y debe volverse a comprobar su peso específico.

2.4.2.8.2.2 Solución de sulfato de magnesio.

Se prepara disolviendo el peso necesario de sal del tipo “comercial", en agua a la temperatura de 25 a 30 °C (77 a 86 °F).
Se añade suficiente cantidad de sal, bien de la forma anhidra ($MgSO_4$) o cristalizada ($MgSO_4.7H_2O$), para asegurar no solamente que la solución esté saturada, sino también que quede un exceso de cristales cuando la solución esté preparada.

Se agita bien la solución mientras se está preparando. Se enfría la solución a una temperatura de 21 ±1 °C (70 ±2 °F), y se mantiene a esta temperatura por lo menos durante 48 horas antes de emplearla; inmediatamente antes de usarla se agita bien, y en este momento tendrá un peso específico comprendido entre 1.295 y 1.302. La solución que presente impurezas debe filtrarse y debe volverse a comprobar su peso específico.

2.4.2.8.3 Muestras

Agregado fino. - La muestra del agregado fino debe pasar toda por el tamiz de 9.5 mm (3/8"). La muestra tendrá el peso suficiente para poder obtener 100 g de cada una de las fracciones que se indican a continuación, que estén presentes la muestra en cantidad mayor del 5%.

Tabla 11

Peso Mínimo Requerido de Agregado Fino.

Tamaño		**Peso mínimo requerido**
Pasa	**Retiene**	**(g)**
3/8"	N° 04	100
N° 04	N° 08	100
N° 08	N° 16	100
N° 16	N° 30	100
N° 30	N° 50	100
N° 50	N° 100	100
< Nº 100		

Fuente: EG 2013 – MTC

Agregado grueso. - La muestra del agregado grueso debe ser un material del que se han eliminado todas las fracciones inferiores- al tamiz de 4.75 mm (No. 4). Estos tamaños eliminados se ensayan de acuerdo con el procedimiento para el agregado fino. La muestra debe tener, como mínimo, el peso suficiente para obtener de ella, las cantidades de, las fracciones indicadas en la Tabla 8, que estén presentes en cantidad de 5% como mínimo.

Tabla 12

Peso Mínimo Requerido de Agregado Grueso.

Tamaño		Peso requerido (g)
Pasa	**Retiene**	
2 1/2"	2"	3000±300
2"	1 1/2"	2000±200
1 1/2"	1"	1000±50
1"	3/4"	500±30
3/4"	1/2"	670±10
1/2"	3/8"	330±5
3/8"	Nº 4	300±5

Fuente: EG 2013 – MTC

2.4.2.8.4 Preparación de las Muestras

2.4.2.8.4.1 Agregado fino.

La muestra de agregado fino se lava bien sobre un tamiz de 300 μm (No. 50); se seca hasta peso constante, a una temperatura de 110 ±5 °C (230±9°F) y se separa en las diferentes fracciones por medio de un tamizado realizado de la siguiente manera:

- Se hace primero una separación aproximada, por medio de una serie de los tamices indicados.
- De cada una de las fracciones obtenidas de esta forma se separa la suficiente cantidad de muestra para poder obtener 100 g, después de tamizar sobre el correspondiente tamiz hasta rechazo (en general, son suficientes unos 110 g).
- Las partículas de agregado fino que quedan encajadas en la malla del tamiz, no se emplean en la preparación de la muestra. Las muestras de 100 g, de cada una de las fracciones, después del tamizado final, se pesan y colocan por separado en los recipientes para ensayo.

2.4.2.8.4.2 Agregado grueso.

La muestra de agregado grueso se lava bien, se seca hasta peso constante, a una temperatura de 110 ±5 °C (230±9 °F) y se separa en las diferentes fracciones indicadas en el numeral 4.2, por tamizado hasta rechazo. La cantidad requerida de cada una de estas fracciones, se pesa y se coloca, por separado, en los recipientes para ensayo. En el caso de las fracciones con tamaño superior a 19 mm (3/4"), se cuenta también el número de partículas.

Cuando son rocas deberán ser rotas en fragmentos uniformes, se pesarán 100 gr, de c/u. La muestra de ensayo pesará 5000 gr.±2%. La muestra será bien lavada y secada antes del ensayo.

2.4.2.8.5 Procedimiento de Ensayo

2.4.2.8.5.1 Inmersión de las muestras en la solución.

Las muestras se sumergen en la solución de sulfato de sodio o de magnesio, durante un periodo no menor de 16 horas ni mayor de 18 horas, de manera que el nivel de la solución quede por lo menos 13 mm por encima de la muestra. El recipiente se cubre para evitar la evaporación y la contaminación con sustancias extrañas. Las muestras sumergidas en la solución, se mantienen a una temperatura de 21 ±1°C (70 ±2 °F), durante todo el tiempo de inmersión.

2.4.2.8.5.2 Secado de las muestras, posterior a la inmersión.

Después de la inmersión se saca de la solución dejándola escurrir durante 15 ±5 minutos y se la introduce en el horno, cuya temperatura se habrá regulado previamente a 110 ±5 °C (230 ±9 °F). Se secan las muestras hasta obtener un peso constante a la temperatura indicada. Durante el periodo de secado se sacan las muestras del horno, enfriándolas a la temperatura ambiente, y se pesan a intervalos de tiempo no menores de 4 horas ni mayores de 18 horas. Se puede considerar que se ha alcanzado un peso constante, cuando dos pesadas sucesivas de una muestra, difieren menos de 0.1 g en el caso del agregado fino, o menos de 1.0 g en el caso del agregado grueso.

Una vez alcanzado el peso constante, se sumergen de nuevo las muestras en la solución.

El proceso de inmersión y secado de las muestras se prosigue, hasta completar el número de ciclos que se especifiquen.

Después de terminado el último ciclo y de que la muestra se haya enfriado, se lava hasta que quede exenta de sulfato de sodio o de magnesio, lo cual se reconoce en las aguas de lavado por la reacción al contacto con Cloruro Bárico ($BaCl_2$)

Después de eliminar todo el sulfato de sodio o de magnesio, cada fracción de la muestra se seca hasta obtener un peso constante, a una temperatura de 110 ±5 °C (230 ±9 °F), y se pesa. Se tamiza el agregado fino sobre los mismos tamices en que fue retenido antes del ensayo, y el agregado grueso sobre los tamices indicados a continuación, según el tamaño de las partículas.

2.4.2.9 Ensayo Químicos en Agua (NTP 339.034)

Los ensayos químicos en gua realizados en el presente trabajo de tesis, han sido elaborados siguiendo las recomendaciones y lineamientos de la NORMA TECNICA DE EDIFICACIÓN E.060 CONCRETO ARMADO, según procedimiento establecido por el Comité 318 ACI, adaptada por la NTP 339.034.

Lo Portland Cement Association (P. C. A.), describe que un agua natural que es bebible y que no tiene un pronunciado sabor u olor, puede ser usado como agua de mezcla para fabricar concretos, sin embargo, un agua apropiada para hacer concreto no puede ser necesariamente apta para ser bebida.

El objetivo de los presentes trabajos es verificar mediante procedimientos establecidos, los contenidos de elementos y/o sustancias nocivas para el uso del agua en la elaboración de concretos y procesos de curado.

Los resultados y cuidados en obra, son representación del control de calidad de los materiales componentes que intervienen en la elaboración de concretos, verificándose la efectividad de la mezcla de diseño.

El agua a ser empleada en la preparación del concreto ha sido evaluada a partir de los requisitos de la Norma NTP 339.088, potable.

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

Tabla 13

Límites permisibles para el agua de mezcla y curado

Descripción	Limite permisible
Sólidos en suspensión	5,000 ppm Máximo
Materia Orgánica	3 ppm Máximo
Alcalinidad (NaCHCO3)	1,000 ppm Máximo
Sulfatos (ion SO4)	600 ppm Máximo
Cloruros (ion Cl-)	1,000 ppm Máximo
pH	5 a 8 Máximo

Fuente: Norma NTP 339.088

2.4.2.9.1 Identificación de Cloruros

Materiales

- Tubo de ensayo grande
- Dos tubos de ensayo pequeños
- Dos goteros
- Probeta de 10 cm3

Insumos

- Nitrato de plata
- Ácido Nítrico 60 %
- Cloruro de sodio, para el ensayo

Preparación de los reactivos

- Nitrato de plata: Disolver 0,17 g de Nitrato en 10 cm3 de agua destilada.

Procedimiento

Medir 10 ml de muestra de agua. En un matraz Erlenmeyer añadir 50 ml de agua destilada, agregar 3 a 4 gotas de Cromato de Potasio, medir PH, ajustar si es necesario.

Colocar la solución de nitrato de plata en una bureta, añadir unas gotas en la muestra solución hasta obtener cambio de coloración, si el ion cloruro está presente se formará un precipitado de color rojizo, anotar el consumo.

El cálculo se hará de la siguiente manera:

$$\frac{VAg\ NO3*N*f*1000}{Vol\ muestra}$$

2.4.2.9.2 Identificación de Sulfatos

Materiales

- Tubo de ensayo grande
- Espátula
- Vidrio de reloj

- Balanza
- Dos tubos de ensayo pequeños
- Mechero
- Una probeta de 10 cm3
- Dos goteros

Insumos

- Ácido clorhídrico 35%
- Cloruro de Bario
- Sulfato de sodio para el ensayo.

Preparación de los reactivos

Ácido clorhídrico: Mezclar 5 cm3 de ácido clorhídrico del 35 % y 25 c.c de agua destilada.
Cloruro de Bario: Disolver 1 g de cloruro de Bario di hidratado en 10 c.c de agua destilada.

Procedimiento

Poner 4-5 c.c de agua en un tubo de ensayo, añadir tres o cuatro gotas de ácido clorhídrico y calentar, una vez empiece a hervir se añaden unas gotas de cloruro de bario, un precipitado blanco indica presencia de sulfatos. Anotar el consumo

El cálculo se hará de la siguiente manera:

$$\frac{VBa\ So4 * N * f * 1000}{Vol\ muestra}$$

2.4.3 Mitología para el diseño de mezcla (A.C.I. 211.1)

El método A.C.I. es un método de dosificación para el diseño de mezclas de concreto; se basa en medir los materiales (cemento, agua, agregado fino y grueso) en peso y volumen, y se diseña tanto para una mezcla en estado fresco como endurecido.

Preparación de los datos:

Antes de diseñar la mezcla, se debió tener datos previos de materiales que se usaran:

- Análisis granulométrico de los agregados.
- Módulo de finura del agregado fino.

- Peso unitario compactado de los agregados (fino y grueso).
- Peso específico de los agregados (fino y grueso).
- Contenido de humedad y porcentaje de absorción de los agregados (fino y grueso).
- Tipo y peso específico del cemento.

Procedimiento:

Se resume el procedimiento de diseño de mezclas de concreto, en 9 pasos que son:

- Determinación de la resistencia requerida.
- Elección del asentamiento, revenimiento o Slump.
- Elección del tamaño máximo nominal de agregado grueso.
- Cálculo del agua de mezclado y el contenido de aire.
- Selección de la relación agua/cemento (a/c).
- Cálculo del contenido de cemento.
- Estimación del contenido de agregado grueso.
- Estimación del contenido de agregado fino.
- Ajuste por humedad del agregado.
- Ajustes en las mezclas de prueba.

2.4.3.1 Determinación de la resistencia requerida.

Existen tres casos para determinar la resistencia requerida de la mezcla de concreto:

Caso 1: Si se cuenta con datos estadísticos de producción en obra, así como resultados de la rotura de probetas.
Caso 2: No se cuenta con suficientes datos estadísticos (entre 15 y 30 resultados).

Caso 3: Se cuenta con escasos (menos de 15 ensayos) o ningún dato estadístico.
Se determinó la resistencia requerida en función a la disponibilidad de información que se tuvo, por lo que se utilizó el Caso 3.

Tabla 14

Resistencia a la compresión requerida

F'c especificado (Kg/cm2)	F'c requerido (Kg/cm2)
< 210	F'c + 70
210 a 350	F'c + 84
> 350	F'c + 98

Fuente: Recuperado de Ana Torre Carrillo (2004), *"Curso básico de tecnología del concreto"*, Lima, Perú, p.93.

2.4.3.2 Elección del asentamiento, revenimiento o Slump

El asentamiento requerido fue seleccionado para que el concreto tuviese una consistencia plástica, el cual está entre 3" y 4". El asentamiento también puede ser seleccionado según el tipo de estructura a realizar, según la **Tabla 15:**

Tabla 15

Asentamientos recomendados para diversos tipos de estructuras

Tipo de estructura	Slump máx.	Slump mín.
Zapatas y muros de cimentación reforzados	3"	1"
Cimentaciones simples y calzaduras	3"	1"
Vigas y muros armados	4"	1"
Columnas	4"	2"
Muros y pavimentos	3"	1"
Concreto ciclópeo	2"	1"

Fuente: Recuperado de Ana Torre Carrillo (2004), *Curso básico de tecnología del concreto"*, Lima, Perú, p.102.

2.4.3.3 Elección del tamaño máximo nominal de agregado grueso

Se eligió una adecuada granulometría teniendo en cuenta que se debe obtener una masa compacta y con menos vacíos, a la vez, debe ser económicamente compatible con las dimensiones de la estructura; en la medida en que el tamaño máximo nominal del agregado grueso nunca será mayor de:

- 1/5 de la dimensión más angosta entre caras del encofrado.
- 1/3 del espesor de las losas.

- 3/4 de la distancia libre entre barras o paquetes de barras o cables pretensores.

2.4.3.4 Cálculo del agua de mezclado y el contenido de aire.

La cantidad de agua por unidad de volumen de concreto necesario para obtener el asentamiento deseado, depende del tamaño máximo nominal, perfil, textura y granulometría de los agregados, así como de la cantidad de aire incorporado, no siendo apreciablemente afectada por la cantidad de cemento. La **Tabla 16** proporcionó la cantidad de agua (en kg/m³ de concreto) y el porcentaje de aire atrapado en función de las siguientes variables:

- Tipo de concreto
- Asentamiento
- Tamaño máximo nominal del agregado

Tabla 16

Requerimientos aproximados de agua de mezclado y de contenido de aire para diferentes valores de asentamiento y tamaños máximos nominales de agregados.

Asentamiento o Slump		**Agua, kg/m³ de concreto para los tamaños máximos nominales de agregado indicados**							
(pulg)		**3/8**	**1/2**	**3/4**	**1**	**1 1/2**	**2**	**3**	**6**
Concreto sin aire incluido									
1 a 2		207	199	190	179	166	154	130	113
3 a 4		228	216	205	193	181	169	145	124
6 a 7		243	228	216	202	190	178	160	-
Cantidad aproximada de aire atrapado en el concreto sin aire incluido, %		3.0	2.5	2.0	1.5	1.0	0.5	0.3	0.2
Concreto con aire incluido									
1 a 2		181	175	168	160	150	142	122	107
3 a 4		202	193	184	175	165	157	133	119
6 a 7		216	205	197	184	174	166	154	-
Contenido promedio total de aire, para el nivel de exposición, %									
Exposición	**Ligera**	4.5	4.0	3.5	3.0	2.5	2.0	1.5	1.0
	Moderada	6.0	5.5	5.0	4.5	4.5	4.0	3.5	3.0
	Severa	7.5	7.0	6.0	6.0	5.5	5.0	4.5	4.0

Fuente: Recuperado de José Frank Rojas Luján (2015), *"Estudio experimental para incrementar la resistencia de un concreto de F'c=210 kg/cm* ^{2} *adicionando un porcentaje de vidrio sódico cálcico"*, Lima, Perú, p.29.

2.4.3.5 Selección de la relación agua/cemento (a/c).

Una vez determinado el valor de la resistencia requerida (F'cr) y si el concreto será con o sin inclusión de aire, se procedió a determinar la relación a/c según la **Tabla 17**, suponiendo un tamaño máximo de agregado de 3/4" a 1":

Tabla 17
Correspondencia entre la relación agua/cemento y la resistencia a la compresión.

Resistencia a compresión a 28 días, kg/cm^2	Relación agua/cemento, por peso	
	Concreto sin aire incluido	Concreto con aire incluido
420	0.41	-
350	0.48	0.40
280	0.57	0.48
210	0.68	0.59
140	0.82	0.74

Fuente: Recuperado de José Frank Rojas Luján (2015), *"Estudio experimental para incrementar la resistencia de un concreto de F'c=210 kg/cm ^{2} adicionando un porcentaje de vidrio sódico cálcico"*, Lima, Perú, p.30.

2.4.3.6 Calculo del contenido de cemento

El cemento requerido es igual al contenido estimado de agua de mezclado dividido entre la relación a/c.

$$Contenido\ de\ cemento\ (en\ kg/m3) = \frac{Agua\ de\ mezclado\ (kg/m^3}{Relacion\frac{a}{c}(\ para\ F´cr)}$$

2.4.3.7 Estimación del contenido de agregado grueso

El método A.C.I. fue usado ya que los agregados cumplen con las recomendaciones granulométricas ASTM C33, y este consiste en hallar el volumen de agregado grueso por metro cúbico de concreto; para esto se hizo uso de la **Tabla 18,** que muestra el volumen de agregado grueso por unidad de volumen de concreto, con base a la densidad de masa (peso unitario) compactada o varillada seca, para un m3 de concreto. Este volumen se convierte a peso seco del agregado grueso requerido en un m3 de concreto, multiplicándolo por la densidad de masa (peso unitario) compactada en seco por m³ de agregado grueso.

$$Contenido\ de\ agregado\ grueso\ \left(en\frac{kg}{m^3}\right) = \left(b\frac{b}{a}\right) x\ densidad\ de\ masa\ seca\ y\ cmpactada$$

Donde:

b= Volumen absoluto o solido del agregado grueso, por unidad de volumen de concreto

$b_a =$ Volumen absoluto o solito del agregado grueso, por unidad de volumen compactado de agregado grueso.

Tabla 18

Volumen de agregado grueso por volumen de concreto

TMN del agregado grueso	Volumen del agregado grueso seco y compactado por unidad de volumen de concreto para diversos módulos de fineza del fino (b/b_o)			
	2.40	**2.60**	**2.80**	**3.00**
3/8”	0.50	0.48	0.46	0.44
1/2"	0.59	0.57	0.55	0.53
3/4"	0.66	0.64	0.62	0.6
1”	0.71	0.69	0.67	0.65
1 1/2"	0.76	0.74	0.72	0.7
2”	0.78	0.76	0.74	0.72
3”	0.81	0.79	0.77	0.75
6”	0.87	0.85	0.83	0.81

Fuente: Recuperado de Ana Torre Carrillo (2004), *“Curso básico de tecnología del concreto”*, Lima, Perú, p.103.

