



Esta obra está bajo una [Licencia Creative Commons Atribución- NoComercial-Compartirigual 2.5 Perú](http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.5/pe/).

Vea una copia de esta licencia en <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.5/pe/>



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTÍN -TARAPOTO
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



**Diseño de mortero y concreto 210 kg/cm^2 y 280 kg/cm^2 del río
Paranapura y Marañón**

Tesis para optar el título profesional de Ingeniero Civil

AUTORES:

Havila Pérez Quintana

Alexander Jacob León Baltodano

ASESOR:

Ing. Néstor Raúl Sandoval Salazar

Tarapoto – Perú

2019

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTIN -TARAPOTO
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



**Diseño de mortero y concreto 210 kg/cm² y 280 kg/cm² del río
Paranapura y Marañón.**

AUTORES:

Havila Pérez Quintana

Alexander Jacob León Baltodano

Sustentado y aprobado ante el honorable jurado el día 18 de setiembre del 2019

.....
Ing. Jorge Isaacs Rioja Díaz
Presidente

.....
Ing. Iván Gustavo Reátegui Acedo
Secretario

.....
Ing. Carlos Segundo Huamán Torrejón
Vocal

.....
Ing. Néstor Raúl Sandoval Salazar
Asesor

Declaratoria de autenticidad

Havila Pérez Quintana identificado con el DNI N° 71065572 y **Alexander Jacob León Baltodano** con el DNI N° 45577943, egresados de la facultad de Ingeniería Civil y Arquitectura de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil, de la Universidad Nacional de San Martín – Tarapoto, con la tesis titulada: **Diseño de mortero y concreto 210 kg/cm² y 280 kg/cm² del río Parapapura y Marañón.**

Declaramos bajo juramento que:

1. La tesis presentada es de nuestra autoría.
2. Hemos respetado las normas internacionales de citas y referencias para las fuentes consultadas. Por tanto, la tesis no ha sido plagiada ni total ni parcialmente.
3. La tesis no ha sido auto plagiada, es decir, no ha sido publicada ni presentada anteriormente para obtener algún grado académico previo o título profesional.
4. Los datos presentados en los resultados son reales, no han sido falseados, ni duplicados, ni copiados y por tanto los resultados que se presenten en la tesis constituirán en aportes a la realidad investigada.

De considerar que el trabajo cuenta con una falta grave, como el hecho de contar con datos fraudulentos, demostrar indicios y plagio (al no citar la información con sus autores), plagio (al presentar información de otros trabajos como propios), falsificación (al presentar la información e ideas de otras personas de forma falsa), entre otros, asumo las consecuencias y sanciones que de mi acción se deriven, sometiéndome a la normatividad vigente de la Universidad Nacional de San Martín – Tarapoto.

Tarapoto, 18 de setiembre del 2019



Bach. Havila Pérez Quintana

DNI N° 71065572



Bach. Alexander Jacob León Baltodano

DNI N° 45577943

Declaración jurada

Havila Pérez Quintana identificado con el DNI N° 71065572 con domicilio legal Prolongación Jr Alfonso Ugarte Cuadra 01 - Barrio Belén – Soritor y **Alexander Jacob León Baltodano** identificado con el DNI N° 45577943 con domicilio legal Mz A Lote 01 Ed. G Dpto 202 C. Hab. Las Torres de Quevedo - Trujillo, 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 Martín – Tarapoto, **DECLARO BAJO JURAMENTO**, que todos los documentos, datos e información de la presente tesis y/o Informe de Ingeniería, son auténticos y veraces.

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

Tarapoto, 18 de setiembre del 2019



Bach. Havila Pérez Quintana

DNI N° 71065572



Bach. Alexander Jacob León Baltodano

DNI N° 45577943

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:	Pérez Quintana	Havila
Código de alumno :	083124	Teléfono: 944972798
Correo electrónico :	havilaperez.21@outlook.com	DNI: 71065572

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

2. Datos Académicos

Facultad de:	Ingeniería civil y Arquitectura
Escuela Profesional de:	Ingeniería civil

3. Tipo de trabajo de investigación

Tesis	<input checked="" type="checkbox"/>	Trabajo de investigación	<input type="checkbox"/>
Trabajo de suficiencia profesional	<input type="checkbox"/>		

4. Datos del Trabajo de investigación

Título:	Diseño de Mortero y concreto 210 kg/cm^2 y 280 kg/cm^2 del río parana-pura y Marañón
Año de publicación:	2019

5. Tipo de Acceso al documento

Acceso público *	<input checked="" type="checkbox"/>	Embargo	<input type="checkbox"/>
Acceso restringido **	<input type="checkbox"/>		

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 12° 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 del Autor

8. Para ser llenado en la Oficina de Repositorio Digital de Ciencia y Tecnología de Acceso Abierto de la UNSM - T.

Fecha de recepción del documento:

18 / 10 / 2019



Firma del Responsable de Repositorio Digital de Ciencia y Tecnología de Acceso Abierto de la UNSM - T.

*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:	LEÓN BALTODANO ALEXANDER JALOB	
Código de alumno :	083120	Teléfono: 999 163266
Correo electrónico :	a88j@hotmail.com	DNI: 45573943

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

2. Datos Académicos

Facultad de:	INGENIERIA CIVIL Y ARQUITECTURA
Escuela Profesional de:	INGENIERIA CIVIL

3. Tipo de trabajo de investigación

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

4. Datos del Trabajo de investigación

Título:	DISEÑO DE MORTERO Y CEMENTO 210 kg/cm ² Y 280 kg/cm ² DEL RÍO PARANA PURA Y MARAÑON
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 12° 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 del Autor

8. Para ser llenado en la Oficina de Repositorio Digital de Ciencia y Tecnología de Acceso Abierto de la UNSM - T.

Fecha de recepción del documento:

18/10/2019



.....
Firma del Responsable de Repositorio
Digital de Ciencia y Tecnología de Acceso
Abierto de la UNSM - T.

* 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

Le dedicamos primeramente nuestro trabajo a Dios, es el creador de todas las cosas, el que me ha dado fortaleza para continuar.

De igual forma, a nuestros Padres, a quienes les debemos toda nuestra vida, les agradecemos el cariño y su comprensión, a ustedes quienes han sabido formarme con buenos sentimientos, hábitos y valores, lo cual me ha ayudado a salir adelante buscando siempre el mejor camino.

A mis maestros de la Universidad Nacional de San Martín, gracias por su tiempo, por su apoyo, así como por la sabiduría que me transmitieron en el desarrollo de nuestra formación profesional.

Havila y Alexander Jacob

Agradecimiento

Primero y antes que nada, dar gracias a Dios, por estar con nosotros en cada paso que damos, por fortalecer nuestros corazones e iluminar mi mente y por haber puesto en nuestro camino a aquellas personas que han sido mi soporte y compañía durante todo el periodo de estudio, y el permitirme el haber llegado hasta este momento tan importante de nuestra formación profesional.

Agradecer hoy y siempre a nuestra familia por el esfuerzo realizado para apoyarnos en nuestros estudios. A nuestros padres, hermanos y demás familiares ya que me brindan apoyo, alegría y fortaleza necesaria para seguir adelante, pese a las adversidades e inconvenientes que se presentaron; ya que con su amor, paciencia y esfuerzo me han permitido llegar a cumplir hoy un sueño más, gracias por inculcarnos el ejemplo de esfuerzo y valentía, de no temer las adversidades porque Dios está conmigo siempre.

Un agradecimiento especial y sincero al Ing. Néstor Raúl Sandoval Salazar por la colaboración, paciencia y apoyo durante todo este proceso, quién con su dirección, conocimiento, enseñanza y colaboración permitió el desarrollo de este trabajo.

Havila y Alexander Jacob

Índice

Dedicatoria.....	vi
Agradecimiento.....	vii
Resumen.....	xv
Abstract.....	xvi
Introducción.....	1
CAPÍTULO I REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....	2
1.1 Generalidades.....	2
1.2 Exploración preliminar orientando la investigación.....	3
1.3 Aspectos generales del estudio.....	7
CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO.....	8
2.1 Antecedentes, planteamiento, delimitación y formulación del problema a resolver.....	8
2.1.1 Antecedentes del problema.....	8
2.1.2 Planteamiento del problema.....	8
2.1.3 Delimitación del problema.....	9
2.1.4 Formulación del problema.....	9
2.2 Objetivos.....	10
2.2.1 Objetivo general.....	10
2.2.2 Objetivos específicos.....	10
2.3 Justificación de la investigación.....	10
2.4 Delimitación de la investigación.....	10
2.5 Marco teórico.....	11
2.5.1 Antecedentes de la investigación.....	11
2.5.2 Marco teórico.....	13
2.5.2.1 Propiedades del concreto en estado fresco.....	13
2.5.2.1.1 Trabajabilidad.....	13
2.5.2.1.2 Consistencia.....	13
2.5.2.1.3 Compacidad.....	14
2.5.2.1.4 Peso unitario.....	14
2.5.2.1.5 Contenido de aire.....	14
2.5.2.1.6 Segregación.....	15
2.5.2.1.7 Exudación.....	15

2.5.2.1.8	Cohesividad.....	16
2.5.2.1.9	Estabilidad.....	16
2.5.2.2	Propiedades del concreto en estado endurecido.....	16
2.5.2.2.1	Elasticidad.....	16
2.5.2.2.2	Resistencia.....	17
2.5.2.3	Aditivos químicos.....	17
2.5.2.3.1	Superplastificantes.....	18
2.5.2.4	Adiciones minerales.....	19
2.5.2.4.1	Microsilice.....	19
2.5.2.4.2	Mecanismos de acción.....	20
2.5.2.5	Propiedades de los concretos de alta resistencia.....	20
2.5.2.5.1	Módulo de elasticidad.....	20
2.5.2.5.2	Relación de Poisson.....	21
2.5.2.5.3	Comportamiento esfuerzo - deformación en compresión uniaxial.....	22
2.5.2.5.4	Módulo de rotura.....	23
2.5.2.5.5	Resistencia a la tensión por deslizamiento.....	23
2.5.2.5.6	Resistencia a la fatiga.....	23
2.5.2.5.7	Peso unitario.....	24
2.5.2.5.8	Evolución del calor debido a la hidratación.....	24
2.5.2.5.9	Ganancia de la resistencia con la edad.....	24
2.5.2.6	Agregados.....	24
2.5.2.6.1	Agregado fino.....	24
2.5.2.6.2	Agregado grueso.....	25
2.5.2.6.2.1	Aspectos generales.....	25
2.5.2.6.2.2	Absorción.....	27
2.5.2.6.2.3	Resistencia intrínseca del agregado.....	27
2.5.2.7	Ventajas y desventajas del concreto de alta resistencia.....	27
2.5.2.7.1	Ventajas.....	27
2.5.2.7.2	Desventajas.....	28
2.5.2.8	Métodos.....	29
2.5.2.8.1	Principales métodos.....	29
2.5.2.9	Técnica estadística de validación de resultados.....	31
2.5.2.9.1	Contraste de hipótesis.....	31

2.5.2.9.2	¿Qué es una hipótesis?.....	31
2.5.2.9.3	La lógica del contraste de hipótesis.....	31
2.5.2.9.4	Método general.....	32
2.5.2.9.5	Contraste sobre la distribución muestral.....	33
2.5.2.9.6	Tipos de errores en el contraste de hipótesis.....	34
2.5.2.9.7	Distribución T de Student.....	34
2.5.2.9.8	Desviación estándar.....	35
2.5.2.9.9	Coefficiente de variación.....	36
2.5.2.9.10	Análisis de varianza.....	36
2.5.2.9.11	Grado de libertad.....	37
2.5.2.9.12	Suma de cuadrados.....	39
2.5.2.9.13	Cuadrados medios.....	40
2.5.3	Marco conceptual: Terminología básica.....	40
2.5.3.1	Definición de términos básicos.....	40
2.5.3.1.1	Agregados.....	40
2.5.3.2	Propiedades de los agregados.....	41
2.5.3.2.1	Agregado fino.....	41
2.5.3.2.2	Agregado grueso.....	41
2.5.3.3	Calidad de los agregados.....	41
2.5.3.4	Propiedades del concreto.....	42
2.5.3.5	Resistencia del concreto.....	44
2.5.3.6	Marco histórico.....	45
2.3.5.7	Hipótesis a demostrar.....	46
CAPÍTULO III MATERIALES Y MÉTODOS.....		47
3.1.	Materiales.....	47
3.1.1	Recursos humanos.....	47
3.1.2	Recursos materiales.....	47
3.1.3	Recurso de equipos.....	49
3.2.	Metodología.....	52
3.2.1.	Universo, muestra población.....	52
3.2.1.1.	Universo.....	52
3.2.1.2	Población.....	52
3.2.1.3	Muestra.....	52

3.2.2.	Sistema de variables.....	52
3.2.2.1	Variable independiente.....	52
3.2.3	Diseño experimental de la investigación.....	52
3.2.4	Diseño de instrumentos.....	53
3.2.4.1	Descripción de ensayos de los agregados.....	53
3.2.4.2	Metodología para el diseño de mezclas.....	76
3.2.4.2.1	Secuencia de diseño (ACI 211).....	76
3.2.4.2.2	Diseño y dosificación de mezclas de concreto.....	77
3.2.4.2.3	Ensayos para mezclas de concreto.....	81
3.2.4.3	Instrumentos bibliográficos.....	93
3.2.4.3.1	De lo relacionado a normas de concreto.....	93
3.2.4.3.2	De lo relacionado a las técnicas estadísticas.....	94
3.2.4.3.3	Instrumentos de laboratorio.....	96
3.2.5	Procesamiento de información.....	96
3.2.5.1	Ensayos preliminares.....	96
3.2.5.1.1	Características físicas del agregado fino.....	96
3.2.5.1.2	Características físicas del agregado grueso.....	97
3.2.5.1.3	Presencia de partículas chatas y alargadas.....	98
3.2.5.1.4	Presencia de partículas desmenuzables.....	99
3.2.5.1.5	Análisis químico.....	99
3.2.5.2	Diseño del concreto patrón.....	99
CAPÍTULO IV ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS.....		103
4.1	Datos informativos.....	103
4.2	La cantera.....	103
4.2.1	Descripción.....	103
4.2.2	Clases de canteras.....	103
4.2.3	Clasificación de canteras.....	104
4.2.4	Procesos realizados en las canteras.....	104
4.2.5	Usos del material extraídos de las canteras.....	105
4.3	Impacto ambiental en la explotación de canteras.....	105
4.3.1	Problemática generada por tajos y canteras.....	105
4.3.2	Enfrentamiento de la problemática.....	106
4.4	Agregados.....	108

4.4.1	Clasificación de los agregados.....	109
4.4.2	Funciones del agregado.....	110
4.4.3	Propiedades físicas de los agregados.....	111
4.4.4	Propiedades mecánicas de los agregados.....	111
4.4.5	Propiedades térmicas de los agregados.....	112
4.4.6	Propiedades químicas de los agregados.....	112
4.5	Agregado fino.....	113
4.6	Contrastación de hipótesis.....	119
CONCLUSIONES.....		120
RECOMENDACIONES.....		121
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....		122
ANEXOS.....		124
ESTUDIO DE CONCRETO.....		125

Índice de tablas

Tabla 1 : Tipos de errores en el contraste.....	34
Tabla 2 : Cantidad mínima de muestra de ensayo para agregado grueso.....	58
Tabla 3 : Capacidad de medida.....	63
Tabla 4 : Requisitos para los recipientes de medida.....	63
Tabla 5 : Densidad de agua.....	63
Tabla 6 : Cantidad mínima de material para el ensayo.....	64
Tabla 7 : Peso mínimo requerido de agregado fino.....	71
Tabla 8 : Peso mínimo requerido de agregado grueso.....	71
Tabla 9 : Límites permisibles para el agua de mezcla y curado.....	74
Tabla 10 :Volumen unitario de agua.....	78
Tabla 11 :Relación agua/cemento por resistencia.....	79
Tabla 12 :Contenido de aire.....	79

Índice de figuras

Figura 1: Curva esfuerzo deformación	22
---	----

Resumen

El presente trabajo de tesis se ha desarrollado en los ambientes del Laboratorio de Mecánica de Suelos de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil de la Facultad de Ingeniería Civil y Arquitectura de la Universidad Nacional de San Martín-Tarapoto, con fines de titulación como ingenieros civiles, teniendo como punto de trabajo el laboratorio de ensayo de materiales para el estudio del agregado grueso y agregado fino de las canteras del río Marañón y Parapapura respectivamente, y su correspondiente aplicación y obtención del diseño de mortero resistente y concreto, 210 kg/cm² y 280 kg/cm².

La investigación a realizarse referente al diseño de mortero resistente y concreto, 210Kg/cm² y 280 Kg/cm² se basa a la combinación de agregados de dos ríos diferentes, lo que se trata de mejorar para alcanzar una óptima calidad, pero también podemos apreciar que los cambios producidos durante los estudios de laboratorio exigen realizar algunos ajustes para lograr el objetivo planteado teniendo en consideración nuevas formas y métodos de desarrollo que ayudan a ir puliendo detalles para alcanzar el objetivo final.

La Metodología de estudio desarrollado en este estudio de Investigación para estudiar, analizar y diseñar mortero resistente y concreto, 210Kg/cm² y 280 Kg/cm², utilizado el agregado grueso del río Marañón y el agregado fino del río Parapapura fue la de aplicar las normas técnicas y métodos específicos para la obtención de diseños de mezclas

Finalmente se muestra los resultados del estudio en la que se analiza y evalúa los datos obtenidos en los ensayos de Laboratorio para la obtención del diseño de mortero resistente y concreto, 210Kg/cm² y 280 Kg/cm² utilizado el agregado grueso del río Marañón y el agregado fino del río Parapapura para concluir con su respectivo informe final lo cual aportara al estudio e investigación de posteriores trabajos de Investigación de nuestra Universidad.

Palabras clave: Diseño de mortero resistente, concreto, agregado grueso, agregado fino, abrasión.

Abstract

This thesis work has been developed in the environments of the Soil Mechanics Laboratory of the Professional School of Civil Engineering of the Faculty of Civil Engineering and Architecture of the National University of San Martín-Tarapoto, for the purpose of qualification as civil engineers, having as a working point the materials testing laboratory for the study of the coarse aggregate and fine aggregate of the quarries of the Marañón and Paranapura river respectively, and their corresponding application and obtaining of the design of resistant and concrete mortar, 210 kg / cm² and 280 kg / cm²

The research to be carried out regarding the design of resistant and concrete mortar, 210Kg / cm² and 280 Kg / cm² is based on the combination of aggregates from two different rivers, which is about improving to achieve optimum quality, but we can also appreciate that The changes produced during laboratory studies require some adjustments to achieve the objective set, taking into account new forms and methods of development that help polish details to achieve the final objective.

The study methodology developed in this Research study to study, analyze and design resistant and concrete mortar, 210Kg / cm² and 280 Kg / cm², using the thick aggregate of the Marañón river and the fine aggregate of the Paranapura river was to apply the standards specific techniques and methods for obtaining mix designs

Finally, the results of the study in which the data obtained in the laboratory tests for obtaining the resistant and concrete mortar design, 210Kg / cm² and 280 Kg / cm² used, the thick aggregate of the Marañón river and the Fine aggregate of the Paranapura river to conclude with its respective final report which will contribute to the study and research of subsequent research works of our University.

Keywords: Resistant mortar design, concrete, coarse aggregate, fine aggregate, abrasion.



Introducción

Hoy en día se realizan construcciones civiles dentro de la provincia de Alto Amazonas, utilizando agregados de diferentes canteras, sin embargo los constructores que adquieren dicho material lo utilizan sin conocer sus propiedades y por ende esto genera un alto grado de incertidumbre al momento de realizar el concreto ya que al no conocer las propiedades de sus componentes no podemos saber si este alcanzará la resistencia esperada.

Estas propiedades deberían cumplir con ciertos requisitos técnicos para la elaboración de concreto, sin embargo ni los propietarios de las canteras ni los mismos constructores se han preocupado en determinarlas y es por eso que en muchos casos al realizar un concreto con cemento de calidad, agua potable y las cantidades necesarias de material, etc. aun así no se obtiene la resistencia deseada quedando como única explicación que la calidad de los agregados fue la que influyó entonces resulta sumamente importante la necesidad de determinarla.