2.4.3.8 Estimación del contenido de agregado fino

Existen dos métodos para la determinación del contenido de agregado fino, el método de los pesos y el método de los volúmenes absolutos, ambos métodos basados en conocer todos los ingredientes, a excepción del agregado fino, por metro cúbico, pudiendo hallarse el mismo por diferencia.

Según Flavio Abanto Castillo (2009), el método de los volúmenes absolutos es el procedimiento más exacto para el cálculo de la cantidad de agregado fino por metro cúbico de concreto, el cual implica el empleo de los volúmenes desplazados por los ingredientes o volúmenes absolutos de los mismos, es decir, el volumen absoluto del agregado fino es igual a la diferencia entre el volumen unitario del concreto y la suma de los volúmenes absolutos de los ingredientes ya conocidos (cemento, agua, aire, agregado grueso)

$$Volumen(m^3) = \frac{Peso\ seco}{Peso\ especifico}$$

2.4.3.9 Ajuste por humedad del agregado

- **Corrección por humedad del diseño de mezcla en estado seco.**

Se tuvo en cuenta la humedad de los agregados para pesarlos correctamente ya que generalmente los agregados están húmedos y a su peso seco debe sumarse el peso del agua que contienen, tanto absorbida como superficial.

$Peso\ agregado\ húmedo = Peso\ agregado\ seco\ (1 + Cont.\ humedad\ del\ agregado\ (\%))$

- **Determinación del agua efectiva**

El agua a utilizarse en la mezcla de prueba debe incrementarse o reducirse en una cantidad igual a la humedad libre que contiene el agregado, esto es, humedad total menos absorción. Para esto se utilizará la siguiente formula:

$Aporte\ de\ humedad\ de\ los\ agregados = Peso\ agregado\ seco\ (\%\ Cont.\ de\ humedad - \%\ absorción)$

Entonces:

$Agua\ efectiva = Agua\ de\ diseño - Aporte\ de\ humedad\ de\ los\ agregados$

2.4.3.10 Ajuste en la mezcla de prueba

Finalmente, luego de obtener todos los datos para el diseño de mezcla del concreto, se procede a graduarlos a las unidades requeridas.

2.4.4 Validez y confiabilidad de la metodología

Para los fines de validación, se utilizan normalmente ciertas mediciones estadísticas, que nos ayudan a establecer si el método se encuentra dentro de un parámetro aceptable, normalmente se determinan las siguientes:

2.4.4.1 Media

Conocida también como media aritmética o promedio, es la cantidad total de la variable (muestra o medida) distribuida a partes iguales entre cada observación. En términos matemáticos, es igual a la suma de todos sus valores dividida entre el número de sumandos.

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^{n} x_i}{n}$$

Donde:

x_i= valor de una lectura

n= número de lecturas

2.4.4.2 Mediana

Es el valor que ocupa el lugar central de un conjunto de lecturas, ubicado luego de ordenar las lecturas en orden ascendente.

$$M_e = \frac{n+1}{2}, para\ lecturas\ impares$$

$$M_e = \frac{n}{2}, para\ lecturas\ pares$$

Donde:

M_e= Posición del valor o de los valores centrales

n= número de lecturas

Cuando existían dos valores centrales, estos deberán sumarse y dividirse entre dos para determinar un único valor central, el cual será el valor de la Mediana.

2.4.4.3 Moda

Es el valor de la variable con mayor frecuencia. Podrá existir más de un valor para la Moda.

2.4.4.4 Desviación estándar (σ, S)

es el promedio de lejanía de los valores obtenidos (lecturas) respecto del promedio.

$$S=\frac{\sqrt{\sum_{i=1}^{n}(x_i-\bar{X}^2}}{n-1}$$

Donde:

x_i= valor de una lectura

$\bar{X}$= Promedio de la totalidad de lecturas

n= número de lecturas

2.4.4.5 Coeficiente de variación (CV)

Es la desviación estándar dividida por la media. También es conocida como desviación estándar relativa. El coeficiente de variación puede ser expresado en porcentaje:

$$\%CV = \frac{S}{\bar{X}} * 100$$

Donde:

S= Desviación estándar de las lecturas

$\bar{X}$ = Promedio de la totalidad de lecturas

2.4.4.6 Varianza

Es una medida de dispersión definida como el cuadrado de la desviación estándar

$$S^2 = \frac{\sum_{i=1}^{n}(x_i - \bar{X})^2}{n-1}$$

Donde.

x_i= valor de una lectura

$\bar{X}$ = Promedio de la totalidad de lecturas

n= número de lecturas

2.4.4.7 Asimetría

El coeficiente de asimetría permite identificar la distribución de los datos alrededor del punto central (Media). La asimetría presenta tres estados diferentes, cada uno definiendo de manera concisa la distribución de los datos respecto al eje de asimetría.

$$g_1 = \frac{\sum_{i=1}^{n}(x_i - \bar{X})^3}{n * S^3}$$

Donde:

x_i= valor de una lectura

$\bar{X}$ = Promedio de la totalidad de lecturas

n= número de lecturas

S= Desviación estándar de las lecturas

Si g_1>0, la distribución será asimétrica positiva o a la derechas (desplazada hacia la derecha).

Si g_1=0, la distribución será simétrica

Si g_1<0, la distribución será asimétrica negativa o a la izquierda (desplazada hacia la izquierda)

2.4.4.8 Curtosis o apuntamiento

El Coeficiente de Curtosis o Apuntamiento de Fischer pretende comparar la curva de una distribución con la curva de la distribución normal, en función de la cantidad de valores extremos y la distribución. Basándose en el dato de que en una distribución normal se verifica que:

$$\frac{\sum_{i=1}^{n}(x_i - \bar{X}\,4}{n * S^4}$$

Se define el Coeficiente de Cortosis de Fisher como:

$$K = g_2 = \frac{\sum_{i=1}^{n}(x_i - \bar{X})^4}{n * S^4} - 3$$

Donde.

x_i= valor de una lectura

$\bar{X}$ = Promedio de la totalidad de lecturas

n= número de lecturas

S= Desviación estándar de las lecturas

Si g_2>0, la distribución será leptocúrtica o más apuntada que lo normal.

Si g_2=0, la distribución será mesocúrtica o normal.

Si g_2<0, la distribución será platicúritca o menos apuntada que lo normal.

2.4.4.9 Distribución normal

Distribución continúa conocida también como distribución Gaussiana, la distribución de una variable normal está completamente determinada por dos parámetros, su media y su desviación estándar, denotadas generalmente por μ y σ. La distribución normal se caracteriza por tener una única moda, que coincide con su media y su mediana. Su expresión gráfica es una curva normal, cuya forma es similar a los histogramas con forma de campana, es conocida como campana de gauss que es simétrica respecto a su media y asintótica al eje de abscisas, esto hace que cualquier valor entre -∞ y +∞ es teóricamente posible.

2.4.4.10 Nivel de significancia (α)

Es un umbral que permite determinar si el resultado de un estudio se puede considerar estadísticamente significativo después de realizar las pruebas estadísticas planificadas. Esto representa la probabilidad de rechazar la hipótesis nula cuando es verdadera.

2.4.4.11 Grados de libertad

Los grados de libertad están dados por el número de valores que pueden ser asignados de forma arbitraria, antes de que el resto de las variables tomen un valor automáticamente, producto de establecerse las que son libres, esto, con el fin de compensar e igualar un resultado el cual se ha conocido previamente.

Se encuentran mediante la fórmula $n - r$ donde n es el número de lecturas en la muestra que pueden tomar un valor y r es el número de sujetos cuyo valor dependerá del que tomen los miembros de la muestra que son libres, por lo que sólo se podrá tomar $n - 1$ lecturas de manera libre, por lo que:

$$grado\ de\ libertad = v = n - 1$$

Donde:

n= números de lecturas

2.4.4.12 Pruebas t-Student

Esta prueba permite comparar las medias de dos grupos de datos y determinar si entre estos parámetros las diferencias son estadísticamente significativas. Se basa en dos premisas; la primera: en la distribución de normalidad, y la segunda: en que las muestras sean independientes.

Permite comparar muestras, n ≤ 30 y/o establece la diferencia entre las medias de las muestras.

El análisis matemático y estadístico de la prueba con frecuencia se minimiza para n > 30, utilizando pruebas no paramétricas, cuando la prueba tiene suficiente poder estadístico. En

la prueba t, se procede a determinar el valor "t" de Student calculado, obtenido de la experiencia analítica, y este valor posteriormente se compara con el llamado valor crítico, este valor critico se obtiene de la tabla de t-Student para un determinado porcentaje de confiabilidad (normalmente se utiliza el 95% de confianza, es decir, un valor α de 0,05). Si existen diferencias significativas entre 2 grupos, el "t" calculado debería ser superior al "t" crítico.

La primera presunción es formular la hipótesis nula y la hipótesis alternativa, que establece que no hay diferencias en la media de las dos muestras independientes y que, de existir esta diferencia, sólo se debe al azar. Si la "t" calculada que se origina de las dos muestras es desmesurada (valor de p que se encuentra en las tablas respectivas), entonces se rechazaría la hipótesis nula (error tipo I).

Es importante mencionar que este valor depende del nivel de significancia establecido con anterioridad de lo que se quiere probar, para la diferencia entre las medias de las dos muestras.

Este nivel de significancia es la probabilidad de rechazar erróneamente la hipótesis nula.

Se define "t calculada" como:

$$t_{calc} = \frac{[\bar{X}_1 - \overline{X_2}]}{\frac{S^2{}_1(n_1 - 1) + S^2{}_2(n_2 - 1)}{(n_1 + n_1 - 2)} * (\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2})}$$

$\bar{X}_1 \; y \; \bar{X}_2$= Promedio de la totalidad de lecturas, de las muestras 1 y 2.

$n_1 \; y \; n_2$= Numero de lecturas, de las muestras 1 y 2.

$S^2{}_1 \; y \; S^2{}_2$= Varianza de las lecturas, de las muestras 1 y 2.

Para el cálculo de la "t crítica", se hace uso del nivel de significancia (α), determinada con anterioridad, y la tabla de distribución t-Studen.

Tabla 19
Distribución t-Student

α/2 / v	0.6	0.75	0.9	0.95	0.975	0.99	0.995	0.9975	0.999	0.9995
1	0.325	1	3.078	6.314	12.706	31.821	63.656	127.321	318.289	636.578
2	0.289	0.816	1.886	2.92	4.303	6.965	9.925	14.089	22.328	31.6
3	0.277	0.765	1.638	2.353	3.182	4.541	5.841	7.453	10.214	12.924
4	0.271	0.741	1.533	2.132	2.776	3.747	4.604	5.598	7.173	8.61
5	0.267	0.727	1.476	2.015	2.571	3.365	4.032	4.773	5.894	6.869
6	0.265	0.718	1.44	1.943	2.447	3.143	3.707	4.317	5.208	5.959
7	0.263	0.711	1.415	1.895	2.365	2.998	3.499	4.029	4.785	5.408
8	0.262	0.706	1.397	1.86	2.306	2.896	3.355	3.833	4.501	5.041
9	0.261	0.703	1.383	1.833	2.262	2.821	3.25	3.69	4.297	4.781
10	0.26	0.7	1.372	1.812	2.228	2.764	3.169	3.581	4.144	4.587
11	0.26	0.697	1.363	1.796	2.201	2.718	3.106	3.497	4.025	4.437
12	0.259	0.695	1.356	1.782	2.179	2.681	3.055	3.428	3.93	4.318
13	0.259	0.694	1.35	1.771	2.16	2.65	3.012	3.372	3.852	4.221
14	0.258	0.692	1.345	1.761	2.145	2.624	2.977	3.326	3.787	4.14
15	0.258	0.691	1.341	1.753	2.131	2.602	2.947	3.286	3.733	4.073
16	0.258	0.69	1.337	1.746	2.12	2.583	2.921	3.252	3.686	4.015
17	0.257	0.689	1.333	1.74	2.11	2.567	2.898	3.222	3.646	3.965
18	0.257	0.688	1.33	1.734	2.101	2.552	2.878	3.197	3.61	3.922
19	0.257	0.688	1.328	1.729	2.093	2.539	2.861	3.174	3.579	3.883
20	0.257	0.687	1.325	1.725	2.086	2.528	2.845	3.153	3.552	3.85
21	0.257	0.686	1.323	1.721	2.08	2.518	2.831	3.135	3.527	3.819
22	0.256	0.686	1.321	1.717	2.074	2.508	2.819	3.119	3.505	3.792
23	0.256	0.685	1.319	1.714	2.069	2.5	2.807	3.104	3.485	3.768
24	0.256	0.685	1.318	1.711	2.064	2.492	2.797	3.091	3.467	3.745
25	0.256	0.684	1.316	1.708	2.06	2.485	2.787	3.078	3.45	3.725
∞	0.256	0.684	1.315	1.706	2.056	2.479	2.779	3.067	3.435	3.707

Fuente: Recuperado de Boris Duffau, Fabiola Rojas, Isabel Guerrero, Luis Roa, Luis Rodríguez (2010), *"Aspectos generales de la validación de métodos"*, Santiago de Chile, Chile, p.69.

2.4.5 Técnicas de procesamiento y análisis de datos

En esta investigación se utilizó, principalmente, el software Microsoft Excel 2013 para el análisis de las lecturas obtenidas a partir de las roturas de probetas de concreto en los periodos determinados. Mediante el software mencionado, se desarrollaron análisis mecánicos y estadísticos, siendo este último, aplicado para determinar la validez y confiabilidad de las lecturas.

CAPÍTULO III

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Resultados

3.1.1 Ensayos físicos y mecánicos en los agregados

3.1.1.1 Granulometría

Tabla 20

Granulometría del agregado fino

Mallas	Abertura (mm)	Peso retenido (g)	Porcentaje Retenido (%)	Porcentaje Retenido acumulado (%)	Porcentaje acumulado que pasa (%)	Especificaciones Técnicas ASTM C-33	
3/8”	9.525				100		
N° 4	4.760	5.20	1.00	1.00	99.00	95	100
N° 8	2.360	16.20	3.20	4.20	95.80	80	100
N° 16	1.180	85.60	17.10	21.30	78.70	50	85
N° 30	0.600	100.20	20.00	41.30	58.70	25	60
N° 50	0.300	190.00	38.00	79.30	20.70	10	30
N°100	0.150	80.00	16.00	95.30	4.70	2	10
<N°100	0.000	22.80	4.60	99.90	0.10		
Total		**500.00**	**100.00**				
Módulo de finura				**2.40**			

Fuente: elaboración propia (2019).

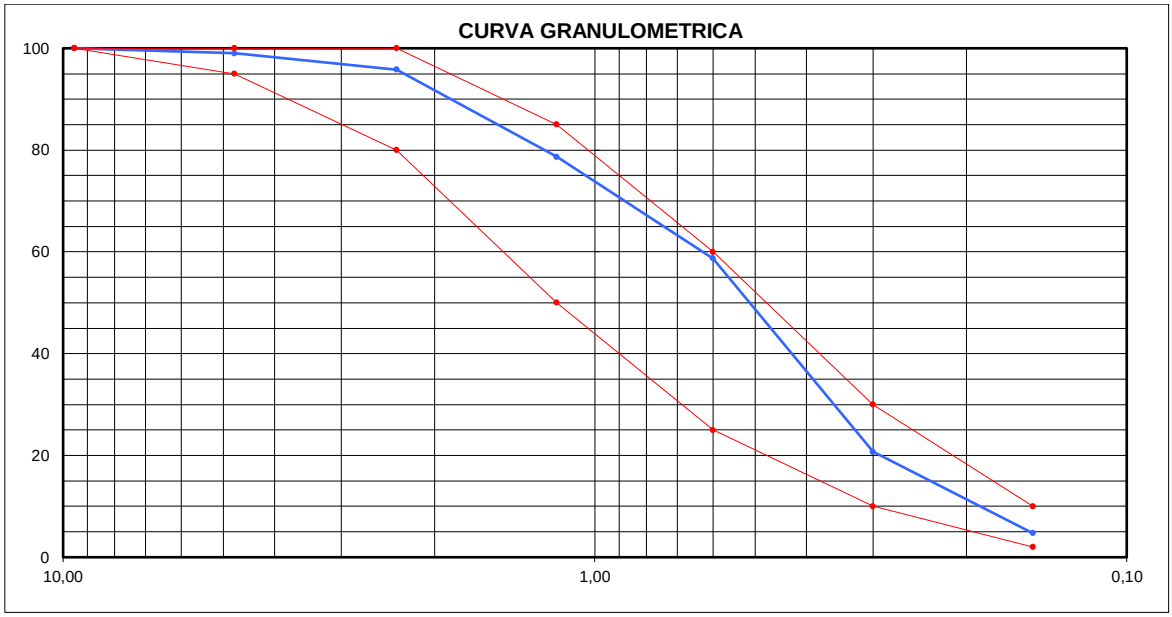

Figura 3. Curva granulométrica del agregado fino. (Fuente: Elaboración propia. (2019))
*Comentario: Presenta segmento fuera el huso debido al mayor porcentaje acumulado que pasa en los tamices Nº 16 y Nº 30, es decir, mayor presencia de finos.

Tabla 21

Granulometría del agregado grueso

Mallas	Abertura (mm)	Peso retenido (g)	Porcentaje Retenido (%)	Porcentaje Retenido acumulado (%)	Porcentaje acumulado que pasa (%)	Especificaciones Técnicas ASTM C-33	
2”	50.800						
1 ½”	38.100						
1”	25.400				100.00	95	100
¾”	19.050	5600.00	32.90	32.90	67.10		
½”	12.700	4870.00	28.60	61.50	38.50	20	55
3/8”	9.525	1640.00	9.60	71.10	28.90		
N°4	4.760	4040.00	23.70	94.80	5.20	0	10
N°8	2.360	870.00	5.10	99.90	0.10	0	5
Total		**17020.00**	**100.00**				
Tamaño máximo nominal			**¾”**				

Fuente: Elaboración propia (2019)

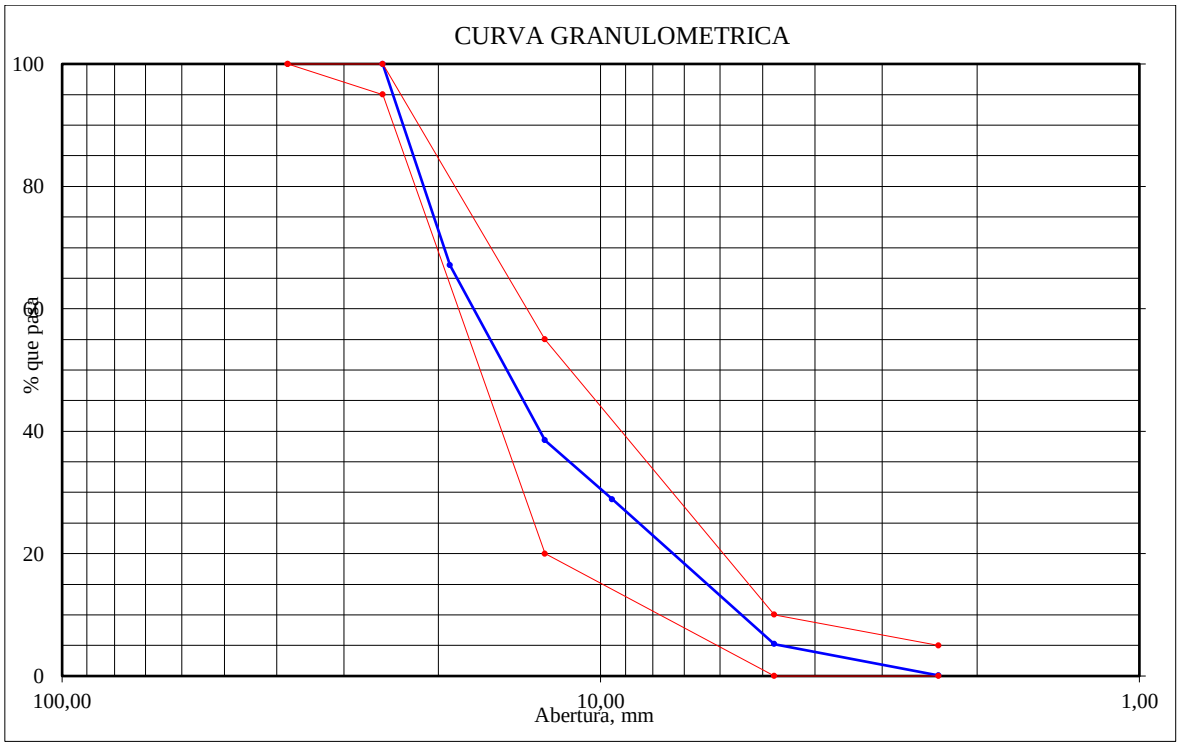

Figura 4. Curva granulométrica del agregado grueso. (Fuente: Elaboración propia. (2019))

*Comentario: se encuentra dentro del huso debido a la muy buena graduación en las partículas que presenta.

3.1.1.2 eso específico y absorción

Tabla 22

Peso específico y absorción del agregado fino.

Procedimiento	Resultados
1. Peso de arena s.s.s. + Fiola + peso del agua	973.00 g
2. Peso de arena s.s.s. + peso de Fiola	663.10 g
3. Peso Agua	309.90 g
4. Peso de arena secada al horno + Fiola	659.23 g
5. Peso de la Fiola	163.10 g
6. Peso de arena secada al horno	495.52 g
7. Peso de arena saturada superficialmente seca	500.00 g
8. Volumen de Fiola	500.00 cm^3
Peso específico de masa	**2.61 g/cm^3**
Peso específico de masa saturada superficialmente seca	**2.63 g/cm^3**
Peso específico aparente	**2.67 g/cm^3**
Porcentaje de absorción	**0.90 %**

Fuente: Elaboración propia (2019).

Tabla 23

Peso específico y absorción de agregado grueso.

Procedimiento	Resultados
1. Peso de muestra secada al horno	5023.00 g
2. Peso de muestra saturada con superficie seca	5062.00 g
3. Peso de muestra saturada dentro del agua	3184.00 g
Peso específico de masa	**2.67 g/cm^3**
Peso específico de masa saturada superficialmente seca	**2.70 g/cm^3**
Peso específico aparente	**2.73 g/cm^3**
Porcentaje de absorción	**0.78 %**

Fuente: Elaboración propia (2019).

3.1.1.3 Densidad de masa (peso unitario)

Tabla 24

Densidad de masa (peso unitario) suelta del agregado fino

Procedimiento	Densidad de masa (P.u) suelta	
	Muestra 1	**Muestra 2**
1. Peso molde + material	5.472 kg	5.486 kg
2. Peso molde	1.186 kg	1.186 kg
3. Peso del material	4.286 kg	4.300 kg
4. Volumen del molde	0.0027 m^3	0.0027 m^3
5. Peso Unitario	1587.00 kg/m^3	1593.00 kg/ m^3
Peso Unitario Promedio	**1590.00 kg/ m^3**	

Fuente: Elaboración propia (2019).

Tabla 25

Densidad de masa (peso unitario) compactado del agregado fino

Procedimiento	Densidad de masa (P.u) compactada	
	Muestra 1	**Muestra 2**
1. Peso molde + material	5.770 kg	5.764 kg
2. Peso molde	1.186 kg	1.186 kg
3. Peso del material	4.584 kg	4.578 kg
4. Volumen del molde	0.0027 m^3	0.0027 m^3
5. Peso Unitario	1698.00 kg/m^3	1696.00 kg/ m^3
Peso Unitario Promedio	**1697.00 kg/ m^3**	

Fuente: Elaboración propia (2019).

Tabla 26

Densidad de masa (peso unitario) suelto del agregado grueso.

Procedimiento	Densidad de masa (P.u) suelta	
	Muestra 1	**Muestra 2**
1. Peso molde + material	16.620 kg	16.630 kg
2. Peso molde	2.774 kg	2.774 kg
3. Peso del material	13.846 kg	13.856 kg
4. Volumen del molde	0.0093 m^3	0.0093 m^3
5. Peso Unitario	1,489.00 kg/m^3	1,490.00kg/m^3
Peso Unitario Promedio	**1,490.00 kg/m^3**	

Fuente: Elaboración propia (2019).

Tabla 27

Densidad de masa (peso unitario) compactado del agregado grueso.

Procedimiento	Densidad de masa (P.u) compactada	
	Muestra 1	**Muestra 2**
1. Peso molde + material	17.350 kg	17.343 kg
2. Peso molde	2.774 kg	2.774 kg
3. Peso del material	14.576 kg	14.569 kg
4. Volumen del molde	0.0093 m^3	0.0093 m^3
Peso Unitario Promedio	**1,567.00 kg/m^3**	

Fuente: Elaboración propia (2019).

3.1.1.4 Arcilla en terrones y partículas desmenuzables (friables en los agregados)

Tabla 28

Arcilla en terrones y partículas desmenuzables (friables) en el agregado fino.

Fracción		Gradación	Peso muestra	Peso	Tamiz de	Peso Retenido (g)	Pérdida Total	Pérdida
Pasa	**Retiene**	**Original %**	**Ensayada (g)**	**Mínimo**	**Lavado**	**después del ensayo**	**%**	**Corregida %**
N° 4	N°16	100.00	1002.0	1000.0	16	1000.92	0.11	0.108
TOTALES		100.00	1001.9	1000.0	16	1000.80	0.11	0.110
		100.00	1002.1	1000.0	16	1000.82	0.13	0.128
Promedio Total								**0.12**

Fuente: Elaboración propia (2019)

Tabla 29

Arcillas en terrones y partículas desmenuzables (friables) en el agregado grueso

Pasa	Retiene	Gradación original (%)	Peso de la muestra ensayada (g)	Peso mínimo (g)	Tamiz de lavado (N°)	Peso retenido después del ensayo (g)	Pérdida total (%)	Pérdida corregida (%)	
2"	1 1/2"	-	-	-	-	-	-	-	-
1 1/2"	3/4"	3002.12	3002.50	3000	4.00	3001.56	0.03	0.00	**0.000**
3/4"	3/8"	2001.80	2002.10	2000	4.00	1995.00	0.35	0.02	**0.002**
3/8"	N° 4	1000.50	1001.80	1000	8.00	1000.08	0.17	0.02	**0.003**
Promedio Total		100.00	6006.40	-	-	5996.60	-	0.04	**0.003**

Fuente: Elaboración propia (2019)

3.1.2 Ensayos químicos en los agregados

3.1.2.1 Durabilidad del agregado por medio de sulfato de magnesio

Tabla 30

Durabilidad del agregado fino por medio de sulfato de magnesio

Pasa	Retiene	Gradación original (%)	Peso de la fracción ensayada (g)	Peso retenido después del ensayo (g)	Pérdida total (%)	Pérdida corregida (%)
3/4"	N° 4	16.66	100.00	92.00	7.98	**1.33**
N° 4	N° 8	16.66	100.00	93.60	6.44	**1.07**
N° 8	N° 16	16.67	100.00	94.50	5.50	**0.92**
N° 16	N° 30	16.67	100.00	95.10	4.92	**0.82**
N° 30	N° 50	16.67	100.00	90.50	9.50	**1.58**
N° 50	N° 100	16.67	100.00	89.90	10.15	**1.69**
N° 100	-	-	-	-	-	-
Total		**100.00**	**600.00**	**555.51**		**7.42**

Fuente: Elaboración propia (2019)

Tabla 31

Durabilidad del agregado grueso por medio de sulfato de magnesio

Pasa	Retiene	Gradación original (%)	Peso de la fracción ensayada (g)	Peso retenido después del ensayo (g)	Pérdida total (%)	Pérdida corregida (%)
2 1/2"	2"	-	-	-	-	-
2"	1 1/2"	-	-	-	-	-
1 1/2"	1"	-	-	-	-	-
1"	3/4"	30.26	575.00	555.65	3.40	**1.02**
3/4"	1/2"	35.53	675.00	660.50	2.1	**0.76**
1/2"	3/8"	17.89	340.00	322.25	5.2	**0.93**
3/8"	N° 4	16.32	310.00	301.28	2.8	**0.46**
Total		**100**	**1900.00**	**1839.68**		**3.17**

Fuente: Elaboración propia (2019)

3.1.2.2 Carbón y lignito

- **Agregado grueso**

- Peso de partículas decantadas : 0.270
- Peso de la muestra seca : 2500.00 gr

$$\%carbon\ y\ lignito = \frac{0.270}{2500} * 100$$

% carbón y lignito= **0.011%**

3.1.3 Diseño de mezcla de concretos

3.1.3.1 Diseño de mezcla 175 kg/m^2

3.1.3.1.1 Materiales

- Cemento:
  - Cemento Pacasmayo tipo I.
  - Peso específico: 3.15 g/cm3.

- Agua:
  - Potable, de la red de servicio público de Tarapoto.

- Agregado fino:
  - De la cantera Rio Sisa– prov. San Martín.
  - Peso específico de masa: 2.61 g/cm3.
  - Absorción: 0.90%.
  - Contenido de humedad: 1.10%.
  - Módulo de fineza: 2.40
  - Densidad de masa (Peso unitario) suelta: 1,590.00 kg/m3.
  - Densidad de masa (Peso unitario) compactada: 1,697.00 kg/m3.

- Agregado grueso:
- De la cantera del río Huallaga, centro poblado menor Shilcayo– prov. Picota.
- Peso específico de masa: 2.67 g/cm3.
- Absorción: 0.78%.
- Contenido de humedad: 0.40%.

- Densidad de masa (Peso unitario) suelta: 1,490.00 kg/m3.
- Densidad de masa (Peso unitario) compactada: 1,567.00 kg/m3.

3.1.3.1.2 Determinación de la resistencia requerida

Según el Caso N°3, F´crequerido+84 = 259 kg/cm2

3.1.3.1.3 Elección del asentamiento, revenimiento o Slump

Se requiere que la mezcla tenga una consistencia plástica, por lo que el asentamiento corresponde a 3" a 4".

3.1.3.1.4 Elección del tamaño máximo nominal

De acuerdo a la mayoría de estructuras posibles a desarrollar, el TMN más conveniente es ¾" a 1" pulgada.

3.1.3.1.5 Calculo del agua de mezclado y contenido de aire

De acuerdo a la Tabla 16, para una mezcla de concreto sin aire incluid con agregado grueso de TMN 1 pulg. Y asentamiento de 4 pulg. La cantidad de agua es 193 kg/m3, y la cantidad de aire atrapado en 1.50%.

Asentamiento o Slump		**Agua, kg/m³ de concreto para los tamaños máximos nominales de agregado indicados**							
(pulg)		**3/8**	**1/2**	**3/4**	**1**	**1 1/2**	**2**	**3**	**6**
Concreto sin aire incluido									
1 a 2		207	199	190	179	166	154	130	113
3 a 4		228	216	205	**193**	181	169	145	124
6 a 7		243	228	216	202	190	178	160	-
Cantidad aproximada de aire atrapado en el concreto sin aire incluido, %		3.0	2.5	2.0	**1.5**	1.0	0.5	0.3	0.2
Concreto con aire incluido									
1 a 2		181	175	168	160	150	142	122	107
3 a 4		202	193	184	175	165	157	133	119
6 a 7		216	205	197	184	174	166	154	-
Contenido promedio total de aire, para el nivel de exposición, %									
Exposición	**Ligera**	4.5	4.0	3.5	3.0	2.5	2.0	1.5	1.0
	Moderada	6.0	5.5	5.0	4.5	4.5	4.0	3.5	3.0
	Severa	7.5	7.0	6.0	6.0	5.5	5.0	4.5	4.0

3.1.3.1.6 Relación agua/cemento (a/c)

De acuerdo con la **Tabla 17**, para determinar la relación a/c de una mezcla de concreto sin aire incluido, con F´c requerido de 259 kg/cm2, se debe interpolar entre valores de 210 kg/cm2 y 280 kg/cm2, obteniendo el valor a/c = 0.64.

Resistencia a compresión a 28 días, kg/cm^2	Relación agua/cemento, por peso	
	Concreto sin aire incluido	Concreto con aire incluido
420	0.41	-
350	0.48	0.40
280	0.57	0.48
210	0.68	0.59
140	0.82	0.74

3.1.3.1.7 Contenido de cemento

$$Contenido\ de\ cemento\ \left(en\frac{kg}{m^3}\right) = \frac{agua\ de\ mezclado\ (kg/m3)}{relacion\frac{a}{c}\ (para\ f´cr)}$$

$$Contenido\ de\ cemento\ \left(en\frac{kg}{m^3}\right) = \frac{193.00\ (kg/m3)}{0.64}$$

$$Contenido\ de\ cemento\ \left(en\frac{kg}{m^3}\right) = 301.56\ kg/m3$$

$$factor\ de\ cemento = \frac{301.56}{42.5}$$

$$factor\ de\ cemento = 7.1\ bolsas$$

3.1.3.1.8 Contenido de agregado grueso

De acuerdo con la Tabla 18, para un TMN de 1 “pulg, y un módulo de fineza 2.40, los valores del coeficiente (b/b_0) es 0.66

TMN del agregado grueso	Volumen del agregado grueso seco y compactado por unidad de volumen de concreto para diversos módulos de fineza del fino (b/b_0)			
	2.40	**2.60**	**2.80**	**3.00**
3/8”	0.50	0.48	0.46	0.44
1/2"	0.59	0.57	0.55	0.53
3/4"	0.66	0.64	0.62	0.6
1”	0.71	0.69	0.67	0.65
1 1/2"	0.76	0.74	0.72	0.7
2”	0.78	0.76	0.74	0.72
3”	0.81	0.79	0.77	0.75
6”	0.87	0.85	0.83	0.81

Contenido de agregado grueso en (kg/m3) =(b/b_0*)x densidad de masa seca y compactado*

Contenido de agregado grueso = 0.66x 1,567.00= ***1023.00 kg/m3***

3.1.3.1.9 Contenido de agregado fino

Según el método de los volúmenes absolutos:

$$Volumen\ (m3) = \frac{peso\ seco}{peso\ especifico}$$

$$Volumen\ de\ agua = \frac{193}{(1.00x1000)} = 0.1930\ m3$$

$$Volumen\ solido\ de\ cemento = \frac{301.00}{(3.15x1000)} = 0.0955m3$$

$$Volumen\ solido\ de\ agregado\ grueso = \frac{1023.00}{(2.67x1000)} = 0.3831\ m3$$

$$Volumen\ aire\ atrapado\ (2\%) = \frac{1.5}{(100)} = 0.015\ m3$$

$$\underline{Volumen\ solido\ de\ los\ ingredientes\ excepto\ agregado\ fino\ = 0.6866\ m3}$$

$$Volumen\ solido\ del\ agregado\ fino\ requerido = 1 - 0.6866 = 0.3134\ m3$$

$$Peso\ requerido\ del\ agregado\ fino = 0.3134x2.61x1000 = \mathbf{818.00\ kg/m3}$$

3.1.3.1.10 Ajuste por humedad

- **Corrección por humedad del diseño de mezcla en estado seco.**

$$Peso\ agregado\ humedo = peso\ agregado\ seco\ (1 + Cont.humedad\ del\ agregado\ (\%))$$

$$Agregado\ fino\ humedo = 818.00\ \left(1 + \frac{1.10}{100}\right) = 827.00\ kg\ por\ m3\ de\ concreto$$

$$Agregado\ grueso\ humedo = 1023.00\left(1 + \frac{0.40}{100}\right) = 1027.00\ kg\ por\ m3\ de\ concreto$$

- **Determinación del agua efectiva.**

$$Aporte\ de\ humedad\ de\ los\ agregados = Peso\ aggregado\ seco\ (\%cont.humedad - \%absorcion)$$

$$*\ Agregado\ fino = 818.00\left(\frac{1.10 - 0.90}{100}\right) = 1.64\ \ kg\ por\ m3\ de\ concreto$$

$$*\ Agregado\ grueso\ = 1023.00\left(\frac{0.40 - 0.78}{100}\right) = -3.89\ \ kg\ por\ m3\ de\ concreto$$

$$Agua\ efectiva\ = 193 - 1.64 - (-3.88) = 195.00\ \text{lt}$$

- Agua a ser añadida : 195.00 lt
- Cemento : 301.00 kg
- Agregado grueso (húmedo) : 1027.00 kg/m3
- Agregado fino (húmedo) : 818.00 kg/m3
- **Total : 2350.00 kg**

3.1.3.1.11 Ajuste en la mezcla de prueba

- **Determinación de la dosificación en peso del diseño de mezcla**

$$\frac{peso\ de\ cemento}{peso\ de\ cemento} : \frac{peso\ de\ A.fino\ humedo}{peso\ de\ cemento} : \frac{peso\ de\ A.grueso\ humedo}{peso\ de\ cemento} : \frac{agua\ efectiva}{peso\ de\ cemento/42.5}$$

$$\frac{301}{301} : \frac{827}{301} : \frac{1027}{301} : \frac{195}{301/42.5}$$

1:2.75: 3.41/27.60 (litros/bolsa)

- **Determinación de la dosificación, en volumen, del diseño de mezcla**

Densidad de masa (peso unitario) de los agregados

Arena= 1590.00 (1+1.10/100) = 1607.49 kg/m^3

Agregado fino= 1490.00 (1+0.40/100) = 1495.96 kg/m^3

Peso por pie cubico de cada material

Agua a ser añadida : 27.60 lt/pie^3

Cemento : 42.5 kg/pie^3

Agregado fino : 1607.00/35.3146= 45.52 kg/pie^3

Agregado grueso : 1496.96/35.3146= 42.39 kg/pie^3

Pesos por tanda de una bolsa

Agua a ser añadida : 27.60 lt/bol cemento

Cemento : 42.50 kg/bol cemento

Agregado fino : 2.75x42.50 = 116.88 kg/bol cemento

Agregado grueso : 3.41x42.50 = 144.93 kg/bol cemento

Pie cubico por bolsa (Dosificación en volumen)

Agua a ser añadida : 27.60 lt/bol de cemento

Cemento : 42.50/42.50 = 1 pie3

Agregado fino : 116.88/45.52 =2.60 pie3

Agregado grueso : 144.93/42.39 = 3.40 pie3

1:2.60:3.40/27.60 (litros/bolsa)

3.1.3.2 Diseño de mezcla 210 kg/m^2

3.1.3.2.1 Materiales

- Cemento:
  - Cemento Pacasmayo tipo I.
  - Peso específico: 3.15 g/cm3.