Siendo el diseño de mortero resistente y concreto una parte fundamental de toda construcción en la actualidad, se vio la necesidad de analizar la calidad de los agregados del río Parapapura y Marañón que lo conforman; por ser estos los que tienen menor control en este tipo de construcciones.

Esta tesis tiene como objetivo principal verificar que los agregados de las canteras de los ríos Parapapura y Marañón, cumplan con los requisitos de gradación y calidad de los agregados fino y grueso para el diseño de mortero resistente y concreto, 210kg/cm² y 280kg/cm², establecido en la Norma Técnica Peruana, analizando sus propiedades físicas y químicas.

Además, se determinará para cada cantera, las combinaciones de agregados que dan los mejores resultados (mejor resistencia a la compresión), cumplan o no cumplan la Norma Técnica Peruana. Los ensayos de compresión de concreto, se realizarán para verificar que el uso de estos materiales producirá el concreto de la calidad requerida.

CAPÍTULO I

REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

1.1 Generalidades

La investigación a realizarse referente al diseño de morteros resistentes y concretos, 210 Kg/cm² y 280 Kg/cm² se basa en la combinación de agregados de dos ríos diferentes, lo que se trata de mejorar para alcanzar una óptima calidad, pero también podemos apreciar que los cambios producidos, no solo alimentan el ansia de conocimiento, sino que hay nuevas alternativas de desarrollo que ayudan a ir puliendo detalles para alcanzar el objetivo final.

El problema que se decidió investigar, gira en torno a la falta de investigación en la combinación de agregados de dos ríos diferentes. Este tema se considera fundamental para el diseño de construcciones especiales.

Metodológicamente, el diseño de mezcla de concreto, se preparó de conformidad a lo indicado en las normas técnicas, para uso de los insumos que comprende el diseño, así como para la elaboración misma del concreto.

Los diseños fueron realizados en el Laboratorio de Ensayo de Materiales de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad Nacional de San Martín, iniciándose con una proporción tentativa de materiales en base a un diseño teórico, ajustándose en dos repeticiones llegando a un diseño definitivo.

La introducción compromete el esquema capitular.

En el capítulo I se indican las generalidades, exploración preliminar y aspectos generales del estudio.

En el capítulo II, concretamos el Marco teórico, el cual está constituido por los trabajos de investigación que anteceden a nuestro estudio y por la síntesis de las principales teorías que sustentan la propuesta. Tanto las teorías como los antecedentes permiten ver el por qué y el cómo de nuestra investigación.

En el capítulo III, se describen los materiales y la metodología usada en la investigación; así como el universo, población y muestra del presente trabajo, el diseño experimental, el diseño de instrumentos relacionado a normas de concreto y a técnicas estadísticas, de laboratorio y del propio diseño de concreto.

En el capítulo IV, se analizan y discuten los resultados obtenidos, tanto de los insumos o materiales utilizados en la preparación del concreto, de las propiedades del mismo concreto, así como de la resistencia a la compresión alcanzada.

Finalmente, las conclusiones y recomendaciones del presente estudio de investigación.

Por lo tanto, es de esperar de la presente tesis sirva como un peldaño más en el avance y mejoramiento de la tecnología del concreto, y siempre tratando que todos los conocimientos adquiridos sean puestos en práctica, ya que es la única forma de poder apreciar lo que nosotros consideramos un avance hoy en día, tal vez con el transcurrir del tiempo quede obsoleto al encontrarse nuevas metodologías al tratar de alcanzar una óptima calidad en la Tecnología del Concreto.

1.2 Exploración preliminar orientando la investigación

Los Diseños de concreto se comenzaron a desarrollar con estudios previos de laboratorio a partir de 1985 en los Estados Unidos, Japón y Alemania, debido fundamentalmente a que ya se había llegado a la conclusión, gracias a estudios previos, que se ganaba resistencia y se mejoraba la trabajabilidad.

Estos concretos tienen múltiples aplicaciones. De ellas la más estudiada es la construcción de edificios de gran altura. La principal limitación es que todavía no se conoce en su totalidad las propiedades y comportamientos de estos concretos.

El propósito de ésta investigación es tratar de identificar los materiales y proporciones que conducirán a un mejor resultado, no sólo en resistencia, sino también en otras propiedades que deberán ser cuidadosamente seleccionados empleando todas las técnicas disponibles para garantizar el éxito de esta investigación

Existen un sin número de definiciones de concreto de alta resistencia por lo cual no existe una definición universalmente aceptada, muchas instituciones reconocidas

internacionalmente han definido a los concretos de alta resistencia cada cual, con diferentes criterios de evaluación, algunas de estas definiciones son resumidas a continuación:

El Instituto Americano del Concreto: (Russell 1999) American Concrete Institute (ACI); indica que “un concreto de alto desempeño es el que reúne una combinación especial de requerimientos de desempeño y uniformidad que no siempre pueden ser logrados usando materiales tradicionales, mezclado normal, criterios de colocación normales y prácticas de curado ordinarias”. Un concreto de alto desempeño es un concreto en el cual ciertas características son desarrolladas para una aplicación y medio ambiente particular.

Ejemplos de estas características que pueden ser consideradas críticas para una aplicación y éstas son:

- 1.- Facilidad en su colocación.
- 2.- Compactación sin segregación.
- 3.- Propiedades mecánicas a largo plazo.
- 4.- Resistencia inicial.
- 5.- Permeabilidad.
- 6.- Densidad.
- 7.- Calor de hidratación.
- 8.- Dureza.
- 9.- Estabilidad volumétrica.
- 10.-Gran periodo de vida de servicio en un medio ambiente severo.

Comentario de la definición

La definición propuesta en 1998 por el Subcomité THPC del ACI formado en 1991, es una definición general que intenta incluir una variedad de concretos que tienen propiedades especiales que no son comunes es un concreto convencional y no establece ningún parámetro máximo o mínimo que un determinado concreto deba cumplir a diferencia de otras definiciones.

El Departamento federal de administración de carreteras de los Estados Unidos (1998), plantea que “un concreto de alto desempeño es diseñado para ser más durable y si es necesario más resistente que un concreto convencional”.

Los concretos de alto desempeño están compuesto de esencialmente los mismos materiales que un concreto convencional. Pero las proporciones son diseñadas para proveer la resistencia y durabilidad necesaria para los requerimientos estructurales y medio ambientales del proyecto.”

Comentario de la definición

Esta definición conjuntamente con la del Instituto Americano del Concreto son las más aceptadas internacionalmente, sin embargo, es importante destacar que el Departamento Federal de Administración de Carreteras también ha publicado otras definiciones anteriores, las cuales estaban orientadas a estructuras específicas como es el caso de los puentes.

El Programa estratégico de investigación de carreteras (Zia, 1991), plantea que:

- a) Un concreto de alto desempeño debe cumplir con una de las siguientes características:
 - 1.- Resistencia a la compresión a los 28 días mayor o igual a 700 kg/cm^2 .
 - 2.- Resistencia a la compresión a las 4 horas mayor o igual a 200 kg/cm^2 .
 - 3.- Resistencia a la compresión a las 24 horas mayor o igual a 350 kg/cm^2 .
- b) Un concreto de alto desempeño debe tener un factor de durabilidad mayor que 80% después de 300 ciclos de congelamiento y deshielo.
- c) Un concreto de alto desempeño debe tener una relación agua/materiales cementicios menor o igual que 0.35.

Comentario de la definición

La definición del Programa Estratégico de Investigación de Carreteras abarca una resistencia específica, durabilidad y características del diseño de mezclas. Se debe tener en cuenta que esta definición fue desarrollada primordialmente para los requerimientos en la construcción de carreteras y no para obras en general.

La Universidad de Tokyo (1990), también precisa que “un concreto de alto desempeño debe cumplir con las siguientes características”:

- 1) Habilidad para llenar los encofrados con poco o sin esfuerzo externo de compactación.
- 2) Una mezcla cohesiva con baja segregación.

- 3) Fisuración mínima a edades tempranas causadas por la contracción o las deformaciones técnicas.
- 4) Suficiente resistencia a largo plazo y baja permeabilidad.

Comentario de la definición

En esta definición, el concreto de alto desempeño es caracterizado como un “concreto nivelador” que compensa las prácticas de construcción y detallado estructural deficiente y es una reflexión que hacen japoneses al énfasis en la constructibilidad tanto como a la resistencia y durabilidad del concreto.

El Instituto del concreto pretensado (1994), señala que “un concreto de alto desempeño es un concreto con o sin microsílce que tiene una relación agua/cemento de 0.38 o menos, resistencia a la compresión igual o mayor a 552 kg/cm² y permeabilidad (medida por AASHTO T-259 o T-277) 50% más baja que la de un concreto convencional”.

La Fundación de investigación en ingeniería civil (1994), también indica que “al contrario de un concreto convencional, un concreto de alto desempeño debe tener uno o más de estos requisitos”:

- 1) Fácil colocación y compactación.
- 2) Alta resistencia inicial.
- 3) Exhibir propiedades mecánicas a largo plazo superiores, resistencia a la abrasión o cargas de impacto, y baja permeabilidad.
- 4) Exhibir estabilidad volumétrica y así menos deformaciones y menos fisuras.
- 5) Mayor periodo de resistencia a ataque químicos, ciclos de congelamiento y deshielo o altas temperaturas.
- 6) Demostrar durabilidad mejorada.

El Dr. Adam Neville (Reino Unido), en su libro Tecnología del Concreto, precisa que “en discusión al concreto de alta performance, sus características especiales son tales que sus componentes y proporciones son específicamente escogidas para tener las propiedades particularmente apropiadas para el uso esperado de la estructura, estas propiedades son usualmente una alta resistencia o baja permeabilidad”.

Definición del Ing. C. H. Goodspeed (Estados Unidos): “puede llamarse concreto de alto desempeño (HPC) a cualquier concreto que satisface ciertos criterios propuestos que

superan las limitaciones de concretos convencionales, estos pueden incluir concretos con mejorada resistencia a la acción del medio ambiente (durables) o un incremento de la capacidad estructural mientras mantienen una adecuada durabilidad”.

Pueden también incluirse concretos que reducen significativamente el tiempo de construcción sin compromiso de un largo periodo de servicio. Por consiguiente, no es posible dar una única definición de HPC sin considerar los requerimientos de desempeño dado por las condiciones de uso del concreto.