- Agua:
  - Potable, de la red de servicio público de Tarapoto.

- Agregado fino:
  - De la cantera Rio Sisa– prov. San Martín.
  - Peso específico de masa: 2.61 g/cm3.
  - Absorción: 0.90%.
  - Contenido de humedad: 1.10%.
  - Módulo de fineza: 2.40
  - Densidad de masa (Peso unitario) suelta: 1,590.00 kg/m3.

- Densidad de masa (Peso unitario) compactada: 1,697.00 kg/m3.

• Agregado grueso:

- De la cantera del río Huallaga, centro poblado menor Shilcayo– prov. Picota.
- Peso específico de masa: 2.67 g/cm3.
- Absorción: 0.78%.
- Contenido de humedad: 0.40%.
- Densidad de masa (Peso unitario) suelta: 1,490.00 kg/m3.
- Densidad de masa (Peso unitario) compactada: 1,567.00 kg/m3.

3.1.3.2.2 Determinación de la resistencia requerida

Según el Caso N°3, F´crequerido+84 = 294 kg/cm2

3.1.3.2.3 Elección del asentamiento, revenimiento o Slump

Se requiere que la mezcla tenga una consistencia plástica, por lo que el asentamiento corresponde de 3” a 4”.

3.1.3.2.4 Elección del tamaño máximo nominal

De acuerdo a la mayoría de estructuras posibles a desarrollar, el TMN más conveniente es ¾” a 1” pulgada.

3.1.3.2.5 Calculo del agua de mezclado y contenido de aire

De acuerdo a la Tabla 16, para una mezcla de concreto sin aire incluid con agregado grueso de TMN 1 pulg. Y asentamiento de 4 pulg. La cantidad de agua es 193 kg/m3, y la cantidad de aire atrapado en 1.50%.

Asentamiento o Slump	**Agua, kg/m³ de concreto para los tamaños máximos nominales de agregado indicados**							
(pulg)	**3/8**	**1/2**	**3/4**	**1**	**1 1/2**	**2**	**3**	**6**
Concreto sin aire incluido								
1 a 2	207	199	190	179	166	154	130	113
3 a 4	228	216	205	**193**	181	169	145	124
6 a 7	243	228	216	202	190	178	160	-

Cantidad aproximada de aire atrapado en el concreto sin aire incluido, %		3.0	2.5	2.0	**1.5**	1.0	0.5	0.3	0.2
Concreto con aire incluido									
1 a 2		181	175	168	160	150	142	122	107
3 a 4		202	193	184	175	165	157	133	119
6 a 7		216	205	197	184	174	166	154	-
Contenido promedio total de aire, para el nivel de exposición, %									
Exposición	**Ligera**	4.5	4.0	3.5	3.0	2.5	2.0	1.5	1.0
	Moderada	6.0	5.5	5.0	4.5	4.5	4.0	3.5	3.0
	Severa	7.5	7.0	6.0	6.0	5.5	5.0	4.5	4.0

3.1.3.2.6 Relación agua/cemento (a/c)

De acuerdo con la **Tabla 17**, para determinar la relación a/c de una mezcla de concreto sin aire incluido, con F´c requerido de 294 kg/cm2, se debe interpolar entre valores de 280 kg/cm2 y 350 kg/cm2, obteniendo el valor a/c = 0.57.

Resistencia a compresión a 28 días, kg/cm^2	**Relación agua/cemento, por peso**	
	Concreto sin aire incluido	**Concreto con aire incluido**
420	0.41	-
350	0.48	0.40
280	0.57	0.48
210	0.68	0.59
140	0.82	0.74

3.1.3.2.7 Contenido de cemento

$$\boldsymbol{Contenido\ de\ cemento\ \left(en\ \frac{kg}{m^3}\right) = \frac{agua\ de\ mezclado\ (kg/m3)}{relacion\ \frac{a}{c}\ (para\ f´cr)}}$$

$$\boldsymbol{Contenido\ de\ cemento\ \left(en\ \frac{kg}{m^3}\right) = \frac{193.00\ (kg/m3)}{0.57}}$$

$$\boldsymbol{CContenido\ de\ cemento\ \left(en\ \frac{kg}{m^3}\right) = 338.00\ kg/m3}$$

$$\boldsymbol{factor\ de\ cemento = \frac{338.00}{42.5}}$$

$$\boldsymbol{factor\ de\ cemento = 7.90\ bolsas}$$

3.1.3.2.8 Contenido de agregado grueso

De acuerdo con la Tabla 18, para un TMN de 1 "pulg, y un módulo de fineza 2.60, los valores del coeficiente (b/b_0) es 0.66

TMN del agregado grueso	Volumen del agregado grueso seco y compactado por unidad de volumen de concreto para diversos módulos de fineza del fino (b/b_0)			
	2.40	**2.60**	**2.80**	**3.00**
3/8"	0.50	0.48	0.46	0.44
1/2"	0.59	0.57	0.55	0.53
3/4"	0.66	**0.64**	0.62	0.6
1"	0.71	0.69	0.67	0.65
1 1/2"	0.76	0.74	0.72	0.7
2"	0.78	0.76	0.74	0.72
3"	0.81	0.79	0.77	0.75
6"	0.87	0.85	0.83	0.81

Contenido de agregado grueso en (kg/m3) =(b/b_0)*x densidad de masa seca y compactado*

Contenido de agregado grueso = 0.64 x 1,567.00= ***1006 kg/m3***

3.1.3.2.9 Contenido de agregado fino

Según el método de los volúmenes absolutos:

$$Volumen\ (m3) = \frac{peso\ seco}{peso\ especifico}$$

$$Volumen\ de\ agua = \frac{193}{(1.00x1000)} = 0.193\ m3$$

$$Volumen\ solido\ de\ cemento = \frac{338.00}{(3.15x1000)} = 0.107 m3$$

$$Volumen\ solido\ de\ agregado\ grueso = \frac{1{,}006.00}{(2.67x1000)} = 0.377\ m3$$

$$Volumen\ aire\ atrapado\ (2\%) = \frac{1.5}{(100)} = 0.015\ m3$$

$$\underline{Volumen\ solido\ de\ los\ ingredientes\ excepto\ agregado\ fino\ = 0.692\ m3}$$

$$Volumen\ solido\ del\ agregado\ fino\ requerido = 1 - 0.692 \quad = 0.308\ m3$$

$$Peso\ requerido\ del\ agregado\ fino = 0.308x2.61x1000 = \mathbf{804\ kg/m3}$$

3.1.3.2.10 Ajuste por humedad

- **Corrección por humedad del diseño de mezcla en estado seco.**

$$Peso\ agregado\ humedo = peso\ agregado\ seco\ (1 + Cont.humedad\ del\ agregado\ (\%))$$

$$Agregado\ fino\ humedo = 804\ \left(1 + \frac{1.10}{100}\right) = 813.00\ kg\ por\ m3\ de\ concreto$$

$$Agregado\ grueso\ humedo = 1006\left(1 + \frac{0.40}{100}\right) = 1010.00\ kg\ por\ m3\ de\ concreto$$

- **Determinación del agua efectiva.**

$$Aporte\ de\ humedad\ de\ los\ agregados = Peso\ aggregado\ seco\ (\%cont.humedad - \%absorcion)$$

$$* Agregado\ fino = 813\left(\frac{1.10 - 0.90}{100}\right) = 1.62\ \ kg\ por\ m3\ de\ concreto$$

$$* Agregado\ grueso\ = 1006\left(\frac{0{,}40 - 0.78}{100}\right) = -3.83\ \ kg\ por\ m3\ de\ concreto$$

$$Agua\ efectiva\ = 193 - 1.62 - (-3.83) = 195.00\ \text{lt}$$

- Agua a ser añadida : 195.00 lt
- Cemento : 338.00 kg
- Agregado grueso (húmedo) : 1010.00 kg/m3
- Agregado fino (húmedo) : 813.00 kg/m3
- **Total : 2356.00 kg**

3.1.3.2.11 Ajuste en la mezcla de prueba

- **Determinación de la dosificación en peso del diseño de mezcla**

$$\frac{pseo\ de\ cemento}{peso\ de\ cemento} : \frac{pseo\ de\ A.fino\ humedo}{peso\ de\ cemento} : \frac{peso\ de\ A.grueso\ humedo}{peso\ de\ cemento} : \frac{agua\ efectiva}{peso\ de\ cemento/42.5}$$

$$\frac{338.00}{338.00} : \frac{813.00}{338.00} : \frac{1010.00}{338.00} : \frac{195.00}{338.00/42.5}$$

1:2.40: 2.99/24.6 (litros/bolsa)

- **Determinación de la dosificación, en volumen, del diseño de mezcla**

Densidad de masa (peso unitario) de los agregados

Arena= 1590.00 (1+1.10/100) = 1607.00 kg/m^3

Agregado fino= 1490.00 (1+0.40/100) = 1496.00 kg/m^3

Peso por pie cubico de cada material

Agua a ser añadida : 24.60 lt/pie^3

Cemento : 42.5 kg/pie^3

Agregado fino : 1607.00/35.3146= 45.51 kg/pie^3

Agregado grueso : 1496.00/35.3146= 42.36 kg/pie^3

Pesos por tanda de una bolsa

Agua a ser añadida : 24.60 lt/bol cemento

Cemento : 42.50 kg/bol cemento

Agregado fino : 2.40x42.5 = 102.00 kg/bol cemento

Agregado grueso : 2.99x42.5 = 127.07 kg/bol cemento

Pie cubico por bolsa (Dosificación en volumen)

Agua a ser añadida : 24.60 lt/bol de cemento

Cemento : 42.50/42.50 = 1 pie3

Agregado fino : 102.00/45.51 = 2.30 pie3

Agregado grueso : 127.70 / 42.36 = 3.00 pie3

1:2.30:3.00/23.60 (litros/bolsa)

3.1.3.3 Diseño de mezcla 280 kg/m^2

3.1.3.3.1 Materiales

- Cemento:
  - Cemento Pacasmayo tipo I.
  - Peso específico: 3.15 g/cm3.

- Agua:
  - Potable, de la red de servicio público de Tarapoto.

- Agregado fino:
  - De la cantera Rio Sisa– prov. San Martín.

- Peso específico de masa: 2.61 g/cm3.
- Absorción: 0.90%.
- Contenido de humedad: 1.10%.
- Módulo de fineza: 2.40
- Densidad de masa (Peso unitario) suelta: 1,590.00 kg/m3.
- Densidad de masa (Peso unitario) compactada: 1,697.00 kg/m3.

• Agregado grueso:
- De la cantera del río Huallaga, centro poblado menor Shilcayo– prov. Picota.
- Peso específico de masa: 2.67 g/cm3.
- Absorción: 0.78%.
- Contenido de humedad: 0.40%.
- Densidad de masa (Peso unitario) suelta: 1,490.00 kg/m3.
- Densidad de masa (Peso unitario) compactada: 1,567.00 kg/m3.

3.1.3.3.2 Determinación de la resistencia requerida

Según el Caso N°3, F´crequerido+84 = 364 kg/cm2

3.1.3.3.3 Elección del asentamiento, revenimiento o Slump

Se requiere que la mezcla tenga una consistencia plástica, por lo que el asentamiento corresponde a 3” a 4”.

3.1.3.3.4 Elección del tamaño máximo nominal

De acuerdo a la mayoría de estructuras posibles a desarrollar, el TMN más conveniente es ¾” a 1” pulgada.

3.1.3.3.5 Calculo del agua de mezclado y contenido de aire

De acuerdo a la Tabla 16, para una mezcla de concreto sin aire incluid con agregado grueso de TMN 1 pulg. Y asentamiento de 4 pulg. La cantidad de agua es 193 kg/m3, y la cantidad de aire atrapado en 1.50%.

Asentamiento o Slump		Agua, kg/m³ de concreto para los tamaños máximos nominales de agregado indicados							
(pulg)		3/8	1/2	3/4	1	1 1/2	2	3	6
Concreto sin aire incluido									
1 a 2		207	199	190	179	166	154	130	113
3 a 4		228	216	205	193	181	169	145	124
6 a 7		243	228	216	202	190	178	160	-
Cantidad aproximada de aire atrapado en el concreto sin aire incluido, %		3.0	2.5	2.0	1.5	1.0	0.5	0.3	0.2
Concreto con aire incluido									
1 a 2		181	175	168	160	150	142	122	107
3 a 4		202	193	184	175	165	157	133	119
6 a 7		216	205	197	184	174	166	154	-
Contenido promedio total de aire, para el nivel de exposición, %									
Exposición	Ligera	4.5	4.0	3.5	3.0	2.5	2.0	1.5	1.0
	Moderada	6.0	5.5	5.0	4.5	4.5	4.0	3.5	3.0
	Severa	7.5	7.0	6.0	6.0	5.5	5.0	4.5	4.0

3.1.3.3.6 Relación agua/cemento (a/c)

De acuerdo con la **Tabla 17**, para determinar la relación a/c de una mezcla de concreto sin aire incluido, con F´c requerido de 364 kg/cm2, se debe interpolar entre valores de 280 kg/cm2 y 350 kg/cm2, obteniendo el valor a/c = 0.49.

Resistencia a compresión a 28 días, kg/cm^2	Relación agua/cemento, por peso	
	Concreto sin aire incluido	Concreto con aire incluido
420	0.41	-
350	0.48	0.40
280	0.57	0.48
210	0.68	0.59
140	0.82	0.74

3.1.3.3.7 Contenido de cemento

$$\textbf{Contenido de cemento}\left(en\frac{kg}{m^3}\right)=\frac{\textbf{agua de mezclado}\ (kg/m3)}{\textbf{relacion}\frac{a}{c}\ (\textbf{para}\ f´cr)}$$

$$\textbf{Contenido de cemento}\left(en\frac{kg}{m^3}\right)=\frac{\mathbf{193.00}\ (kg/m3)}{\mathbf{0.49}}$$

$$\boldsymbol{CContenido\ de\ cemento\ \left(en\frac{kg}{m^3}\right) = 395.00\ kg/m3}$$

$$\boldsymbol{factor\ de\ cemento = \frac{395.00}{42.5}}$$

$$\boldsymbol{factor\ de\ cemento = 9.30\ bolsas}$$

3.1.3.3.8 Contenido de agregado grueso

De acuerdo con la Tabla 18, para un TMN de 1 "pulg, y un módulo de fineza 2, los valores del coeficiente (b/b_0) es 0.62

TMN del agregado grueso	Volumen del agregado grueso seco y compactado por unidad de volumen de concreto para diversos módulos de fineza del fino (b/b$_0$)			
	2.40	**2.60**	**2.80**	**3.00**
3/8"	0.50	0.48	0.46	0.44
1/2"	0.59	0.57	0.55	0.53
3/4"	0.66	0.64	0.62	0.6
1"	0.71	**0.69**	0.67	0.65
1 1/2"	0.76	0.74	0.72	0.7
2"	0.78	0.76	0.74	0.72
3"	0.81	0.79	0.77	0.75
6"	0.87	0.85	0.83	0.81

Contenido de agregado grueso en (kg/m3) =(b/b_0*)x densidad de masa seca y compactado*
Contenido de agregado grueso = 0.62 x 1,567.00= ***979 kg/m3***

3.1.3.3.9 Contenido de agregado fino

Según el método de los volúmenes absolutos:

$$Volumen\ (m3) = \frac{peso\ seco}{peso\ especifico}$$

$$Volumen\ de\ agua = \frac{193}{(1.00x1000)} = 0.193\ m3$$

$$Volumen\ solido\ de\ cemento = \frac{395}{(3.15x1000)} = 0.125m3$$

$$Volumen\ solido\ de\ agregado\ grueso = \frac{979.00}{(2.67x1000)} = 0.367\ m3$$

$$Volumen\ aire\ atrapado\ (2\%) = \frac{1.5}{(100)} = 0.015\ m3$$

$$\underline{Volumen\ solido\ de\ los\ ingredientes\ excepto\ agregado\ fino\ = 0.700\ m3}$$

$$Volumen\ solido\ del\ agregado\ fino\ requerido = 1 - 0.700 \quad = 0.300\ m3$$

$$Peso\ requerido\ \ del\ agregado\ fino = 0.300x2.61x1000 = \mathbf{783.00\ kg/m3}$$