Definición de los ingenieros Ryan y Potter (Australia): “un concreto de alto desempeño es el que reúne múltiples criterios de desempeño los cuales son significativamente más estrictos que los requeridos para concretos convencionales”

Definición del Ing. Swamy (Reino Unido): “un concreto de alto desempeño tal como es diseñado para dar características optimizadas de desempeño para condiciones 12

1.3 Aspectos generales del estudio

La presente investigación trata de buscar una metodología para obtener concretos de resistencia, 210 Kg/cm² y 280 Kg/cm² kg/cm², usando agregado grueso del río Marañón y Agregado Fino del río Parapapura además de Cemento Portland Tipo I, considerando asentamientos en el rango de 3” – 4” para lo cual se empezó con el diseño de un concreto patrón, el cual sirvió de base principal para la obtención del concreto de alta resistencia.

Así mismo, expone las propiedades de los diferentes materiales usados en la investigación, para lo cual los agregados (grueso y fino) fueron ensayados para conocer sus propiedades.

Para el diseño del concreto patrón, los porcentajes de arena y piedra para el agregado fueron del 40% y 60% respectivamente, con una relación de agua/cemento que varió en un rango de 0.42 hasta el definitivo de 0.55

A partir de la Dosificación patrón de concreto, adicionando la relación A/C en diferentes dosificaciones de prueba para, finalmente, optar por las proporciones de mejores resultados, usando como diseño final una dosificación de 1.0% y 10% del peso del cemento respectivamente.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes, planteamiento, delimitación y formulación del problema a resolver

2.1.1 Antecedentes del problema

Néstor Sánchez, en su trabajo de investigación respalda las incidencias del agregado Grueso del río Huallaga en la obtención de diseños de mezclas de concreto simple para cimentaciones corridas.

Roger Meléndez, 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.

Roger García, 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.

Eduardo Pinchi, “desde que se presentó la Tesis de “Mezclas de Concreto y sus resultados en la ciudad 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.

2.1.2 Planteamiento del problema

En la actualidad se realizan infraestructuras dentro de la provincia de Alto Amazonas utilizando agregados de diferentes canteras, sin embargo, los constructores que adquieren dicho material lo utilizan sin conocer sus propiedades y por ende esto genera un alto grado de incertidumbre al momento de realizar el concreto ya que al no conocer las propiedades de sus componentes no podemos saber si este alcanzará la resistencia deseada.

Al realizar el diseño de morteros resistentes y concretos, 210 Kg/cm² y 280 Kg/cm² basado en la combinación de agregados de los ríos Parapapura y Marañón, deberían cumplir según lo establecido en las normas técnicas en la elaboración de concreto, sin embargo ni los propietarios de las canteras adyacentes de dichos ríos, ni los mismo constructores se han preocupado en determinarlas y es por eso que en muchos casos al realizar concreto con cemento de calidad, agua potable y las cantidades de material, etc. aun así no se obtiene la resistencia deseada quedando como única explicación que la calidad de los agregados fue la que influyó entonces resulta sumamente importante la necesidad de determinarla.

Es necesario aportar y proponer el uso de nuevas propuestas tecnológicas en lo que a concreto se refiere teniendo en cuenta las mejoras de las propiedades considerando el desempeño y participación de la combinación de dos canteras diferentes para su elaboración.

2.1.3 Delimitación del problema

El presente estudio se pretende conocer las propiedades de los agregados de las distintas canteras provenientes de los ríos Parapapura y Marañón de la provincia de Alto Amazonas con la finalidad que el diseño de morteros resistentes y concretos, 210 Kg/cm² y 280 Kg/cm² cumplan con las normas técnicas establecidas.

2.1.4 Formulación del problema

La calidad de concreto es un factor determinante en la seguridad de una estructura, pero esta no se obtiene únicamente con un correcto diseño de mezcla para una obra, un eficiente mezclado y colocación, porque aun cumpliendo con estos, los resultados de laboratorio muestran variaciones considerables en la resistencia de un concreto ya que se consideran que los agregados constituyen el 60% al 80% del volumen de este, afectando en gran manera las propiedades finales del concreto, por lo tanto, es necesario hacer un estudio de las principales canteras que se explotan en los ríos Parapapura y Marañón de la provincia de Alto Amazonas, tomando en cuenta las normas ASTM, MYC y las NTP correspondientes.

La pregunta es “¿De qué manera se podría establecer dosificaciones para diseñar morteros resistentes y concretos, 210 Kg/cm² y 280 Kg/cm² con combinaciones de agregados de dos canteras distintas?”

2.2 Objetivos

2.2.1 Objetivo general

Diseñar morteros resistentes y concretos, 210 Kg/cm² y 280 Kg/cm² utilizando agregados de las canteras de los ríos Parapapura y Marañón.

2.2.2 Objetivos específicos

1. Seleccionar el agregado adecuado, de acuerdo a las especificaciones técnicas revisadas, procediendo con la evaluación de la cantera de los ríos Parapapura y Marañón, apoyados de las normas ATSM y de los criterios preestablecidos.
- 2 Diseñar y obtener concretos de resistencia de **210 Kg/cm² y 280 Kg/cm²**, utilizando agregados de la cantera de los ríos Parapapura y Marañón.
- 3 Optimizar la proporción de agregados fino y grueso para obtener un buen diseño. Efectuar los controles de resistencia y evaluar su comportamiento en cada caso.

2.3 Justificación de la investigación

Este trabajo de investigación que tiene como necesidad de contar con un estudio que enriquezca la temática regional que se maneja con respecto a concretos de alta resistencia; metodológicamente se busca aplicar correctamente los insumos de la zona por parte del investigador y las instalaciones adecuadas en el laboratorio de ensayo de materiales.

2.4 Delimitación de la investigación

El presente trabajo de investigación considera utilizar solamente los materiales que están disponibles en las canteras de los ríos Parapapura y Marañón, referente a agregados grueso y fino que serán tomados de esos ríos; con la finalidad de reducir los costos en insumos en la preparación del concreto.

2.5 Marco teórico

2.5.1 Antecedentes de la investigación

El concreto es un material pétreo artificial que se obtiene de la mezcla, en determinadas proporciones de pasta y agregados minerales. La pasta se compone de cemento y agua, que al endurecerse, une a los agregados formando un conglomerado semejante a una roca debido a la reacción química entre esos componentes.

Para lograr las mejores propiedades mecánicas, el concreto debe contar con un esqueleto pétreo empacado lo más densamente posible, y con la cantidad de pasta de cemento necesaria para llenar los huecos que éste deje.

El esfuerzo que el concreto puede resistir como material compuesto está determinado principalmente, por las características del mortero (mezcla de cemento, arena y agua), de los agregados gruesos y de la interface entre estos dos componentes.

Los agregados son un componente dinámico dentro de la mezcla, aunque la variación en sus propiedades puede ocurrir también durante los procesos de explotación, manejo y transporte. Y puesto que forman la mayor parte del volumen del material, se consideran componentes críticos en el concreto y tienen un efecto significativo en el comportamiento de las estructuras.

La necesidad de contar con un concreto de calidad hace indispensable conocer sus componentes, ya que tanto la resistencia como la durabilidad depende de las propiedades.

En Japón, Canadá, Francia, Estados Unidos Alemania, Austria Inglaterra y otros, realizaron ensayos sobre concretos de alta resistencia utilizando superplastificantes. Así mismo se tuvo en cuenta también que cuando se requieren resistencias a la compresión superiores a los 420 kg/cm^2 las propiedades de los agregados asumen importancia creciente, reportes presentados por Walker y Blomem, quienes manifiestan que, “en mezclas ricas en cemento, es decir aquellas que tienen pasta suficiente para cubrir todas las partículas, si se disminuye el tamaño máximo del agregado, aumenta tanto la superficie específica del agregado como la adherencia entre mortero y agregado, con lo cual se incrementa en forma sustancial la resistencia del concreto, así también se debe tener presente en el exceso de finos por que puede causar agrietamientos por contracción plástico”.

La Revista El Ingeniero Civil (2000), menciona algunos edificios construidos con estos concretos son los siguientes: Marwa City (Chicago-1962), La Torre Lake Point (Chicago-1963), One Shell Plaza (Houston-1970), Walter Tower Place (Chicago-1975), 311 South Wacker Drive (Chicago-1975).

Aire y Rivva, agregan que “un ejemplo de aplicación de concreto de alta resistencia de los últimos tiempos son las Torres Petronas de Kuala Lumpur, uno de los edificios más altos del mundo, con una altura de 451 metros. Construidas con el concreto de alta resistencia, que le dieron una mayor rigidez a la estructura, comparada con las construidas con perfiles de acero que disminuyen la oscilación lateral”.

En cuanto al uso en la construcción, aunque no ha habido grandes vaciados, la Compañía UNICON y FIRTH, han incursionado en las investigaciones en su propia planta para las siguientes obras:

1. Hotel Marriot

Compañía: Graña & Montero Contratistas Generales, en donde utilizaron la cantidad de 30m³ de concreto $f'c=750 \text{ Kg/cm}^2$ a 980 Kg/cm^2 a 90 días

2. Fuste Silo Clinker resistente a la abrasión

Compañía: Cementos Lima, en donde utilizaron la cantidad de 138m³ de concreto $f'c=764 \text{ Kg/cm}^2$ a 890 Kg/cm^2 a 60 días.

3. Reservorio de alta durabilidad

Compañía: Constructora Moromisato S.A., usaron la cantidad de 13m³ de concreto de $f'c=620 \text{ Kg/cm}^2$.

4. Estructura especial ampliación C.C. Caminos del Inca-cantidad: en el cual usaron 27.5 m³ de concreto de $f'c=770 \text{ Kg/cm}^2$ a 915 Kg/cm^2 a 90 días

Todos estos concretos han sido dosificados, usando superplastificantes y microsílíce.

En la Región San Martín se conoce muy poco sobre concretos de resistencias mayores a 600 kg/cm^2 , los únicos trabajos realizados sobre este tema son Tesis:

“Diseño de Mezclas de Concreto de Alta Resistencia”, Autor: Cristian Sandoval Garay (2003), la cual fue sustentada en la Universidad Nacional de San Martín-Facultad de

Ingeniería Civil. En este estudio se logró obtener experimentalmente un concreto de $f'c=350 \text{ kg/cm}^2$ a los 28 días, utilizando superplastificante y aditivos.

“Diseño de Concreto de Alta Resistencia $f'c=480 \text{ kg/cm}^2$, usando agregados del Rio Huallaga para la ciudad de Tarapoto”, Autor: Mario García Torres (2013), la cual fue sustentada en la Universidad Nacional de San Martín-Facultad de Ingeniería Civil. En este estudio se logró obtener experimentalmente un concreto de $f'c=480 \text{ kg/cm}^2$ a los 28 días, utilizando superplastificante y aditivos.

2.5.2 Marco teórico

2.5.2.1 Propiedades del concreto en estado fresco

2.5.2.1.1 Trabajabilidad:

Portugal Barriga, 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”*.

Pasquel Carbajal, señala que está definida por la mayor o menor dificultad para el mezclado, transporte, colocación y compactación del concreto.

2.5.2.1.2 Consistencia:

Cachay Huamán, considera que es una propiedad del concreto fresco que está en relación directa con el grado de humedecimiento de la mezcla, determinando de acuerdo al menor o mayor contenido de agua 3 tipos de mezclas:

Mezclas secas

Mezclas plásticas

Mezclas húmedas

La prueba del cono de Abrams o de Slump es tal vez el ensayo más largamente usado para caracterizar la consistencia de un concreto. Muchos investigadores han tratado de realizar modelos con los cual puedan predecir el valor de Slump, sin embargo, los modelos presentados hasta el momento presentan un error promedio alto.

Portugal Barriga, comparte que la adición de la microsílíce a las mezclas ha dado como resultado un concreto más cohesivo y menos propenso a la segregación, este comportamiento se observó en todas las mezclas elaboradas con este material.

2.5.2.1.3 Compacidad:

Gonzales García, 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.

2.5.2.1.4 Peso unitario:

Aybar de la Torre, 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 ($2200 - 2500 \text{ Kg/m}^3$)

Concretos Livianos ($600 - 1800 \text{ kg/cm}^3$)

Concretos Densos ($2700 - 4500 \text{ kg/m}^3$)

2.5.2.1.5 Contenido de aire:

Gonzales García, en su trabajo de Tesis agrega que esta es una propiedad que tiene todo concreto, puesto que el aire es un volumen integrante de una mezcla y su presencia es

inevitable. La importancia radica en el porcentaje de aire que contenga una mezcla y el cómo manejarlo para que su presencia no afecte las propiedades requeridas.

El contenido de aire influye en concretos que no hayan tenido una buena dosificación, transporte y compactación, originando cangrejas formando un porcentaje de aire indeseable, constituyéndose en vías de ataque para los agentes climáticos.

Una cantidad significativa de material que pase la malla N° 200, especialmente en la forma de arcilla, puede reducir el contenido de aire en el concreto y obligar a que se emplee más aditivo incorporado de aire para obtener los mismos resultados.

2.5.2.1.6 Segregación:

Aybar de la Torre, indica que la segregación representa el estado opuesto de la homogeneidad, se define como la descomposición mecánica del concreto fresco en sus partes constituyentes cuando el agregado grueso tiende a separarse del mortero.

Otras causas de segregación menos usuales puede ser el empleo del agregado grueso cuya gravedad específica difiere apreciablemente de la que tiene el agregado fino. Otra puede ser el empleo del agregado grueso cuyo tamaño máximo excede las dimensiones del elemento estructural.

Este es un fenómeno perjudicial para el concreto, produciéndose en el elemento llenado bolsones de piedra, capas arenosas, cangrejas, etc. Lo que implica un deficiente comportamiento estructural del elemento, la segregación es una función de la consistencia de la mezcla, siendo el riesgo mayor cuando más humedad es ésta y menor cuanto más seca es.

Gonzales García, manifiesta que en la etapa de producción de concreto en obra se tiene que tener bastante cuidado, puesto que generalmente los procesos de transporte, colocación, y compactación del concreto son las causas externas del fenómeno de segregación.

2.5.2.1.7 Exudación:

Aybar de la Torre, manifiesta que se define como el ascenso de una parte del agua de la mezcla hacia la superficie como consecuencia de la sedimentación de los sólidos.

Este fenómeno ocurre momentos después que el concreto ha sido colocado en el encofrado.

La exudación puede ser producto de una mala dosificación de la mezcla, de un exceso de agua de la misma, así como también de la fuerza del cemento, de la utilización de aditivos, y de la temperatura, en la medida en que a mayor temperatura mayor es la velocidad de exudación.

Cuando se aprecia una exudación excesiva, debe adoptarse medidas en su granulometría para controlar o eliminar los efectos negativos que pudiera tener en el resultado final. Una forma de contribuir a controlar la exudación es el empleo de una combinación adecuada de arenas gruesas y finas, a fin de incrementar la superficie específica y disminuir el volumen de exudación.

2.5.2.1.8 Cohesividad:

Aybar de la Torre, 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 éste 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.

2.5.2.1.9 Estabilidad:

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

2.5.2.2 Propiedades del concreto en estado endurecido:

2.5.2.2.1 Elasticidad:

Rivva López, 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.

2.5.2.2.2 Resistencia:

Gonzales García, indica que es la propiedad por la cual el concreto determina su capacidad para soportar cargas y esfuerzos sin romperse, siendo la resistencia a la compresión la que establece su calidad. Depende principalmente de la concentración de la pasta de cemento, expresado en términos de R a/c en peso, también está en función de tipo, características físicas y químicas de sus materiales constituyentes como calidad y tipo de cemento, calidad resistente y granulometría de agregados, como también factores externos, la temperatura, técnicas de mezclado, transporte colocación, compactación y curado del concreto.

Un factor indirecto y de importancia lo constituye el curado puesto que es el complemento del proceso de hidratación sin el cual no se llegaría a desarrollar completamente las características resistentes del concreto.

La relación agua/cemento es el factor quizás más importante que determina el grado de resistencia que adopta un concreto totalmente compactado, que definió Duff Abrams en 1918 “ley de Abrams” y estableció que, para un conjunto dado de materiales y condiciones de trabajo, el factor determinante de la resistencia era la relación agua/cemento de diseño, en la que se excluye el agua absorbida por el agregado. En esta teoría las resistencias son mayores con la disminución de la relación agua/cemento.

Pero no olvidemos que los agregados son materiales que representan aproximadamente las $\frac{3}{4}$ partes de la unidad cúbica de concreto, lo cual influye dependiendo de su forma, textura, dureza, tamaño máximo, granulometría en las propiedades resistentes del concreto.

Esto llevó a que en 1923 el Norteamericano Gilkey observe la ley de Abrams y sostenga que el agregado no es un material inerte de relleno y plantea su teoría en cuanto a la resistencia del concreto y quizás las más aceptable hasta nuestros días.

2.5.2.3 Aditivos químicos

Rivva López, 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.

2.5.2.3.1 Superplastificantes

Torres, 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 formaldeidos 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, 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.

2.5.2.4 Adiciones minerales

2.5.2.4.1 Microsilice

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, señala que el 93% de su composición es óxido de silicio (SiO_2). 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 específica (Blaine) 18000 a 22000 m^2/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 Lopez, manifiesta que la microsílice consiste en partículas vítreas muy finas con un área superficial del orden de 20,000 m^2/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/m^3 ; 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 varía del 5% al 15% del contenido del cemento portland.

Rivva López, 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.

2.5.2.4.2 Mecanismos de acción

Morataya, 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.

2.5.2.5 Propiedades de los concretos de alta resistencia.

2.5.2.5.1 Módulo de elasticidad

Morataya, en 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 son 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 (E_c) y la resistencia en compresión (f'_c). Las desviaciones del valor predicho son solamente dependientes de las propiedades y proporciones del agregado grueso.

2.5.2.5.2 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.

2.5.2.5.3 Comportamiento esfuerzo - deformación en compresión uniaxial

Rivva López, 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.

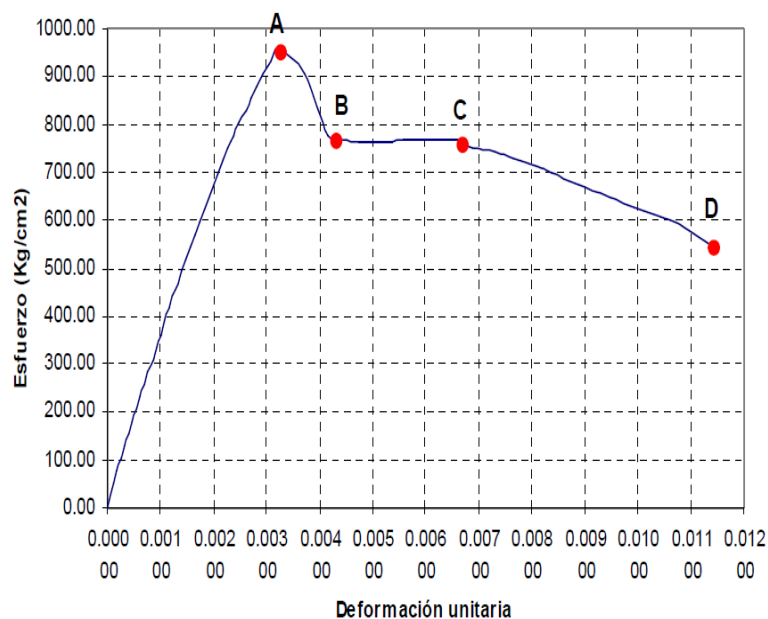


Figura 1: Curva esfuerzo deformación

En la figura N^o 01 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.

2.5.2.5.4 Módulo de rotura

Rivva López, 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).

2.5.2.5.5 Resistencia a la tensión por deslizamiento

Dewar, 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. Carrasquillo, Nilson y 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.

2.5.2.5.6 Resistencia a la fatiga

Rivva López señala que el comportamiento a la fatiga de concretos de alta resistencia es muy limitado. Bennet y Muir 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.

2.5.2.5.7 Peso unitario

Rivva López, 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.

2.5.2.5.8 Evolución del calor debido a la hidratación

Rivva López, 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, ha concluido que la evaluación de calor de los concretos de alta resistencia deberá ser de aproximadamente 6° a 8° por cada 60 Kg/m^3 de cemento. Valores de elevación de temperatura 56°C en concretos de alta resistencia que contenían 502 Kg/m^3 de cemento han sido medidos en edificios construidos en Chicago.