3.1.3.3.10 Ajuste por humedad

- **Corrección por humedad del diseño de mezcla en estado seco.**

$$Peso\ agregado\ humedo = peso\ agregado\ seco\ (1 + Cont.humedad\ del\ agregado\ (\%))$$

$$Agregado\ fino\ humedo = 783\ \left(1 + \frac{1.10}{100}\right) = 792.00\ kg\ por\ m3\ de\ concreto$$

$$Agregado\ grueso\ humedo = 983\left(1 + \frac{0.40}{100}\right) = 983\ kg\ por\ m3\ de\ concreto$$

- **Determinación del agua efectiva.**

$$Aporte\ de\ humedad\ de\ los\ agregados = Peso\ aggregado\ seco\ (\%cont.humedad - \%absorcion)$$

$$* Agregado\ fino = 783\left(\frac{1.10 - 0.90}{100}\right) = 1.57\ \ kg\ por\ m3\ de\ concreto$$

$$* Agregado\ grueso\ \ = 979\left(\frac{0.40 - 0.78}{100}\right) = -3.72\ \ kg\ por\ m3\ de\ concreto$$

$$Agua\ efectiva\ \ = 193 - 1.57 - (-3.72)\ = 195.00\ \text{lt}$$

- Agua a ser añadida : 195.00 lt
- Cemento : 395.00 kg
- Agregado grueso (húmedo) : 983.00 kg/m3
- Agregado fino (húmedo) : 792.00 kg/m3
- **Total** **: 2365.00 kg**

3.1.3.3.11 Ajuste en la mezcla de prueba

- **Determinación de la dosificación en peso del diseño de mezcla**

$$\frac{pseo\ de\ cemento}{peso\ de\ cemento} : \frac{pseo\ de\ A.fino\ humedo}{peso\ de\ cemento} : \frac{peso\ de\ A.grueso\ humedo}{peso\ de\ cemento} : \frac{agua\ efectiva}{peso\ de\ cemento/42.5}$$

$$\frac{395.00}{395.00} : \frac{792.00}{395.00} : \frac{983.00}{395.00} : \frac{195.00}{395.00/42.5}$$

1:2.01:2.49/21.00 (litros/bolsa)

- **Determinación de la dosificación, en volumen, del diseño de mezcla**

Densidad de masa (peso unitario) de los agregados

Arena= 1590.00 (1+1.10/100) = 1607.00 kg/m^3

Agregado fino= 1490.00 (1+0.40/100) = 1496.00 kg/m^3

Peso por pie cubico de cada material

Agua a ser añadida : 21.00 lt/pie^3

Cemento : 42.5 kg/pie^3

Agregado fino : 1607.00/35.315= 45.90 kg/pie^3

Agregado grueso : 1496.00/35.315= 42.70 kg/pie^3

Pesos por tanda de una bolsa

Agua a ser añadida : 21.00 lt/bol cemento

Cemento : 42.50 kg/bol cemento

Agregado fino : 2.01x42.50 = 85.42 kg/bol cemento

Agregado grueso : 2.49x42.50 = 105.83 kg/bol cemento

Pie cubico por bolsa (Dosificación en volumen)

Agua a ser añadida : 21.00 lt/bol de cemento

Cemento : 42.50/42.50 = 1 pie3

Agregado fino : 85.43/45.90 = 1.80 pie3

Agregado grueso : 105.83x 42.70 = 2,50 pie3

1:1.90:2.50/21.00 (litros/bolsa)

3.1.4 Elaboración de probetas de concreto

3.1.4.1 Volumen de probetas de concreto

$$Vol.de\ probeta = \left(\frac{\pi * diametro^2 * altura}{4}\right) = \left(\frac{\pi * 15.00^2 * 30.00}{4}\right)$$

$$Vol.de\ probeta = 5{,}301.44\ cm^3 \approx 0.0053\ m^3$$

3.1.4.2 Dosificación

- **Para concreto 175 kg/m²**

- **Diseño efectivo en laboratorio**
  - Cemento : 312.50 kg/m³
  - Agua : 196.10 lt/m³
  - Arena : 798.00 kg/m³
  - Piedra : 1171.00 kg/m³
  - **Peso unitario : 2477.60 kg/m³**

- **Proporción por espécimen**
  - Cemento : 312.50 x 0.0053 = 1.66 kg
  - Agua : 196.10 x 0.0053 = 1.04 kg
  - Arena : 798.00 x 0.0053 = 4.23 kg
  - Piedra : 1171.00 x 0.0053 = 6.21 kg
  - **Peso : 2477.60 x 0.0053 = 13.13 kg**

- **Desperdicio**

se recomienda adicionar un 30% como desperdicio

  - Cemento : 1.66 x 1.30 = 2.16 kg
  - Agua : 1.04 x 1.30 = 1.35 kg
  - Arena : 4.23 x 1.30 = 5.50 kg
  - Piedra : 6.21 x 1.30 =8.07 kg

- **Para concreto 210 kg/m^2**

- **Diseño efectivo en laboratorio**

  - Cemento : 352.00 kg/m^3
  - Agua : 195.80 lt/m^3
  - Arena : 798.00 kg/m^3
  - Piedra : 1098.00 kg/m^3
  - **Peso unitario : 2443.80 kg/m^3**

- **Proporción por espécimen**

  - Cemento : 352 x 0.0053 = 1.87 kg
  - Agua : 195.80 x 0.0053 = 1.04 kg
  - Arena : 798.00 x 0.0053 = 4.23 kg
  - Piedra : 1098.00 x 0.0053 = 5.82 kg
  - **Peso : 2443.80 x 0.0053 = 12.96 kg**

- **Desperdicio**

se recomienda adicionar un 30% como desperdicio

  - Cemento : 1.87 x 1.30 = 2.44 kg
  - Agua : 1.04 x 1.30 = 1.36 kg
  - Arena : 4.23 x 1.30 = 5.50 kg
  - Piedra : 5.82 x 1.30 =7.57 kg

- **Para concreto 280 kg/m^2**

- **Diseño efectivo en laboratorio**

  - Cemento : 423.00 kg/m^3
  - Agua : 195.60 lt/m^3

- Arena : 798.00 kg/m^3
- Piedra : 1061.00 kg/m^3
- **Peso unitario : 2477.60 kg/m^3**

- **Proporción por espécimen**
  - Cemento : 423.00 x 0.0053 = 2.25 kg
  - Agua : 195.60 x 0.0053 = 1.04 kg
  - Arena : 798.00 x 0.0053 = 4.23 kg
  - Piedra : 1061.00 x 0.0053 = 5.63 kg
  - **Peso : 2477.60 x 0.0053 = 13.13 kg**

- **Desperdicio**

se recomienda adicionar un 30% como desperdicio

- Cemento : 2.25 x 1.30 = 2.93 kg
- Agua : 1.04 x 1.30 = 1.36 kg
- Arena : 4.23 x 1.30 = 5.50 kg
- Piedra : 5.63 x 1.30 = 7.32 kg

3.1.4.3 Cantidad de material total

En la presente investigación se elaboraron 60 probetas de concreto por cada dosificación de concreto según.

- **Concreto de 175 kg/m^2**
  - Cemento : 2.16 x 60 = 129.60 kg
  - Agua : 1.35 x 60 = 81.00 kg
  - Arena : 5.50 x 60 = 330 kg
  - Piedra : 8.07 x 60 = 48.42 kg

- **Concreto de 210 kg/m²**

  - Cemento : 2.44 x 60 = 129.60 kg
  - Agua : 1.36 x 60 = 81.00 kg
  - Arena : 5.50 x 60 = 330 kg
  - Piedra : 7.57 x 60 = 48.42 kg

- **Concreto de 280 kg/m²**

  - Cemento : 2.92 x 60 = 129.60 kg
  - Agua : 1.36 x 60 = 81.00 kg
  - Arena : 5.50 x 60 = 330 kg
  - Piedra : 7.23 x 60 = 48.42 kg

3.1.5 Cálculo de la resistencia a la compresión

- **Resistencia a compresión a los 7 días:**

Tabla 32

Resistencia a la compresión del concreto f'c=175 kg/cm a los 7 días.

N° de cilindro	Descripción	Slump (Pulg.)	Densidad (kg/m³)	Carga (Kg-f)	Área (cm²)	Resistencia (kg/cm²)	% Obtenido
1.00	Comprobación f´c 175 Kg/cm2	3.6"	2.24	23,250.00	176.71	131.57	75.18
2.00	Comprobación f´c 175 Kg/cm2	3.6"	2.24	23,240.00	176.71	131.51	75.15
3.00	Comprobación f´c 175 Kg/cm2	3.5"	2.26	23,850.00	179.08	133.18	76.10
4.00	Comprobación f´c 175 Kg/cm2	3.5"	2.29	23,860.00	176.71	135.02	77.15
5.00	Comprobación f´c 175 Kg/cm2	3.5"	2.33	23,850.00	176.71	134.96	77.12
6.00	Comprobación f´c 175 Kg/cm2	3.5"	2.33	23,840.00	176.71	134.91	77.09

Fuente: Elaboración propia (2019).

Tabla 33

Resistencia a la compresión del concreto f'c=210 kg/cm a los 7 días.

N° de cilindro	Descripción	Slump (Pulg.)	Densidad (kg/m^3)	Carga (Kg-f)	Área (cm^2)	Resistencia (kg/cm^2)	% Obtenido
1.00	Comprobación f´c 210 Kg/cm2	3.4"	2.24	30,560.00	176.71	172.93	82.35
2.00	Comprobación f´c 210 Kg/cm2	3.4"	2.24	30,520.00	176.71	172.71	82.24
3.00	Comprobación f´c 210 Kg/cm2	3.4"	2.29	30,550.00	176.71	172.88	82.32
4.00	Comprobación f´c 210 Kg/cm2	3.4"	2.29	30,540.00	176.71	172.82	82.30
5.00	Comprobación f´c 210 Kg/cm2	3.4"	2.33	30,510.00	176.71	172.65	82.21
6.00	Comprobación f´c 210 Kg/cm2	3.4"	2.33	30,570.00	176.71	172.99	82.38

Fuente: Elaboración propia (2019).

Tabla 34

Resistencia a la compresión del concreto f'c=280 kg/cm a los 7 días.

N° de cilindro	Descripción	Slump (Pulg.)	Densidad (kg/m^3)	Carga (Kg-f)	Área (cm^2)	Resistencia (kg/cm^2)	% Obtenido
1.00	Comprobación f´c 280 Kg/cm2	3.2"	2.24	39,850.00	176.71	225.50	80.54
2.00	Comprobación f´c 280 Kg/cm2	3.3"	2.24	39,820.00	176.71	225.34	80.48
3.00	Comprobación f´c 280 Kg/cm2	3.1"	2.29	39,860.00	176.71	225.56	80.56
4.00	Comprobación f´c 280 Kg/cm2	3.2"	2.29	39,810.00	176.71	225.28	80.46
5.00	Comprobación f´c 280 Kg/cm2	3.2"	2.33	39,870.00	176.71	225.62	80.58
6.00	Comprobación f´c 280 Kg/cm2	3.2"	2.33	39,870.00	176.71	225.62	80.58

Fuente: Elaboración propia (2019).

- **Resistencia a compresión a los 14 días:**

Tabla 35

Resistencia a la compresión del concreto f'c=175 kg/cm a los 14 días.

N° de cilindro	Descripción	Slump (Pulg.)	Densidad (kg/m^3)	Carga (Kg-f)	Área (cm^2)	Resistencia (kg/cm^2)	% Obtenido
1.00	Comprobación f'c 175 kg/cm2	3.6"	2.24	27,850.00	176.71	157.60	90.06
2.00	Comprobación f'c 175 kg/cm2	3.6"	2.24	27,820.00	176.71	157.43	89.96
3.00	Comprobación f'c 175 kg/cm2	3.5"	2.26	27,980.00	179.08	156.24	89.28
4.00	Comprobación f'c 175 kg/cm2	3.5"	2.29	27,950.00	176.71	158.16	90.38
5.00	Comprobación f'c 175 kg/cm2	3.5"	2.33	27,960.00	176.71	158.22	90.41
6.00	Comprobación f'c 175 kg/cm2	3.5"	2.33	27,970.00	176.71	158.28	90.44

Fuente: Elaboración propia (2019).

Tabla 36

Resistencia a la compresión del concreto f'c=210 kg/cm a los 14 días.

N° de cilindro	Descripción	Slump (Pulg.)	Densidad (kg/m^3)	Carga (Kg-f)	Área (cm^2)	Resistencia (kg/cm^2)	% Obtenido
1.00	Comprobación f´c 210 Kg/cm2	3.4"	2.24	33,780.00	176.71	191.16	91.03
2.00	Comprobación f´c 210 Kg/cm2	3.4"	2.24	33,720.00	176.71	190.82	90.86
3.00	Comprobación f´c 210 Kg/cm2	3.4"	2.29	33,820.00	176.71	191.38	91.13
4.00	Comprobación f´c 210 Kg/cm2	3.4"	2.29	33,860.00	176.71	191.61	91.24
5.00	Comprobación f´c 210 Kg/cm2	3.4"	2.33	33,820.00	176.71	191.38	91.13
6.00	Comprobación f´c 210 Kg/cm2	3.4"	2.33	33,830.00	176.71	191.44	91.16

Fuente: Elaboración propia (2019).

Tabla 37

Resistencia a la compresión del concreto f'c=280 kg/cm a los 14 días.

N° de cilindro	Descripción	Slump (Pulg.)	Densidad (kg/m^3)	Carga (Kg-f)	Área (cm^2)	Resistencia (kg/cm^2)	% Obtenido
1.00	Comprobación f´c 280 Kg/cm2	3.2"	2.24	44,980.00	176.71	254.53	90.91
2.00	Comprobación f´c 280 Kg/cm2	3.3"	2.24	44,920.00	176.71	254.20	90.78
3.00	Comprobación f´c 280 Kg/cm2	3.1"	2.29	44,960.00	176.71	254.42	90.86
4.00	Comprobación f´c 280 Kg/cm2	3.2"	2.29	44,950.00	176.71	254.36	90.84
5.00	Comprobación f´c 280 Kg/cm2	3.2"	2.33	44,980.00	176.71	254.53	90.91
6.00	Comprobación f´c 280 Kg/cm2	3.2"	2.33	44,960.00	176.71	254.42	90.86

Fuente: Elaboración propia (2019).

- **Resistencia a compresión a los 28 días:**

Tabla 38

Resistencia a la compresión del concreto f'c=175 kg/cm a los 28 días.

N° de cilindro	Descripción	Slump (Pulg.)	Densidad (kg/m^3)	Carga (Kg-f)	Área (cm^2)	Resistencia (kg/cm^2)	% Obtenido
1.00	Comprobación f'c 175 kg/cm2	3.6"	2.24	43,280.00	176.71	244.91	139.95
2.00	Comprobación f'c 175 kg/cm2	3.6"	2.24	43,270.00	176.71	244.86	139.92
3.00	Comprobación f'c 175 kg/cm2	3.5"	2.29	43,340.00	176.71	245.25	140.15
4.00	Comprobación f'c 175 kg/cm2	3.5"	2.29	43,290.00	176.71	244.97	139.98
5.00	Comprobación f'c 175 kg/cm2	3.5"	2.33	43,300.00	176.71	245.03	140.02
6.00	Comprobación f'c 175 kg/cm2	3.5"	2.33	43,290.00	176.71	244.97	139.98
7.00	Comprobación f'c 175 kg/cm2	3.6"	2.24	43,310.00	176.71	245.08	140.05
8.00	Comprobación f'c 175 kg/cm2	3.6"	2.24	43,300.00	176.71	245.03	140.02

9.00	Comprobación f'c 175 kg/cm2	3.5"	2.29	43,290.00	176.71	244.97	139.98
10.00	Comprobación f'c 175 kg/cm2	3.5"	2.29	43,300.00	176.71	245.03	140.02
11.00	Comprobación f'c 175 kg/cm2	3.5"	2.33	43,280.00	176.71	244.91	139.95
12.00	Comprobación f'c 175 kg/cm2	3.5"	2.33	43,290.00	176.71	244.97	139.98
13.00	Comprobación f'c 175 kg/cm2	3.6"	2.24	43,290.00	176.71	244.97	139.98
14.00	Comprobación f'c 175 kg/cm2	3.6"	2.24	43,290.00	176.71	244.97	139.98
15.00	Comprobación f'c 175 kg/cm2	3.5"	2.29	43,330.00	176.71	245.20	140.11
16.00	Comprobación f'c 175 kg/cm2	3.5"	2.29	43,270.00	176.71	244.86	139.92
17.00	Comprobación f'c 175 kg/cm2	3.5"	2.33	43,290.00	176.71	244.97	139.98
18.00	Comprobación f'c 175 kg/cm2	3.5"	2.33	43,300.00	176.71	245.03	140.02
19.00	Comprobación f'c 175 kg/cm2	3.6"	2.24	43,310.00	176.71	245.08	140.05
20.00	Comprobación f'c 175 kg/cm2	3.6"	2.24	43,290.00	176.71	244.97	139.98
21.00	Comprobación f'c 175 kg/cm2	3.5"	2.29	43,300.00	176.71	245.03	140.02
22.00	Comprobación f'c 175 kg/cm2	3.5"	2.29	43,260.00	176.71	244.80	139.89
23.00	Comprobación f'c 175 kg/cm2	3.5"	2.33	43,290.00	176.71	244.97	139.98
24.00	Comprobación f'c 175 kg/cm2	3.5"	2.33	43,320.00	176.71	245.14	140.08
25.00	Comprobación f'c 175 kg/cm2	3.6"	2.24	43,280.00	176.71	244.91	139.95
26.00	Comprobación f'c 175 kg/cm2	3.6"	2.24	43,310.00	176.71	245.08	140.05
27.00	Comprobación f'c 175	3.5"	2.29	43,310.00	176.71	245.08	140.05

	kg/cm2						
28.00	Comprobación f'c 175 kg/cm2	3.5"	2.29	43,300.00	176.71	245.03	140.02
29.00	Comprobación f'c 175 kg/cm2	3.5"	2.33	43,290.00	176.71	244.97	139.98
30.00	Comprobación f'c 175 kg/cm2	3.5"	2.33	43,280.00	176.71	244.91	139.95
31.00	Comprobación f'c 175 kg/cm2	3.6"	2.24	43,290.00	176.71	244.97	139.98
32.00	Comprobación f'c 175 kg/cm2	3.6"	2.24	43,280.00	176.71	244.91	139.95
33.00	Comprobación f'c 175 kg/cm2	3.5"	2.29	43,310.00	176.71	245.08	140.05
34.00	Comprobación f'c 175 kg/cm2	3.5"	2.29	43,300.00	176.71	245.03	140.02
35.00	Comprobación f'c 175 kg/cm2	3.5"	2.33	43,290.00	176.71	244.97	139.98
36.00	Comprobación f'c 175 kg/cm2	3.5"	2.33	43,300.00	176.71	245.03	140.02
37.00	Comprobación f'c 175 kg/cm2	3.6"	2.24	43,290.00	176.71	244.97	139.98
38.00	Comprobación f'c 175 kg/cm2	3.6"	2.24	43,300.00	176.71	245.03	140.02
39.00	Comprobación f'c 175 kg/cm2	3.5"	2.29	43,290.00	176.71	244.97	139.98
40.00	Comprobación f'c 175 kg/cm2	3.5"	2.29	43,290.00	176.71	244.97	139.98
41.00	Comprobación f'c 175 kg/cm2	3.5"	2.33	43,310.00	176.71	245.08	140.05
42.00	Comprobación f'c 175 kg/cm2	3.5"	2.33	43,290.00	176.71	244.97	139.98
43.00	Comprobación f'c 175 kg/cm2	3.6"	2.24	43,310.00	176.71	245.08	140.05
44.00	Comprobación f'c 175 kg/cm2	3.6"	2.24	43,290.00	176.71	244.97	139.98
45.00	Comprobación f'c 175 kg/cm2	3.5"	2.29	43,290.00	176.71	244.97	139.98

46.00	Comprobación f'c 175 kg/cm2	3.5"	2.29	43,300.00	176.71	245.03	140.02
47.00	Comprobación f'c 175 kg/cm2	3.5"	2.33	43,320.00	176.71	245.14	140.08
48.00	Comprobación f'c 175 kg/cm2	3.5"	2.33	43,260.00	176.71	244.80	139.89

Fuente: Elaboración propia (2019).