2.5.2.5.9 Ganancia de la resistencia con la edad

Rivva López, 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, 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.

2.5.2.6 Agregados.

2.5.2.6.1 Agregado fino

Rivva López, indica que el agregado fino, al igual que el grueso, debe cumplir con las especificaciones de la Norma ASTM C33 o la Norma NTP 400.037. Su módulo de fineza

debe estar entre 2.8 y 3.1. Son recomendables los perfiles redondeados y las texturas suavizadas por requerir menor cantidad de agua de mezclado, siendo por ello preferibles en concretos de alta resistencia.

La óptima gradación del agregado fino para concretos de alta resistencia es determinada más por sus efectos sobre los requerimientos de agua que por sobre sus propiedades de acomodo. Los estudios en USA indican que las arenas con un módulo de fineza por debajo de 2.5 dan al concreto una consistencia pastosa, haciendo difícil su compactación. Se ha encontrado que el agregado fino con un módulo de fineza del orden de 3.0 da las mejores trabajabilidades y resistencias en compresión.

Los concretos de alta resistencia típicos tienen un alto contenido de materiales cementantes finos que la granulometría de los agregados empleados es de importancia relativa si se compara con los concretos convencionales. Sin embargo, puede no ser conveniente incrementar el módulo de fineza; en este sentido la National Crushed Stone ha reportado importantes recomendaciones a fin de reducir los requerimientos de agua; indican que la cantidad que pasa la mallas N° 50 y la N° 100 deberá ser baja, dentro de los valores que indica la Norma ASTM C33, debiendo evitarse la mica y la arcilla, las mezclas con granulometría discontinua presentan resistencias menores que las mezclas estándar.

El agregado fino no debe contener sales, mica o arcilla. La granulometría debe ser continua. Es conveniente limitar los finos a un máximo del 8%.

2.5.2.6.2 Agregado grueso

2.5.2.6.2.1 Aspectos generales.

Rivva López, manifiesta que todos los estudios efectuados han indicado que para una óptima resistencia en compresión con alto contenido de cemento y baja relación agua-cemento, el tamaño máximo del agregado grueso deberá ser mantenido en un mínimo, entre $\frac{1}{2}$ " y $\frac{3}{4}$ ". Tamaños máximos de $\frac{3}{4}$ " y 1" han sido también empleados con éxito. Cordon y Gillespe han encontrado que el incremento de la resistencia es causado por la reducción del esfuerzo de adherencia promedio debido al incremento en el área superficial de los agregados individuales. El investigador Alexander ha encontrado que la adherencia de las partículas de 3" era solamente $\frac{1}{10}$ de la de $\frac{1}{2}$ ". Igualmente llegó a la conclusión

que excepto para agregado muy bueno o muy malo la resistencia por adherencia fue del orden del 50% al 60% de la resistencia de la pasta a los 7 días.

Asimismo, Rivva López, manifiesta que los agregados de tamaño menor son también considerados como adecuados para producir concretos de alta resistencia debido a su menor concentración de esfuerzos alrededor de las partículas, debido a la diferencia entre el módulo de elasticidad de la pasta y el agregado. El agregado grueso debe provenir de rocas ígneas plutónicas de grano fino con dureza no menor de 7 y una resistencia en compresión no menor del doble de la que se desea alcanzar con el concreto.

De igual manera Rivva López, argumenta que muchos estudios han demostrado que la piedra partida produce más altas resistencias que la grava redondeada. La principal razón para ello es la mayor adherencia mecánica que se puede desarrollar con piedras angulares. Sin embargo, una acentuada angularidad deberá ser evitada dado que requiere mayores contenidos de agua y reduce la trabajabilidad. El agregado grueso ideal debe ser limpio, cubico y angular, 100% partido como mínimo de partículas chatas y elongadas, y con una dureza no menor de 7.

Rivva, menciona que su perfil angular, su textura rugosa, su capacidad de absorción menor del 1% y su peso específico del orden de 2.65, hacen recomendable la caliza triturada debidamente graduada de acuerdo a la Norma.

El tamaño máximo del agregado deberá estar en el orden de ½” y 3/8” con un mínimo de esfuerzos originado por diferencias ente los módulos de elasticidad de la pasta y el agregado.

Los estudios efectuados indican que la piedra partida produce resistencias más altas que grava redondeada. La principal razón para ello es la mayor adherencia mecánica que puede desarrollarse con partículas angulares. Sin embargo, deberá evitarse una acentuada angularidad debido a que ella tiene mayor demanda de agua con la consiguiente reducción en la trabajabilidad. Se considera que para concretos de alta resistencia el agregado ideal debe ser limpio, cubico, angular, 100% piedra partida, sin partículas chatas y elongadas.

Debido, como ya se ha indicado, a que la resistencia por adherencia es el factor limitante en el desarrollo de los concretos de alta resistencia, la composición mineral de estos deberá

ser tal como para proporcionar adherencia química. Es presumible que muchos minerales silicios deban proporcionar una buena adherencia potencial con el Cemento Portland.

2.5.2.6.2.2 Absorción.

Rivva López, indica que el curado es fundamental en la producción de concretos de alta resistencia. Para producir una pasta de cemento con un contenido alto y fuerte, el concreto deberá contener el mínimo de agua de mezclado. Sin embargo, después que el concreto ha sido colocado y la estructura de la pasta se solidifica, se podrá disponer de agua libremente, especialmente en la etapa inicial de hidratación. Durante este periodo una parte importante del agua se combina con el cemento. Esta agua pierde aproximadamente $\frac{1}{4}$ de su volumen después de las reacciones químicas se han completado. Se crea un pequeño vacío capaz de atraer el agua a distancias cortas dentro del concreto, el cual en esta etapa es todavía permeable.

Cualquier agua extra que en esta etapa pueda ingresar a la estructura ha de contribuir a la hidratación y, por lo tanto, aumentar su resistencia. Si el agregado es capaz de absorber una moderada cantidad de agua, ella puede actuar como un reservorio de agua de curado distribuido en el concreto, proporcionando agua de curado adicional con el beneficio consiguiente de las pastas de baja relación agua cemento.

2.5.2.6.2.3 Resistencia intrínseca del agregado

Rivva López, afirma que los concretos de alta resistencia deberán requerir agregados de alta resistencia y, en alguna extensión, ello es obvio. Sin embargo, severas investigaciones han demostrado que, para algunos agregados, un punto es alcanzado más allá del cual los incrementos en el contenido del cemento no producen el correspondiente incremento en la resistencia a la compresión del concreto. Aparentemente ello no es debido a un desarrollo total de la resistencia a la compresión del concreto, sino que se ha alcanzado el límite de adherencia de la combinación cemento-agregado. No puede dejar de reiterarse que la dureza del agregado sea 7 o mayor.

2.5.2.7 Ventajas y desventajas del concreto de alta resistencia

2.5.2.7.1 Ventajas

Rivva, precisa que las ventajas son los siguientes:

Ideal para reducir las dimensiones de elementos verticales y horizontales, lo que se traduce en 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.

2.5.2.7.2 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.

2.5.2.8 Métodos

Efraín Esteban, manifiesta que etimológicamente la palabra método proviene del griego *methodos* que significa camino hacia algo. En ese sentido, el método consiste en el camino que permite lograr un objetivo, alcanzar una meta.

2.5.2.8.1 Principales métodos

Efraín Esteban, considera los siguientes métodos de investigación:

A. Método deductivo.

Esteban, considera que el método deductivo consiste en el estudio, en la investigación de la realidad, partiendo de lo general avanza hacia lo particular; es decir, que a partir de los conocimientos generales, de los principios generales estudia los hechos o fenómenos particulares.

B. Método inductivo.

Para Esteban, el método inductivo consiste en el estudio de la realidad de lo particular a lo general, es decir que a partir de la investigación de hechos o fenómenos particulares avanza hacia las generalizaciones.

C. Método experimental.

El método experimental según Esteban, se basa en la utilización de los experimentos para la obtención de conocimientos, utilizando grupos experimentales. El método experimental consiste en organizar deliberadamente condiciones de acuerdo con un plan previo con el fin de investigar las posibles relaciones causa – efecto exponiendo a uno o más grupos.

D. Método de la abstracción científica.

Según Esteban, la palabra abstracción proviene del latín *abstractio*, que significa aislamiento, separación. La abstracción consiste en la separación mental de los elementos de un objeto o fenómeno estudiado, con la finalidad de determinar aquellos que son fundamentales y precisar las relaciones que se dan entre ellos.

E. Método histórico.

El método histórico para Esteban, consiste en el estudio de la realidad a partir del análisis de la sucesión de hechos o fenómenos que se dan en determinados periodos históricos o etapas de desarrollo. El método histórico toma muy en cuenta el análisis de los antecedentes, las causas y consecuencias de esos hechos o fenómenos. Su utilización se da principalmente en el campo de las ciencias sociales.

F. Método dialéctico.

Para Esteban, es el método más completo, más general, puesto que no solo asimila todo lo planteado por los métodos anteriores, sino que también aporta el suyo, para hacerlo más consistente, más científico. El método dialéctico busca el conocimiento de los hechos o fenómenos hasta descubrir su esencia, sus aspectos fundamentales.

G. Método observacional.

José Salinas, postula que es aquella que se basa en la observación de los fenómenos, características, situaciones, variaciones, etc.; del asunto que se quiere investigar. Solo se observa sin manipular ni cambiar nada, las observaciones hechas se pueden registrar para posterior análisis.

H. Método explicativo.

José Salinas, manifiesta que es aquella que trata de analizar y/o explicar las causas de los efectos estudiados, es decir, no solo describe la situación, fenómeno, característica, relación entre causa efecto, etc., tal como lo hace la investigación descriptiva, sino que analiza y/o explica el porqué de los asuntos investigados.

I. Método descriptivo.

Para José Salinas, es aquella que se refiere a la descripción de algún objeto, sujeto, fenómeno, etc., en total o parte del mismo, se especifica las características más importantes de persona o grupos, fenómenos que sean sometidos a análisis.

2.5.2.9 Técnica estadística de validación de resultados

2.5.2.9.1 Contraste de hipótesis

García Torres, manifiesta que la verificación de hipótesis corresponde a la parte práctica del trabajo de investigación. En ciencias naturales se conoce como resultados y análisis de resultados.

Esteban Churampi, señala que la hipótesis y la verificación de hipótesis deciden la calidad de un trabajo de investigación.

2.5.2.9.2 ¿Qué es una hipótesis?

Esteban Churampi, considera que la hipótesis es una proposición, con cierto nivel de rigor científico, verificable en el proceso de investigación. La hipótesis se expresa a través de variables, tratando de explicar el problema de investigación; por eso es la relación entre variables, la construcción de variables. La hipótesis son proposiciones tentativas acerca de las relaciones entre dos o más variables.

García Torres, señala que, una hipótesis es una afirmación (matemáticamente, una **expresión lógica**) sobre parámetros o sobre la distribución de una población. El método de contraste de hipótesis tiene como objetivo rechazar o aceptar hipótesis, de acuerdo a técnicas estadísticas aplicadas sobre las muestras o las propiedades de la población disponibles.

Si la hipótesis es una afirmación sobre el valor de un parámetro estadístico de la variable aleatoria en estudio, tenemos un **test paramétrico**. En caso contrario se habla de **test no paramétrico**.

2.5.2.9.3 La lógica del contraste de hipótesis

García Torres, añade que lo esencial del contraste de hipótesis es la comparación de la hipótesis estudiada con la evidencia obtenida de la muestra (o muestras). Se utilizan técnicas estadísticas para hacer esta comparación, llegando a dos situaciones:

Si los datos de la muestra no contradicen la hipótesis, se sigue sosteniendo la hipótesis.

Si los datos de la muestra contradicen la hipótesis, se rechaza ésta, y se sostiene la validez de la hipótesis contraria (o alternativa).

Desde el punto de vista del conocimiento (*epistemológico*), cuando los datos de la muestra no contradicen la hipótesis **no podemos afirmar con total garantía que la hipótesis es cierta**. Por ejemplo, podría suceder que tomásemos otra muestra y ésta segunda sí que entre en contradicción con la hipótesis. Por lo tanto, la hipótesis es siempre provisional.

Pero la cosa cambia si se mira de la otra forma. Si encontramos que la muestra contradice la hipótesis, podemos considerarla falsa (y por tanto es cierta la alternativa). No obstante, en ambos casos la "contradicción" que los datos pueden dar lugar respecto a la hipótesis es una cuestión de probabilidad. Por ello, la certeza en el contraste de hipótesis es siempre probabilista, y se basa en el concepto de nivel de significación.

2.5.2.9.4 Método general

García Torres, señala que el **contraste de hipótesis** es una técnica o procedimiento que nos permite determinar si las muestras observadas difieren significativamente de la hipótesis planteada. Dependiendo de la magnitud de esa diferencia, se rechazará la hipótesis planteada o se considerará cierta.

Desde el punto de vista de la lógica científica, si damos por cierta la hipótesis tras el contraste, esta siempre es una certeza provisional, ya que siempre cabe la posibilidad de que al observar otra muestra en el futuro, la diferencia sea tan grande como para rechazar la hipótesis que provisionalmente se había dado por válida.

Paso 1: Planteamiento de la hipótesis nula (y en consecuencia, de la alternativa)

El contraste de hipótesis comienza por el planteamiento de la hipótesis nula, denominada H_0

Una vez definida la hipótesis nula, se define la **hipótesis alternativa**, denominada H_1 .

Las dos hipótesis son complementarias (contrarias) y entre las dos deben cubrir todas las posibilidades. En otras palabras, si una de ellas es cierta, forzosamente la otra tiene que ser falsa

Nota: En la hipótesis nula H_0 cuando se comprueban valores, siempre tiene que figurar la igualdad en la comparación, debido al tipo de técnica matemática utilizada, ya que es la afirmación concreta que se somete a contraste

Paso 2: Prueba, contraste o test sobre la hipótesis nula

Consiste en partir de las suposiciones de que la hipótesis nula es cierta, tomar y analizar las muestras y comparar si el resultado empírico de los datos es compatible o coherente o no con la hipótesis nula de partida.

Para ello se recurre a un **estadístico de contraste**. Un estadístico es siempre función de una muestra. Por ejemplo, si nuestra hipótesis es una afirmación sobre la media poblacional tal como $H_0 = \mu \leq 45$, entonces el estadístico de contraste que parece lógico utilizar es la media muestral \bar{x} . El estadístico de contraste debe poseer dos características:

Proporciona información empírica relevante a la hipótesis nula.

Posee una distribución muestral conocida.

Todo estadístico - como la media muestral - es en sí una variable aleatoria que sigue una determinada *distribución muestral*. Sobre esa distribución muestral se hará realmente el contraste.

2.5.2.9.5 Contraste sobre la distribución muestral

García Torres, señala que para proceder al contraste se divide la distribución muestral en dos regiones:

Región de rechazo (crítica). Zona de valores del estadístico de contraste que están *tan alejados* de H_0 que es muy poco probable que ocurren si ésta es verdadera.

Región de aceptación. Resto de los valores, que se consideran próximos en cierto grado a H_0 .

Para definir la región crítica, se utiliza un **nivel de significación** α (que típicamente toma valores 0.10, 0.05 ó 0.01). Si la compatibilidad de la muestra con H_0 es menor que α , llegamos a una **contradicción**, y la conclusión es que la hipótesis de partida es falsa.

2.5.2.9.6 Tipos de errores en el contraste de hipótesis

García Torres, agrega que todo contraste de hipótesis termina con una decisión de aceptar o rechazar H_0 . Al tomar esa decisión, siempre se corre el riesgo de caer en el error, aunque la probabilidad de hacerlo sea pequeña. Es importante entender dos tipos de errores que pueden darse:

1. Si se rechazó H_0 y ésta es realmente cierta, se hizo por contraste utilizando un nivel de significación α , es decir, la probabilidad de este error es α .
2. Este es un valor conocido en el propio test de hipótesis, y se denomina **error de tipo I**.
3. Si se aceptó H_0 y ésta es realmente falsa, se hizo con una probabilidad que no conocemos por el propio contraste y que llamaremos β .

El error de tipo II depende de varios factores:

La verdadera H_1

El valor de α . El tamaño de la desviación típica de la distribución muestral (del estadístico de contraste).

Tabla 1

Tipos de errores en el contraste

	H0 es cierta	H1 es cierta
Aceptada H₀	No hay error	Error de tipo II
Aceptada H₁	Error de tipo I	No hay error

Fuente: Tesis Mario García Torres

2.5.2.9.7 Distribución T de Student.

En Wikipedia, se puede encontrar que, en probabilidad y estadística, la distribución t (de Student) es una distribución de probabilidad que surge del problema de estimar la media de una población normalmente distribuida cuando el tamaño de la muestra es pequeño.

Aparece de manera natural al realizar la prueba t de Student para la determinación de las diferencias entre dos medias muestrales y para la construcción del intervalo de confianza para la diferencia entre las medias de dos poblaciones cuando se desconoce la desviación típica de una población y ésta debe ser estimada a partir de los datos de una muestra.

Para realizar el análisis de t de Student entre dos muestras se aplican las siguientes formulas:

$$t_{Ho} = \frac{\bar{X}_1 - \bar{X}_2}{\sqrt{S_a^2 \left(\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2} \right)}} \dots\dots\dots (1)$$

$$S_a^2 = \frac{(n_1 - 1)S_1^2 + (n_2 - 1)S_2^2}{n_1 + n_2 - 2} \dots\dots\dots (2)$$

$$\sigma_{\bar{x}} = \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \dots\dots\dots (3)$$

Donde:

\bar{X}_1 y \bar{X}_2 son las medias muestrales correspondientes a los dos grupos.

n_1 y n_2 son los tamaños de las muestras correspondiente a los dos grupos.

S_a^2 es un promedio ponderado de las varianzas muestrales.

$\sigma_{\bar{x}}$ es el error típico de la diferencia de medias.

2.5.2.9.8 Desviación estándar

En Wikipedia, se puede encontrar que la desviación típica o desviación estándar (denotada con el símbolo σ o s , dependiendo de la procedencia del conjunto de datos) es una medida de dispersión para variables de razón (variables cuantitativas o cantidades racionales) y de intervalo. Se define como la raíz cuadrada de la varianza de la variable.

Para conocer con detalle un conjunto de datos, no basta con conocer las medidas de tendencia central, sino que necesitamos conocer también la desviación que presentan los datos en su distribución respecto de la media aritmética de dicha distribución, con objeto de tener una visión de los mismos más acorde con la realidad al momento de describirlos e interpretarlos para la toma de decisiones.

Calderón, señala que se caracteriza por ser el estadígrafo de mayor uso en la actualidad. Se obtiene mediante la aplicación de la siguiente fórmula:

$$s^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n - 1} \dots\dots\dots (4)$$

Donde:

S: desviación estándar

n: número de ensayo de la serie

x_i: resultados de resistencias de muestras de ensayos individuales

\bar{x} : Promedio de todos los ensayos individuales de una serie.

2.5.2.9.9 Coeficiente de variación

En Wikipedia, manifiesta que el coeficiente de variación (de Pearson), es una medida de dispersión útil para comparar dispersiones a escalas distintas pues es una medida invariante ante cambios de escala. Sirve para comparar variables que están a distintas escalas pero que están correlacionadas estadísticamente y sustantivamente con un factor en común.

Es decir, ambas variables tienen una relación causal con ese factor.

Su fórmula expresa la desviación estándar como porcentaje de la media aritmética, mostrando una mejor interpretación porcentual del grado de variabilidad que la desviación típica o estándar.

$$V = \frac{S}{\bar{X}} * 100\% \dots\dots\dots (5)$$

V: Coeficiente de variación

S: desviación estándar

\bar{X} : media aritmética

2.5.2.9.10 Análisis de varianza

Abraira y Pérez, consideran que el análisis de la varianza (o Anova: Analysis of variance) es un método para comparar dos o más medias, que es necesario porque cuando se quiere

comparar más de dos medias es incorrecto utilizar repetidamente el contraste basado en la t de Student por dos motivos:

En primer lugar, y como se realizarían simultánea e independientemente varios contrastes de hipótesis, la probabilidad de encontrar alguno significativo por azar aumentaría. En cada contraste se rechaza la H_0 si la t supera el nivel crítico, para lo que, en la hipótesis nula, hay una probabilidad a . Si se realizan m contrastes independientes, la probabilidad de que, en la hipótesis nula, ningún estadístico supere el valor crítico es $(1 - a)^m$, por lo tanto, la probabilidad de que alguno lo supere es $1 - (1 - a)^m$, que para valores de a próximos a 0 es aproximadamente igual a $m \cdot a$.