Tabla 39

Resistencia a la compresión del concreto f'c=210 kg/cm a los 28 días.

N° de cilindro	Descripción	Slump (Pulg.)	Densidad (kg/m^3)	Carga (Kg-f)	Área (cm^2)	Resistencia (kg/cm^2)	% Obtenido
1.00	Comprobación f'c 210 kg/cm2	3.4"	2.24	51,960.00	176.71	294.03	140.02
2.00	Comprobación f'c 210 kg/cm2	3.4"	2.24	51,950.00	176.71	293.98	139.99
3.00	Comprobación f'c 210 kg/cm2	3.4"	2.29	51,960.00	176.71	294.03	140.02
4.00	Comprobación f'c 210 kg/cm2	3.4"	2.29	51,960.00	176.71	294.03	140.02
5.00	Comprobación f'c 210 kg/cm2	3.4"	2.33	51,950.00	176.71	293.98	139.99
6.00	Comprobación f'c 210 kg/cm2	3.4"	2.33	51,960.00	176.71	294.03	140.02
7.00	Comprobación f'c 210 kg/cm2	3.4"	2.24	51,950.00	176.71	293.98	139.99
8.00	Comprobación f'c 210 kg/cm2	3.4"	2.24	51,960.00	176.71	294.03	140.02
9.00	Comprobación f'c 210 kg/cm2	3.4"	2.29	51,970.00	176.71	294.09	140.04
10.00	Comprobación f'c 210 kg/cm2	3.4"	2.29	51,940.00	176.71	293.92	139.96
11.00	Comprobación f'c 210 kg/cm2	3.4"	2.33	51,960.00	176.71	294.03	140.02
12.00	Comprobación f'c 210 kg/cm2	3.4"	2.33	51,970.00	176.71	294.09	140.04

13.00	Comprobación f'c 210 kg/cm2	3.4"	2.24	51,960.00	176.71	294.03	140.02
14.00	Comprobación f'c 210 kg/cm2	3.4"	2.24	51,940.00	176.71	293.92	139.96
15.00	Comprobación f'c 210 kg/cm2	3.4"	2.26	51,940.00	179.08	290.04	138.11
16.00	Comprobación f'c 210 kg/cm2	3.4"	2.26	51,920.00	179.08	289.93	138.06
17.00	Comprobación f'c 210 kg/cm2	3.4"	2.30	51,970.00	179.08	290.21	138.19
18.00	Comprobación f'c 210 kg/cm2	3.4"	2.33	51,950.00	176.71	293.98	139.99
19.00	Comprobación f'c 210 kg/cm2	3.4"	2.24	51,950.00	176.71	293.98	139.99
20.00	Comprobación f'c 210 kg/cm2	3.4"	2.24	51,970.00	176.71	294.09	140.04
21.00	Comprobación f'c 210 kg/cm2	3.4"	2.29	51,980.00	176.71	294.15	140.07
22.00	Comprobación f'c 210 kg/cm2	3.4"	2.29	51,970.00	176.71	294.09	140.04
23.00	Comprobación f'c 210 kg/cm2	3.4"	2.33	51,970.00	176.71	294.09	140.04
24.00	Comprobación f'c 210 kg/cm2	3.4"	2.33	51,960.00	176.71	294.03	140.02
25.00	Comprobación f'c 210 kg/cm2	3.4"	2.24	51,940.00	176.71	293.92	139.96
26.00	Comprobación f'c 210 kg/cm2	3.4"	2.24	51,950.00	176.71	293.98	139.99
27.00	Comprobación f'c 210 kg/cm2	3.4"	2.29	51,920.00	176.71	293.81	139.91
28.00	Comprobación f'c 210 kg/cm2	3.4"	2.29	51,930.00	176.71	293.86	139.94
29.00	Comprobación f'c 210 kg/cm2	3.4"	2.33	51,970.00	176.71	294.09	140.04
30.00	Comprobación f'c 210 kg/cm2	3.4"	2.33	51,980.00	176.71	294.15	140.07
31.00	Comprobación f'c 210	3.4"	2.24	51,950.00	176.71	293.98	139.99

	kg/cm2						
32.00	Comprobación f'c 210 kg/cm2	3.4"	2.24	51,960.00	176.71	294.03	140.02
33.00	Comprobación f'c 210 kg/cm2	3.4"	2.29	51,970.00	176.71	294.09	140.04
34.00	Comprobación f'c 210 kg/cm2	3.4"	2.29	51,980.00	176.71	294.15	140.07
35.00	Comprobación f'c 210 kg/cm2	3.4"	2.33	51,970.00	176.71	294.09	140.04
36.00	Comprobación f'c 210 kg/cm2	3.4"	2.33	51,920.00	176.71	293.81	139.91
37.00	Comprobación f'c 210 kg/cm2	3.4"	2.24	51,950.00	176.71	293.98	139.99
38.00	Comprobación f'c 210 kg/cm2	3.4"	2.24	51,960.00	176.71	294.03	140.02
39.00	Comprobación f'c 210 kg/cm2	3.4"	2.26	51,950.00	179.08	290.10	138.14
40.00	Comprobación f'c 210 kg/cm2	3.4"	2.29	51,940.00	176.71	293.92	139.96
41.00	Comprobación f'c 210 kg/cm2	3.4"	2.33	51,940.00	176.71	293.92	139.96
42.00	Comprobación f'c 210 kg/cm2	3.4"	2.33	51,950.00	176.71	293.98	139.99
43.00	Comprobación f'c 210 kg/cm2	3.4"	2.24	51,920.00	176.71	293.81	139.91
44.00	Comprobación f'c 210 kg/cm2	3.4"	2.24	51,950.00	176.71	293.98	139.99
45.00	Comprobación f'c 210 kg/cm2	3.4"	2.26	51,930.00	179.08	289.98	138.09
46.00	Comprobación f'c 210 kg/cm2	3.4"	2.29	51,920.00	176.71	293.81	139.91
47.00	Comprobación f'c 210 kg/cm2	3.4"	2.33	51,940.00	176.71	293.92	139.96
48.00	Comprobación f'c 210 kg/cm2	3.4"	2.33	51,960.00	176.71	294.03	140.02

Fuente: Elaboración propia (2019).

Tabla 40

Resistencia a la compresión del concreto f'c=280 kg/cm a los 28 días.

N° de cilindro	Descripción	Slump (Pulg.)	Densidad (kg/m^3)	Carga (Kg-f)	Área (cm^2)	Resistencia (kg/cm^2)	% Obtenido
1.00	Comprobación f'c 280 kg/cm2	3.2"	2.24	64,320.00	176.71	363.98	129.99
2.00	Comprobación f'c 280 kg/cm2	3.3"	2.24	64,330.00	176.71	364.03	130.01
3.00	Comprobación f'c 280 kg/cm2	3.1"	2.29	64,310.00	176.71	363.92	129.97
4.00	Comprobación f'c 280 kg/cm2	3.2"	2.29	64,350.00	176.71	364.15	130.05
5.00	Comprobación f'c 280 kg/cm2	3.2"	2.33	64,330.00	176.71	364.03	130.01
6.00	Comprobación f'c 280 kg/cm2	3.2"	2.33	64,330.00	176.71	364.03	130.01
7.00	Comprobación f'c 280 kg/cm2	3.2"	2.24	64,320.00	176.71	363.98	129.99
8.00	Comprobación f'c 280 kg/cm2	3.3"	2.24	64,350.00	176.71	364.15	130.05
9.00	Comprobación f'c 280 kg/cm2	3.1"	2.29	64,310.00	176.71	363.92	129.97
10.00	Comprobación f'c 280 kg/cm2	3.2"	2.29	64,340.00	176.71	364.09	130.03
11.00	Comprobación f'c 280 kg/cm2	3.2"	2.33	64,340.00	176.71	364.09	130.03
12.00	Comprobación f'c 280 kg/cm2	3.2"	2.33	64,320.00	176.71	363.98	129.99
13.00	Comprobación f'c 280 kg/cm2	3.2"	2.24	64,320.00	176.71	363.98	129.99
14.00	Comprobación f'c 280 kg/cm2	3.3"	2.24	64,350.00	176.71	364.15	130.05
15.00	Comprobación f'c 280 kg/cm2	3.1"	2.29	64,360.00	176.71	364.20	130.07
16.00	Comprobación f'c 280 kg/cm2	3.2"	2.29	64,340.00	176.71	364.09	130.03

17.00	Comprobación f'c 280 kg/cm2	3.2"	2.33	64,320.00	176.71	363.98	129.99
18.00	Comprobación f'c 280 kg/cm2	3.2"	2.33	64,310.00	176.71	363.92	129.97
19.00	Comprobación f'c 280 kg/cm2	3.2"	2.24	64,330.00	176.71	364.03	130.01
20.00	Comprobación f'c 280 kg/cm2	3.3"	2.24	64,300.00	176.71	363.86	129.95
21.00	Comprobación f'c 280 kg/cm2	3.1"	2.29	64,350.00	176.71	364.15	130.05
22.00	Comprobación f'c 280 kg/cm2	3.2"	2.29	64,340.00	176.71	364.09	130.03
23.00	Comprobación f'c 280 kg/cm2	3.2"	2.33	64,340.00	176.71	364.09	130.03
24.00	Comprobación f'c 280 kg/cm2	3.2"	2.33	64,340.00	176.71	364.09	130.03
25.00	Comprobación f'c 280 kg/cm2	3.2"	2.24	64,340.00	176.71	364.09	130.03
26.00	Comprobación f'c 280 kg/cm2	3.3"	2.24	64,320.00	176.71	363.98	129.99
27.00	Comprobación f'c 280 kg/cm2	3.1"	2.29	64,320.00	176.71	363.98	129.99
28.00	Comprobación f'c 280 kg/cm2	3.2"	2.29	64,330.00	176.71	364.03	130.01
29.00	Comprobación f'c 280 kg/cm2	3.2"	2.33	64,340.00	176.71	364.09	130.03
30.00	Comprobación f'c 280 kg/cm2	3.2"	2.33	64,320.00	176.71	363.98	129.99
31.00	Comprobación f'c 280 kg/cm2	3.2"	2.24	64,320.00	176.71	363.98	129.99
32.00	Comprobación f'c 280 kg/cm2	3.3"	2.24	64,330.00	176.71	364.03	130.01
33.00	Comprobación f'c 280 kg/cm2	3.1"	2.29	64,330.00	176.71	364.03	130.01
34.00	Comprobación f'c 280 kg/cm2	3.2"	2.29	64,320.00	176.71	363.98	129.99
35.00	Comprobación f'c 280	3.2"	2.33	64,330.00	176.71	364.03	130.01

	kg/cm2						
36.00	Comprobación f'c 280 kg/cm2	3.2"	2.33	64,330.00	176.71	364.03	130.01
37.00	Comprobación f'c 280 kg/cm2	3.2"	2.24	64,320.00	176.71	363.98	129.99
38.00	Comprobación f'c 280 kg/cm2	3.3"	2.24	64,330.00	176.71	364.03	130.01
39.00	Comprobación f'c 280 kg/cm2	3.1"	2.29	64,330.00	176.71	364.03	130.01
40.00	Comprobación f'c 280 kg/cm2	3.2"	2.29	64,320.00	176.71	363.98	129.99
41.00	Comprobación f'c 280 kg/cm2	3.2"	2.33	64,350.00	176.71	364.15	130.05
42.00	Comprobación f'c 280 kg/cm2	3.2"	2.33	64,350.00	176.71	364.15	130.05
43.00	Comprobación f'c 280 kg/cm2	3.2"	2.24	64,350.00	176.71	364.15	130.05
44.00	Comprobación f'c 280 kg/cm2	3.3"	2.24	64,320.00	176.71	363.98	129.99
45.00	Comprobación f'c 280 kg/cm2	3.1"	2.29	64,330.00	176.71	364.03	130.01
46.00	Comprobación f'c 280 kg/cm2	3.2"	2.29	64,330.00	176.71	364.03	130.01
47.00	Comprobación f'c 280 kg/cm2	3.2"	2.33	64,330.00	176.71	364.03	130.01
48.00	Comprobación f'c 280 kg/cm2	3.2"	2.33	64,320.00	176.71	363.98	129.99

Fuente: Elaboración propia (2019).

3.1.6 Evolución de la resistencia del concreto

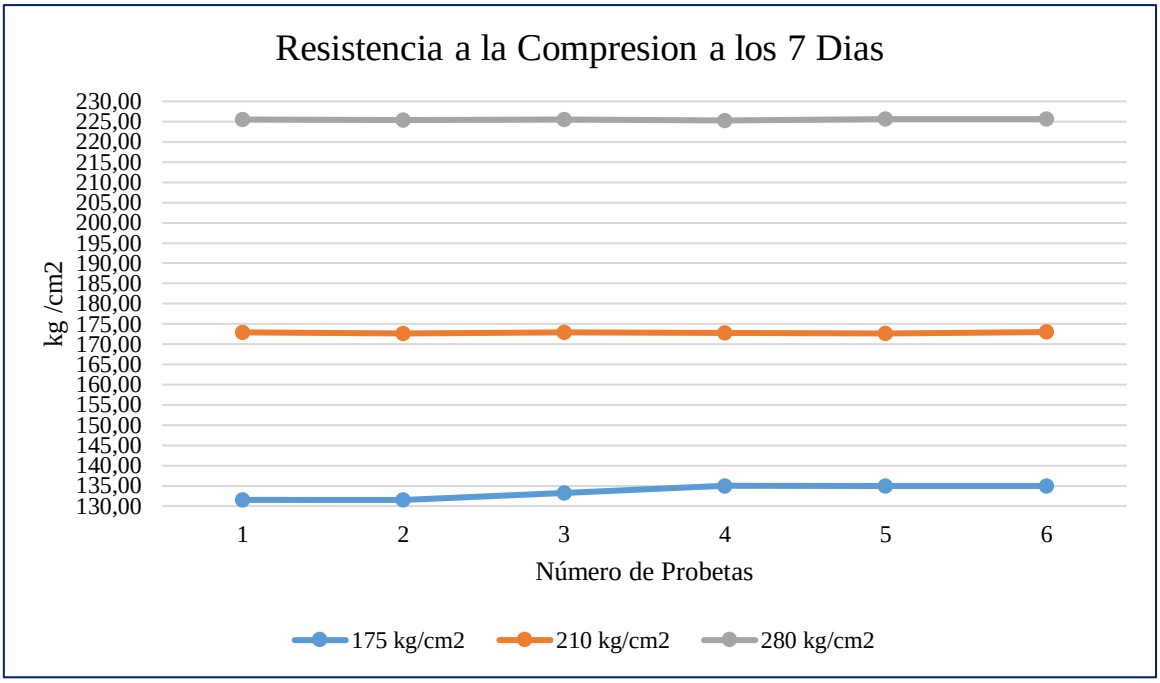

Figura 5. Evolución de la resistencia a la compresión de los concretos a los 7 días. (Fuente: Elaboración propia. (2019))

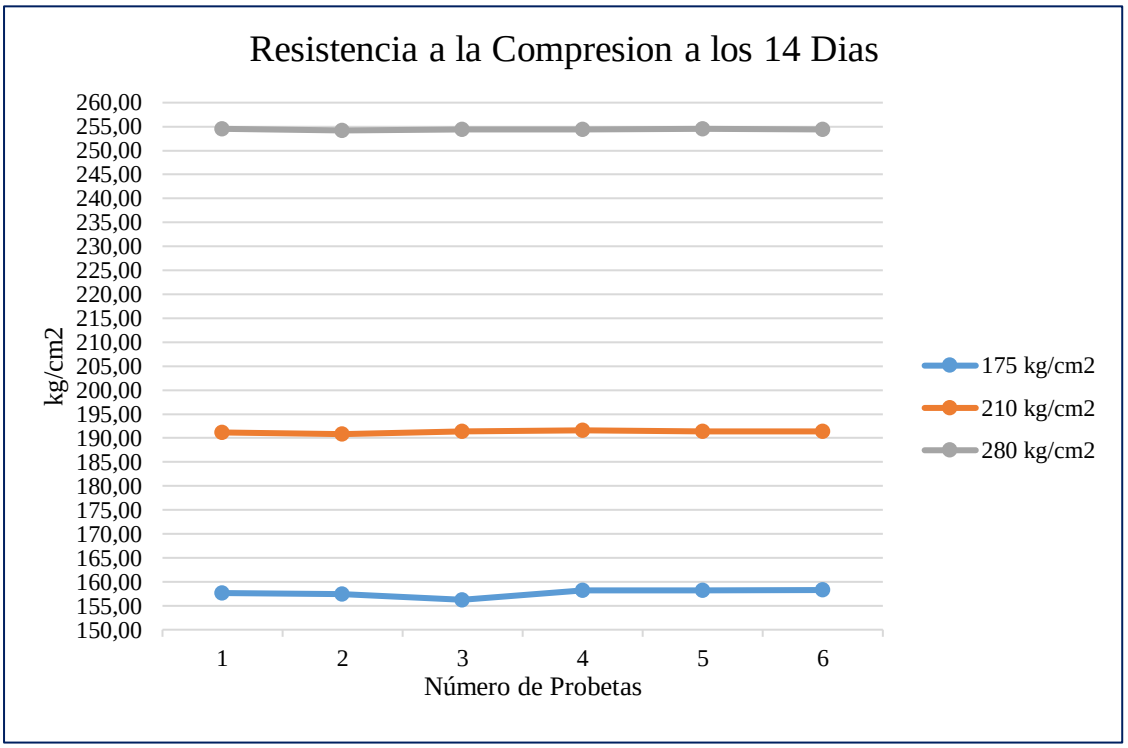

Figura 6. Evolución de la resistencia a la compresión de los concretos a los 14 días. (Fuente: Elaboración propia. (2019)

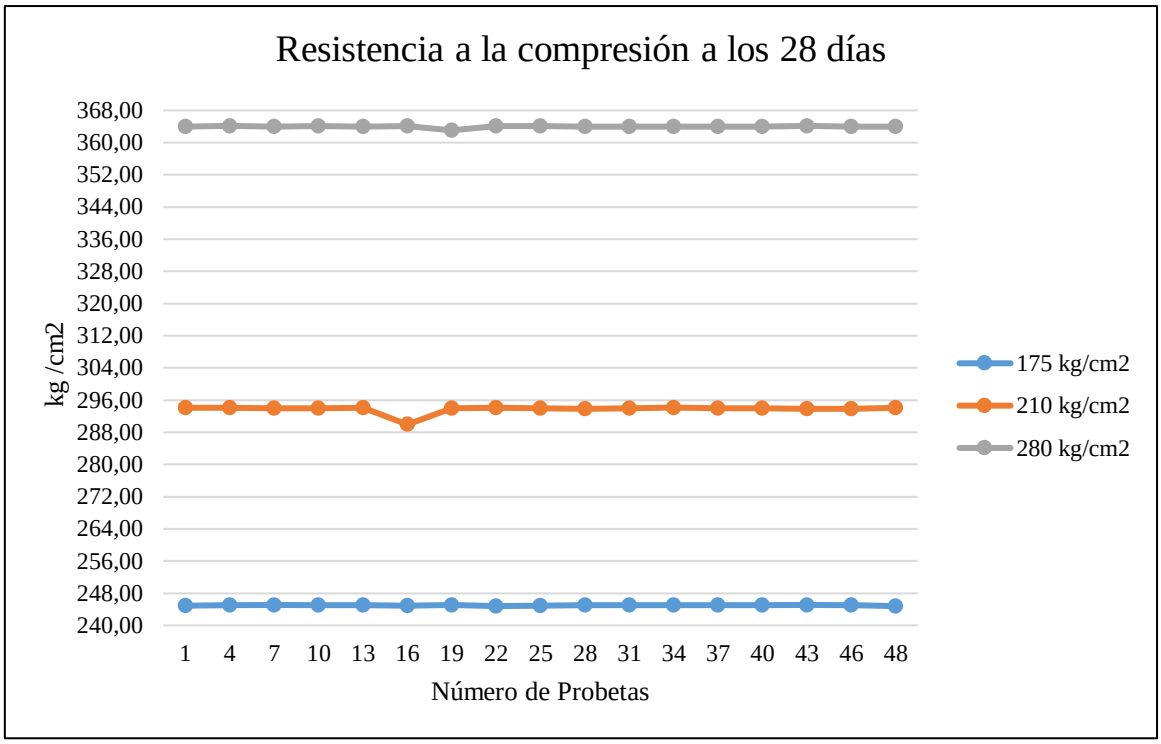

Figura 7. Evolución de la resistencia a la compresión de los concretos a los 28 días.

(Fuente: Elaboración propia. (2019)

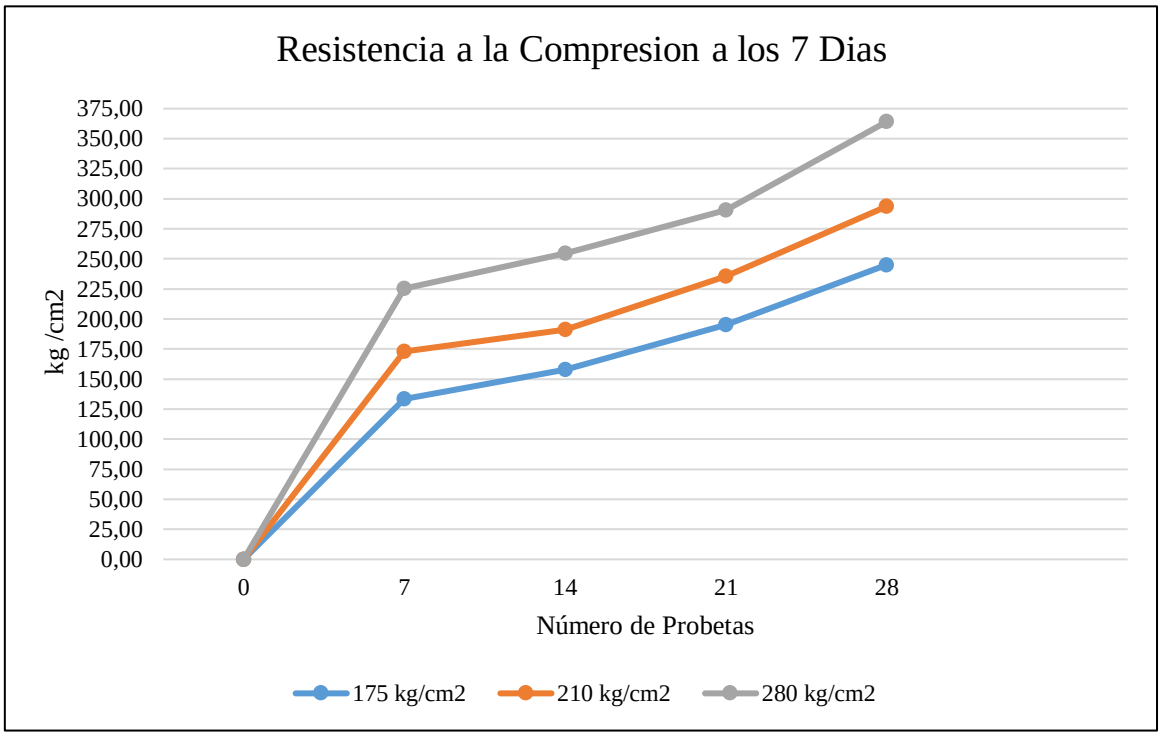

Figura 8. Evolución de la resistencia a la compresión promedio de los concretos a través del tiempo.

(Fuente: Elaboración propia. (2019))

3.1.7 Control estadístico

el control estadístico en el concreto fue desarrollado con los resultados de probetas obtenidas a los 28 días.

3.1.7.1 Concreto de control

El control estadístico del concreto se realizó en base a la resistencia 210 kg/cm2

Tabla 41

Control estadístico del concreto 210 kg/cm2

N	Xi	Xi - X	(Xi -□)^2	(Xi - □)^3	(Xi - □)^4
1	294.03	0.45	0.20	0.09	0.04
2	293.98	0.39	0.15	0.06	0.02
3	294.03	0.45	0.20	0.09	0.04
4	294.03	0.45	0.20	0.09	0.04
5	293.98	0.39	0.15	0.06	0.02
6	294.03	0.45	0.20	0.09	0.04
7	293.98	0.39	0.15	0.06	0.02
8	294.03	0.45	0.20	0.09	0.04
9	294.09	0.50	0.25	0.13	0.06
10	293.92	0.33	0.11	0.04	0.01
11	294.03	0.45	0.20	0.09	0.04
12	294.09	0.50	0.25	0.13	0.06
13	294.03	0.45	0.20	0.09	0.04
14	293.92	0.33	0.11	0.04	0.01
15	290.04	-3.55	12.58	-44.61	158.22
16	289.93	-3.66	13.38	-48.96	179.11
17	290.21	-3.38	11.42	-38.58	130.38
18	293.98	0.39	0.15	0.06	0.02
19	293.98	0.39	0.15	0.06	0.02
20	294.09	0.50	0.25	0.13	0.06
21	294.15	0.56	0.31	0.18	0.10
22	294.09	0.50	0.25	0.13	0.06
23	294.09	0.50	0.25	0.13	0.06
24	294.03	0.45	0.20	0.09	0.04
25	293.92	0.33	0.11	0.04	0.01
26	293.98	0.39	0.15	0.06	0.02
27	293.81	0.22	0.05	0.01	0.00
28	293.86	0.28	0.08	0.02	0.01
29	294.09	0.50	0.25	0.13	0.06
30	294.15	0.56	0.31	0.18	0.10
31	293.98	0.39	0.15	0.06	0.02

32	294.03	0.45	0.20	0.09	0.04
33	294.09	0.50	0.25	0.13	0.06
34	294.15	0.56	0.31	0.18	0.10
35	294.09	0.50	0.25	0.13	0.06
36	293.81	0.22	0.05	0.01	0.00
37	293.98	0.39	0.15	0.06	0.02
38	294.03	0.45	0.20	0.09	0.04
39	290.10	-3.49	12.19	-42.54	148.49
40	293.92	0.33	0.11	0.04	0.01
41	293.92	0.33	0.11	0.04	0.01
42	293.98	0.39	0.15	0.06	0.02
43	293.81	0.22	0.05	0.01	0.00
44	293.98	0.39	0.15	0.06	0.02
45	289.98	-3.60	12.98	-46.75	168.42
46	293.81	0.22	0.05	0.01	0.00
47	293.92	0.33	0.11	0.04	0.01
48	294.03	0.45	0.20	0.09	0.04
Sumatoria	14092.17	0.00	70.16	-218.04	786.20

Fuente: Elaboración propio 2019

$$X = \frac{\sum_{i=1}^{n} Xi}{n} = \frac{14092.17}{48} = 293.59$$

- Mediana

$$M_e = 293.59$$

- Moda

$$M_o = 294.03$$

- Desviación estándar

$$S = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^{n}(Xi - X)^2}}{n-1} = \frac{\sqrt{70.16}}{48-1} = 0.17$$

- Coeficiente de desviación

$$\%CV\,\frac{S}{X}x100 = \frac{0.17}{293.59}x100 = 0.06\%$$

- Varianza

$$S^2 = \frac{\sum_{i=1}^{n}(Xi - X)^2}{n-1} = \frac{70.16}{48-1} = 1.49$$

- Asimetria

$$g_1 = \frac{\sum_{i=1}^{n}(Xi - X)^3}{n * S^3} = \frac{-218.04}{48 * 0.17^3} = -924.59$$

- Curtosis de apuntalamiento

$$g_2 = \frac{\sum_{i=1}^{n}(Xi - X)^4}{n * S^4} - 3 = \frac{786.20}{48 * 0.17^4} = -19610.84$$

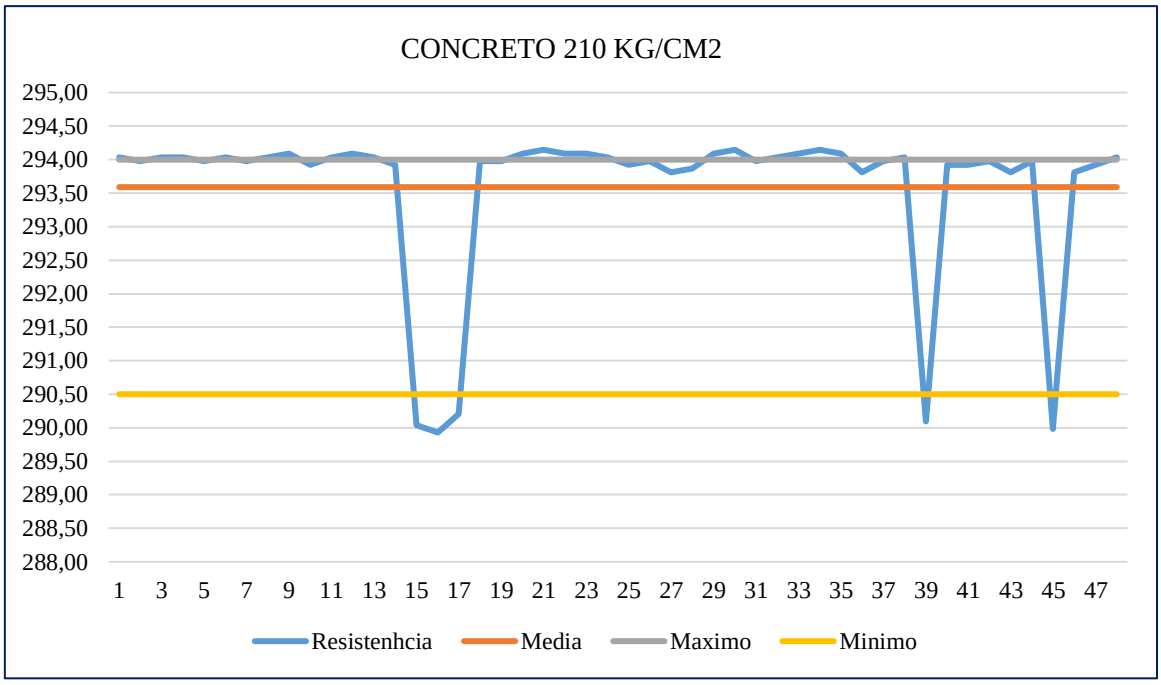

Figura 9. Desviación estándar (dispersión) de las resistencias a la compresión del concreto de control (patrón). (Fuente: Elaboración propia. (2019))

3.1.8 Prueba t-Student

Para todos los casos, el primer paso es establecer la hipótesis nula y la hipótesis alternativa:

H0= La calidad de los agregados de las canteras de los ríos Huallaga y Sisa, así como una adecuada dosificación son óptimas para obtener concretos de f´c = 175 Kg/cm2, f´c = 210 Kg/cm2, f´c = 280 Kg/cm2 y de alta resistencia

H1= La calidad de los agregados de las canteras de los ríos Huallaga y Sisa, así como una adecuada dosificación son óptimas para obtener concretos de f´c = 175 Kg/cm2, f´c = 210 Kg/cm2, f´c = 280 Kg/cm2 y de alta resistencia

Luego se procede a determinar la “t calculada” y la “t crítica”, considerando que las variables a comparar son independientes entre sí.

3.1.8.1 Concreto f´c175 kg/cm2 y concreto f´c 210 kg/cm2

Tabla 42

t-Student de concreto 175 kg/cm2 y concreto 210 kg/cm2

Nivel	Grupo/Experiencia	
Lecturas	**1**	**2**
1	244.91	294.03
2	244.86	293.98
3	245.25	294.03
4	244.97	294.03
5	245.03	293.98
6	244.97	294.03
7	245.08	293.98
8	245.03	294.03
9	244.97	294.09
10	245.03	293.92
11	244.91	294.03
12	244.97	294.09
13	244.97	294.03
14	244.97	293.92
15	245.20	290.04
16	244.86	289.93
17	244.97	290.21
18	245.03	293.98
19	245.08	293.98
20	244.97	294.09
21	245.03	294.15
22	244.80	294.09
23	244.97	294.09
24	245.14	294.03
25	244.91	293.92
26	245.08	293.98
27	245.08	293.81
28	245.03	293.86
29	244.97	294.09
30	244.91	294.15
31	244.97	293.98

32	244.91	294.03
33	245.08	294.09
34	245.03	294.15
35	244.97	294.09
36	245.03	293.81
37	244.97	293.98
38	245.03	294.03
39	244.97	290.10
40	244.97	293.92
41	245.08	293.92
42	244.97	293.98
43	245.08	293.81
44	244.97	293.98
45	244.97	289.98
46	245.03	293.81
47	245.14	293.92
48	244.80	294.03

Fuente: Elaboración propia (2019)

Experiencia 1: $n1$=48, media $\bar{X1}$=245.00, desv. estándar $S1$=0.01, grados de libertad: 47
Experiencia 2: $n2$=48, media $\bar{X2}$=293.59, desv. estándar $S2$=0.17, grados de libertad: 47

$$t\ calc = \frac{|X1 - X2|}{\sqrt{\frac{S1^2(n1-1) + S2^2(n1-1)}{n1+n1-2} * \frac{1}{n1} + \frac{1}{n2})}}$$

$$t\ calc = \frac{|245.00 - 293.59|}{\sqrt{\frac{0.01^2(48-1) + 0.17^2(48-1)}{48+48-2} * \frac{1}{48} + \frac{1}{48})}} = 1976.11$$

Para calcular el valor de "t crítica" acudimos a la **Tabla 19**, donde se determina:

$t_{crít} = 2.056$

Se observa que $t_{calc} \gg t_{crít}$, por lo que se concluye que existen diferencias muy significativas. Por lo cual el resultado se acepta.

3.1.8.2 Concreto 175 kg/cm2 y concreto 280 kg/cm2

Tabla 43

t-Student de concreto 175 kg/cm2 y concreto 280 kg/cm2

Nivel	Grupo/Experiencia	
Lecturas	**1**	**2**
1	244.91	363.98
2	244.86	364.03
3	245.25	363.92
4	244.97	364.15
5	245.03	364.03
6	244.97	364.03
7	245.08	363.98
8	245.03	364.15
9	244.97	363.92
10	245.03	364.09
11	244.91	364.09
12	244.97	363.98
13	244.97	363.98
14	244.97	364.15
15	245.20	364.20
16	244.86	364.09
17	244.97	363.98
18	245.03	363.92
19	245.08	364.03
20	244.97	363.86
21	245.03	364.15
22	244.80	364.09
23	244.97	364.09
24	245.14	364.09
25	244.91	364.09
26	245.08	363.98
27	245.08	363.98
28	245.03	364.03
29	244.97	364.09
30	244.91	363.98

31	244.97	363.98
32	244.91	364.03
33	245.08	364.03
34	245.03	363.98
35	244.97	364.03
36	245.03	364.03
37	244.97	363.98
38	245.03	364.03
39	244.97	364.03
40	244.97	363.98
41	245.08	364.15
42	244.97	364.15
43	245.08	364.15
44	244.97	363.98
45	244.97	364.03
46	245.03	364.03
47	245.14	364.03
48	244.80	363.98

Fuente: Elaboración propia (2019)

Experiencia 1: $n1$=48, media $\bar{X}1$=245.00, desv. estándar $S1$=0.01, grados de libertad: 47
Experiencia 2: $n2$=48, media $\bar{X}2$=364.04, desv. estándar $S2$=0.01, grados de libertad: 47

$$t\ calc = \frac{|X1 - X2|}{\sqrt{\frac{S1^2(n1-1) + S2^2(n1-1)}{n1+n1-2} * \frac{1}{n1} + \frac{1}{n2})}}$$

$$t\ calc = \frac{|245.00 - 364.04|}{\sqrt{\frac{0.01^2(48-1) + 0.01^2(48-1)}{48+48-2} * \frac{1}{48} + \frac{1}{48})}} = 58317.47$$

Para calcular el valor de "t crítica" acudimos a la **Tabla 19**, donde se determina:

$t_{crít} = 2.056$

Se observa que $t_{calc} \gg t_{crít}$, por lo que se concluye que existen diferencias muy significativas. Por lo cual el resultado se acepta.

3.1.8.3 Concreto 175 kg/cm2 y concreto 280 kg/cm2

Tabla 44

t-Student de concreto 210 kg/cm2 y concreto 280 kg/cm2

Nivel	Grupo/Experiencia	
Lecturas	**1**	**2**
1	294.03	363.98
2	293.98	364.03
3	294.03	363.92
4	294.03	364.15
5	293.98	364.03
6	294.03	364.03
7	293.98	363.98
8	294.03	364.15
9	294.09	363.92
10	293.92	364.09
11	294.03	364.09
12	294.09	363.98
13	294.03	363.98
14	293.92	364.15
15	290.04	364.20
16	289.93	364.09
17	290.21	363.98
18	293.98	363.92
19	293.98	364.03
20	294.09	363.86
21	294.15	364.15
22	294.09	364.09
23	294.09	364.09
24	294.03	364.09
25	293.92	364.09
26	293.98	363.98
27	293.81	363.98
28	293.86	364.03
29	294.09	364.09
30	294.15	363.98

31	293.98	363.98
32	294.03	364.03
33	294.09	364.03
34	294.15	363.98
35	294.09	364.03
36	293.81	364.03
37	293.98	363.98
38	294.03	364.03
39	290.10	364.03
40	293.92	363.98
41	293.92	364.15
42	293.98	364.15
43	293.81	364.15
44	293.98	363.98
45	289.98	364.03
46	293.81	364.03
47	293.92	364.03
48	294.03	363.98

Fuente: Elaboración propia (2019)

Experiencia 1: $n1$=48, media $\bar{X}1$=293.59, desv. estándar $S1$=0.17, grados de libertad: 47
Experiencia 2: $n2$=48, media $\bar{X}2$=364.04, desv. estándar $S2$=0.01, grados de libertad: 47

$$t\ calc = \frac{|X1 - X2|}{\sqrt{\frac{S1^2(n1-1) + S2^2(n1-1)}{n1+n1-2} * \frac{1}{n1} + \frac{1}{n2})}}$$

$$t\ calc = \frac{|293.59 - 364.04|}{\sqrt{\frac{0.17^2(48-1) + 0.01^2(48-1)}{48+48-2} * \frac{1}{48} + \frac{1}{48})}} = 2866.17$$

Para calcular el valor de "t crítica" acudimos a la **Tabla 19**, donde se determina:

$t_{crít} = 2.056$

Se observa que $t_{calc} \gg t_{crít}$, por lo que se concluye que existen diferencias muy significativas. Por lo cual el resultado se acepta.

3.2 Discusión

3.2.1 Agregados

- En la gráfica de curva granulométrica del agregado fino podemos visualizar que existe un tramo de la curva que se acerca al límite del huso correspondiente, esto se debe a que los porcentajes acumulados que pasan por los tamices N° 16 y N° 30, son mayores a los que se encuentran establecidos en la norma NTP 400.012, existiendo una mayor cantidad de finos. Sin embargo, se encuentra dentro de los requisitos que exige la norma, es decir, dentro del huso seleccionado.
- Las características físicas del agregado grueso procedente del rio Huallaga, han cumplido con los requisitos que exige la norma, encontrándose la curva granulométrica dentro del huso correspondiente.
- Las características físicas del agregado grueso, cuya granulometría se encuentra bien gradada podrá utilizarse como agregado en concretos de alta resistencia
- El módulo de fineza del agregado fino es 2.40, recomendado para concretos de alta trabajabilidad.
- Las propiedades químicas de ambos agregados se encuentran dentro de los parámetros admisibles establecidos por las normas correspondiente.

3.2.2 Diseño de mezcla del concreto

El diseño de mezcla de concreto fue elaborado según los parámetros establecidos por comité ACI 211-1. Este establece que para la elaboración de concretos F´c se usar un factor de seguridad determinado (F´c + 84), cuando se cuenta con escasos o ningún dato estadístico.

3.2.3 Consistencia del concreto

- El asentamiento o Slump del concreto F´c 175 kg/cm2, 210 kg/cm2 y 280 kg/cm2 fue de 3.4” en promedio, siendo las misma diseñadas para 4”, contando así con una consistencia plástica, la cual es la deseada de como base general.
- Cabe mencionar que se realizaron muchas pruebas para alcanzar un Slump aceptable dentro de los límites permisibles por la norma, variando las cantidades de agregado fino y grueso, así como de la relación Agua/Cemento. Esta variedad de prueba nos permitió determinar que con los agregados extraídos de las canteras podremos además obtener concretos de alta resistencia.

3.2.4 Numero de muestra de probetas de concreto.

- Según la norma **ASTM C 192,** usualmente se moldean 3 o más probetas para cada edad de ensayo, en esta investigación se elaboración 60 probetas para cada diseño de mezcla de concreto, con la finalidad de obtener suficientes datos y poder analizarlos.

3.2.5 Peso unitario del concreto

- Todos los diseños obtuvieron concreto de peso normal, es decir, un peso unitario entre 2,250 y 2,450 kg/m3. Esto se debe a la aproximación de pesos unitarios entre los agregados.

3.2.6 Control estadístico

- La desviación estándar de los resultados obtenidos en la rotura de probetas de concreto, es menor a 14.1 kg/cm2, considerándose como una clase de operación excelente para concretos en laboratorio.

- La distribución de los datos obtenidos en la rotura de probetas de concreto, de las 3 mezclas, es aproximadamente a una distribución normal, de acuerdo a los parámetros calculados, por lo que las lecturas de la resistencia a la compresión pueden usarse en la prueba t-Student, para determinar la validez y confiabilidad de la metodología.

3.2.7 Validez y confiabilidad del método

- Mediante la aplicación t-Student se ha determinado que existe diferencias significativas (en el orden superior) entre los concretos 175 kg/cm2, 210 kg/cm2, y 280kg/cm2 por lo que el método demuestra validez y confiabilidad.

3.2.8 Contrastación de la hipótesis

- De acuerdo con los resultados obtenidos mediante la rotura de probetas de concreto 175 kg/cm2, 210 kg/cm2 y 280 kg/cm2, el control estadístico realizado y la aplicación de la prueba t-Student, que demuestra la validez y confiabilidad del método, se comprueba la hipótesis planteada, debido a que las características y dosificación en el diseño de mezcla del concreto además de la combinación de los agregados de los ríos Huallaga y Sisa aumentan la resistencia a la compresión diseñadas, con los cuales además podemos realizar diseños de concretos de alta resistencia según lo excelentes valores obtenidos en las probetas.

CONCLUCIONES

- El agregado fino procedente de rio Sisa, altura del centro poblado menor de San Rafael, presenta ciertas falencias en sus características granulométricas, motivo por el cual se tuvieron que tomar muestras en diversos días y lugares en dicha zona de extracción, no obstante, se puede utilizar en el diseño de mezcla de concreto y hasta se puede obtener resultados en alta resistencia a la compresión.

- Las propiedades químicas de los agregados pétreos se encuentran dentro de los límites permisibles establecidos por las normas correspondientes, por lo que pueden ser utilizados en el diseño de mezcla y la obtención de concretos de alta resistencia.

- El diseño de mezcla de concretos de 175 kg/cm2, 210 kg/cm2 y 280 kg/cm2 fue desarrollado en base al comité ACI 211.1, sin haber modificado o ajustado algún parámetro establecido, siendo su dosificación en volumen 1:2.6:3.4/27.6 (l/bls) – 1:2.3:3.0/24.60 (l/bls) – 1:1.9:2.5/21.00 (l/bls) para 175 kg/cm2, 210 kg/cm2 y 280 kg/cm2 respectivamente.

- En la rotura de probetas a los 28 días se obtuvieron resultados por encima del 100%, lo que satisface la posibilidad de que, con la combinación de estos agregados, sus características físicas/químicas, y el diseño de mezcla se pueden obtener concretos de alta resistencia.

- Para la ejecución de diseños de concreto no se requiere de maquina especial para su elaboración, simplemente se requiere un mayor control de calidad entre los materiales, agregados y el tiempo de ejecución.

- La resistencia a la compresión aumenta hasta en el 40% al finalizar los 28 días del curado, esto demostraría que con una adecuada selección de agregados finos y gruesos de dichas canteras podría obtenerse concretos de alta resistencia que pueden utilizados en edificaciones y estructuras a nivel regional y nacional.

- Se analizó la influencia de las características de los agregados de canteras, obteniendo resultados favorables en las canteras estudiadas, los cuales cumplían con los requisitos establecidos por la norma, por lo cual no fue necesario realizar cambios drásticos en la optimización del material.

RECOMENDACIONES

- Emplear agregados pétreos que se encuentren en las mismas condiciones de humedad para el diseño de las mezclas de concreto, garantizando así, mínima dispersión en los resultados.

- Establecer la manera más adecuada para el proceso extracción de los agregados, teniendo siempre presente el uso de equipo de protección personal.

- Realizar el ensayo de asentamiento de los concretos en las diferentes combinaciones para asegurar una óptima calidad de resultados.

- Se puede utilizar aditivos para mejorar la calidad del concreto, disminución de vacíos y porosidades, incrementar el peso unitario y su capacidad de soporte al ser sometido a esfuerzos.

- Realizar estudios referentes a otros parámetros del concreto, con distintos porcentajes de adición y granulometría de los agregados.

- Tratar de adaptarse a nuevas tecnologías de materiales existentes, fomentar la investigación e innovar con nuevos insumos para crear materiales alternativos y de otras aplicaciones.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Abanto, F. (2009), *Tecnología del concreto (Teoría y problemas), (Segunda Edición) Lima, Perú: Editorial San Marcos E.I.R.L.*

Absalón, V. y Salas, R. (2008), Influencia en el Diseño de Mezcla de Agregados de Diferente Procedencia en el Estado de Mérida.

Aleajos, M. y Fernández, S. (2006), *Estudio sobre la concentración de cloruros en superficie de hormigones de estructuras españolas en ambiente marino*

Arangurí, G. (2016), *La importancia del uso de agregados provenientes de canteras de calidad, Perú*

Aspilcueta, M. (2015), *Análisis comparativo de la resistencia a la compresión del concreto estimada a partir de la utilización del método de madurez (tesis de pregrado). Lima, Perú: Universidad Nacional de Ingeniería.*

Duffau, B., Rojas, F., Guerrero, I., Roa, L., Rodríguez, L., Soto, M.…, Sandoval L., S. (2010), *Aspectos generales de la validación de métodos. Santiago de Chile, Chile.*

García, R. (2011), *Diseño de Mezcla de concreto de f´c 280 kg/cm2 utilizando Aditivos.*

Gonzales, J. (2003), *Las mezclas de concreto y sus resultados en la ciudad de Tarapoto utilizando el método del agregado global y módulo de finura (tesis de pregrado). San Martín, Perú: Universidad Nacional de San Martin.*

Hoyos, E. (2013), *Estudio de los agregados de cantera "Cruce Chanango, Jaén – Cajamarca.*

Instituto del Concreto (1997), *Tecnología y propiedades, (segunda Edición). Bogotá, Colombia.*

Kosmatka, H. y Panarese, C. (2003). Diseño Y Control De Mezclas De Concreto (1ra Edición)

Leandro J. (2010), *Evaluación del uso de la diatomita como adición mineral en el concreto de alta resistencia (tesis de pregrado). Lima, Perú: Universidad Ricardo Palma*

Meléndez, R. (1996), *Resultados comparativos de diseño de mezclas de concreto con agregados de los ríos Cumbaza y Huallaga (tesis de pregrado). San Martín, Perú: Universidad Nacional de San Martin.*

Mendoza, V. (2008), *Evaluación de la calidad de agregados para concreto, en el departamento de Totonicapán, Guatemala.*

Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2016), *Manual de ensayo de materiales, Lima, Perú.*

Norma Técnica Peruana 339.088 (2006), *AGREGADOS. Especificaciones normalizadas para agregados en concreto. Lima, Perú.*

Norma Técnica Peruana 400.012 (2001), *AGREGADOS. Análisis granulométrico del agregado fino, grueso y global. Lima, Perú.*

Norma Técnica Peruana 400.017 (2011), *AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para determinar la masa por unidad de volumen o densidad (Peso Unitario) y los vacíos en los agregados. Lima, Perú.*

Norma Técnica Peruana 400.021 (2002*), AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para peso específico y absorción del agregado grueso. Lima, Perú.*

Norma Técnica Peruana 400.022 (2002), *AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para peso específico y absorción del agregado fino. Lima, Perú.*

Norma Técnica Peruana 400.037 (2014), *AGREGADOS. Especificaciones normalizadas para agregados en concreto. Lima, Perú.*

Pasquel, E. (1998), *Tópicos de tecnología del concreto en el Perú (Segunda Edición).*

Lima, Perú.

Pinchi, E. (1997), *Mezclas de Concreto y sus resultados en la cuidad de Tarapoto, Tarapoto.*

Portugal, B. (2007), *Tecnología del concreto de alto desempeño.*

Sánchez, F. y Tapia, R. (2015), *Relación de la resistencia a la compresión de cilindros de concreto a edades de 3, 7, 14, 28 y 56 días respecto a la resistencia a la compresión de cilindros de concreto a edad de 28 días, Perú.*

Sanguero, R. (2004), *Examen de calidad de agregados para concreto de dos bancos en la ciudad de Quetzaltenango, Guatemala.*

Solís, R., Moreno, E. y Arjona, E. (2008), *Evaluación Del Concreto con Bajas Relaciones Agua/Cemento y Agregados Calizos de Alta Absorción.*

Uribe (1991), Alatorre, J., Uribe, R., 1998, *Agregados para concreto: cada cual por su nombre. Rev. Construcción y tecnología en México*.

ANEXOS

Anexo A
Matriz de consistencia

PROBLEMA	LIMITACIONES	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES	METODOLOGÍA
"¿Se podrá establecer especificaciones para obtener diseños de concretos de 175 Kg/cm2, 210 Kg/cm2, 280 Kg/cm2 concretos de alta resistencia utilizando combinaciones de Agregados de dos canteras distintas?"	- El presente trabajo de investigación está limitado al análisis de la resistencia a la compresión y diseño de mezcal de los concretos 175 Kg/cm2, 210 Kg/cm2 y 280 Kg/cm2, con la combinación de agregados grueso y fino de dos canteras diferentes. - Uso del agregado grueso de la cantera del rio Huallaga. - Uso del agregado fino de la cantera del rio Sisa. -	**Objetivo General** - Determinar, mediante ensayos, la dosificación y especificaciones para el diseño de concretos F´C 175 Kg/cm2, F´C 210 Kg/cm2 y F´C 280 Kg/cm2 utilizando la combinación de las canteras del Huallaga y del Sisa. **Objetivos Específicos** - Determinar las propiedades físicas-mecánicas y químicas de los agregados de las canteras - Seleccionar el agregado adecuado, de acuerdo a las especificaciones técnicas revisadas, procediendo con la evaluación de la cantera del rio Huallaga y del rio Sisa, Apoyados de las Normas ATSM y de los criterios Preestablecidos. - Determinar la influencia de los agregados de diferentes procedencias sobre la resistencia del concreto. - Determinar la influencia del diseño de mezcla sobre la resistencia del concreto. - Diseñar las mezclas de los concretos 175 Kg/cm2, 210 Kg/cm2 y 280 Kg/cm2, utilizando las combinaciones de los agregados fino y grueso de las canteras propuestas.	La calidad de los agregados de las canteras de los ríos Huallaga y Sisa, así como una adecuada dosificación son óptimas para obtener concretos de f´c = 175 Kg/cm2, f´c = 210 Kg/cm2, f´c = 280 Kg/cm2 y de alta resistencia	**Variable independiente** - Calidad de los agregados Relación agua – cemento A/C Agua – cemento - agregados **Variable dependiente.** Las resistencias a la compresión f´c = 175 Kg/cm2, f´c = 210 Kg/cm2 y f´c = 280 Kg/cm2 **Variable interviniente.** El porcentaje de humedad de los agregados. Características de los agregados.	**Tipo y nivel de investigación** ***Tipo:*** Aplicada ***Nivel:*** Explicativa **Población y muestra** ***Población*** Conformada por 60 probetas de concreto por cada diseño de mezcla de concreto, haciendo un total de 180 probetas de concreto. ***Muestra*** Conformada por 60 probetas de concreto por cada diseño de mezcla de concreto, debido a que la población de cada diseño de mezcla es relativamente pequeña, coincide con la población, siendo la muestra de tipo censal. **Diseño** Experimental

Anexo B

Panel fotográfico

Foto 1: Selección del agregado grueso: Cantera del rio Huallaga, cantera Shilcayo, prov. San Martin.

Foto 2: Selección del agregado fino: Cantera del rio Huallaga, cantera Shilcayo, prov. San Martin.

Foto 3: Colocación de los agregados en los tamices.

Foto 4: Tamizado de los agregados.

Foto 5: Secado de los agregados en el horno.

Foto 6: Dosificación de los agregados para la mezcla

Foto 7: Proceso de mezclado del concreto.

Foto 8*:* Asentamiento del concreto.

Foto 9: Curado de las probetas de concreto en la poza con agua.

Foto 10: Probetas de concreto preparadas para la prueba de resistencia a la compresión.

Foto 11: Rotura de probetas de concreto.

Foto 12: Resultados de la rotura de probetas.

Anexo C

Formato para resultados de prueba en laboratorio