Una primera solución, denominada *método de Bonferroni*, consiste en bajar el valor de a , usando en su lugar a/m , aunque resulta un método muy conservador.

Por otro lado, en cada comparación la hipótesis nula es que las dos muestras provienen de la misma población, por lo tanto, cuando se hayan realizado todas las comparaciones, la hipótesis nula es que todas las muestras provienen de la misma población y, sin embargo, para cada comparación, la estimación de la varianza necesaria para el contraste es distinta, pues se ha hecho en base a muestras distintas.

El método que resuelve ambos problemas es el anova, aunque es algo más que esto: es un método que permite comparar varias medias en diversas situaciones; muy ligado, por tanto, al diseño de experimentos y, de alguna manera, es la base del análisis multivariante.

2.5.2.9.11 Grado de libertad

García Torres, manifiesta que, en estadística, **grados de libertad** es un estimador del número de categorías independientes en una prueba particular o experimento estadístico. Se encuentran mediante la fórmula $n - r$, donde n =número de sujetos en la muestra (también pueden ser representados por $k - r$, donde k =número de grupos, cuando se realizan operaciones con grupos y no con sujetos individuales) y r es el número de sujetos o grupos estadísticamente dependientes.

Cuando se trata de eliminar los estadísticos con un conjunto de datos, los residuos - expresados en forma de vector- se encuentran habitualmente en un espacio de menor

dimensión que aquél en el que se encontraban los datos originales. Los grados de libertad del error los determina, precisamente, el valor de esta menor dimensión.

Un ejemplo aclara el concepto. Supongamos que

X_1, \dots, X_n son variables aleatorias, cada una de ellas con media μ , y que

$$\bar{X}_n = \frac{X_1 + \dots + X_n}{n} \dots\dots\dots(6)$$

es la "media muestral". Entonces las cantidades

$$X_i - \bar{X}_n$$

son los residuos, que pueden ser considerados estimaciones de los errores $X_i - \mu$. La suma de los residuos (a diferencia de la suma de los errores, que no es conocida) es necesariamente 0,

$$\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X}_n) = \sum_{i=1}^n X_i - \sum_{i=1}^n \bar{X}_n = 0 \dots\dots\dots(7)$$

ya que existen variables con valores superiores e inferiores a la media muestral. Esto también significa que los residuos están restringidos a encontrarse en un espacio de dimensión $n - 1$ (en este ejemplo, en el caso general a $n - r$) ya que, si se conoce el valor de $n - 1$ de estos residuos, la determinación del valor del residuo restante es inmediata. Así, se dice que "el error tiene $n - 1$ grados de libertad" (el error tiene $n - r$ grados de libertad para el caso general); de donde:

$$gl = n - 1 \dots\dots\dots(8)$$

Donde:

gl= Grados de Libertad.

n = Tamaño de la muestra.

2.5.2.9.12 Suma de cuadrados

García Torres, señala que la suma de cuadrados en el ANOVA de un factor o vía de efectos fijos. La variabilidad observada en los datos es debida a la naturaleza propia de las variables o medidas que analizamos, pero también es imputable a los niveles o tratamientos en el caso que afecten de manera desigual a la variable respuesta. El análisis de la varianza permite considerar herramientas (estadísticos) que separan la variabilidad debida al azar de la variabilidad imputable a los tratamientos o niveles. Estos estadísticos se definen a partir de las variables que configuran las $N=n_1+n_2+\dots+n_k$ observaciones. Por simplificar la notación supondremos que estamos ante un diseño balanceado o equilibrado, es decir $n_1=n_2=\dots=n_k=n$; que es el recomendable, por otra parte, en tanto que es menos sensible a pequeñas desviaciones de la normalidad y de la homocedasticidad (los supuestos básicos del ANOVA). Una medida de la variabilidad total de los datos es la suma de cuadrados total, designada por SST:

$$SST = \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^n (Y_{ij} - \bar{Y}_{..})^2$$

donde

$$\bar{Y}_{..} = \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^n \frac{Y_{ij}}{nk}, \quad \text{es decir, la media muestral de todas las observaciones.}$$

La suma de cuadrados total, en tanto que medida de variabilidad total, se descompone de la forma siguiente:

$$SST = SSA + SSE, \text{ donde}$$

$$SSA = n \sum_{i=1}^k (\bar{Y}_i - \bar{Y}_{..})^2, \text{ suma de cuadrados de tratamientos,}$$

$$SSE = \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^n (Y_{ij} - \bar{Y}_i)^2, \text{ suma de cuadrados del error, y}$$

$$\bar{Y}_i = \sum_{j=1}^n \frac{Y_{ij}}{n}, \text{ media muestral de los datos del } i\text{-ésimo nivel.}$$

SSA es una medida de la variabilidad entre las medias muestrales de las observaciones de cada tratamiento.

SSE es una medida de la variabilidad de las observaciones respecto a la media muestral a la que pertenecen.

2.5.2.9.13 Cuadrados medios

Di Rienzo, considera: si $X_{i1}, X_{i2}, \dots, X_{in}$ es muestra obtenida bajo el tratamiento i -ésimo y se tienen muestras para a tratamientos, entonces, si σ^2 representa la varianza de la distribución bajo cualquier tratamiento, se llamará Cuadrado Medio Dentro (CMD) al promedio ponderado de las a varianzas estimadas en cada tratamiento.

$$CMD = \frac{(n_1 - 1)S_1^2 + \dots + (n_a - 1)S_a^2}{(n_1 - 1) + \dots + (n_a - 1)} \dots\dots\dots (9)$$

Se puede probar que el Cuadrado Medio Dentro es un estimador insesgado de σ^2 , es decir $E(CMD) = \sigma^2$

El nombre Cuadrado Medio Dentro proviene del hecho que es un promedio de magnitudes cuadráticas. Este ofrece una medida de la variabilidad promedio que hay dentro de cada tratamiento y mide la variabilidad de unidades experimentales tratadas de la misma forma (error experimental), por ello también se suele llamar cuadrado medio del error.

2.5.3 Marco conceptual: Terminología básica

2.5.3.1 Definición de términos básicos

2.5.3.1.1 Agregados:

Son materiales granulares sólidos inertes que se emplean en los firmes de las carreteras con o sin adición de elementos activos y con granulometrías adecuadas; se utilizan para la fabricación de productos artificiales resistentes, mediante su mezcla con materiales aglomerantes de activación hidráulica (cementos, cales, etc.) o con ligantes asfálticos. Tipos de agregados pétreos: El tipo de agregado pétreo se puede determinar, de acuerdo a la procedencia y a la técnica empleada para su aprovechamiento, se pueden clasificar en los siguientes tipos:

a) Agregados naturales: Son aquellos que se utilizan solamente después de una modificación de su distribución de tamaño para adaptarse a las exigencias según su disposición final.

b) Agregados de trituración: Son aquellos que se obtienen de la trituración de diferentes rocas de cantera o de las granulometrías de rechazo de los agregados naturales. Se incluyen todos los materiales canterables cuyas propiedades físicas sean adecuadas.

c) Agregados artificiales: Son los subproductos de procesos industriales, como ciertas escorias o materiales procedentes de demoliciones, utilizables y reciclables.

d) Agregados marginales: Los agregados marginales engloban a todos los materiales que no cumplen alguna de las especificaciones vigentes.

2.5.3.2 Propiedades de los agregados

Los Agregados también denominados áridos, inertes o conglomerados son fragmentos o granos que constituyen entre un 70% y 85% del peso de la mezcla (hormigón), cuyas finalidades específicas son abaratar los costos de la mezcla y dotarla de ciertas características favorables dependiendo de la obra que se quiera ejecutar.

2.5.3.2.1 Agregado fino

El agregado fino es aquel que pasa el cedazo o tamiz # 4 y es retenido en el cedazo número 200. Los agregados finos deben cumplir ciertas reglas para darles un uso ingenieril óptimo: deben consistir en partículas durables, limpias, duras, resistentes y libres de productos químicos absorbidos, recubrimientos de arcilla y de otros materiales finos que pudieran afectar la hidratación y la adherencia de la pasta de cemento. Las partículas de agregado que sean desmenuzables o susceptibles de resquebrajarse son indeseables.

2.5.3.2.2 Agregado grueso

Los agregados gruesos consisten en una grava o una combinación de gravas o agregado triturado cuyas partículas sean predominantemente mayores que 5mm y generalmente entre 9.5mm y 38mm. Los agregados gruesos deben cumplir ciertas reglas para darles un uso ingenieril óptimo: deben consistir en partículas durables, limpias, duras, resistentes y libres de productos químicos absorbidos, recubrimientos de arcilla y de otros materiales finos que pudieran afectar la hidratación y la adherencia de la pasta de cemento. Las partículas de agregado que sean desmenuzables o susceptibles de resquebrajarse son indeseables.

2.5.3.3 Calidad de los agregados

La importancia de utilizar el tipo y calidad de los agregados no debe ser subestimada pues los agregados finos y gruesos ocupan comúnmente de 60% a 70% del volumen de concreto, e influyen notablemente en las propiedades del concreto recién mezclado y en la durabilidad del concreto endurecido.

En la construcción de obras civiles, producto de la mala calidad de los agregados pueden presentarse problemas de humedad o filtraciones en paredes, mayor cantidad de

desperdicio de materiales en construcciones, baja resistencia y deterioro prematuro del concreto (arena, macadán, polvo de piedra, etc.) entre otros problemas derivados.

Las NTP establecen los requisitos que deben cumplir los agregados utilizados para concreto, y especifica los ensayos considerados obligatorios destinados para control y recepción. El árido debe estar libre de cantidades dañinas de impurezas orgánicas. Los áridos sometidos al ensayo para estimar las impurezas orgánicas según la Norma NTP que produzcan un color más oscuro que el color patrón, deben ser rechazados. Un árido fino rechazado en el ensayo de impurezas orgánicas puede utilizarse siempre y cuando al ser ensayados morteros de prueba, estos den como resultado de resistencia relativa calculada a los 7 días, de acuerdo a la norma, valores que no sean menores al 95 % de la resistencia esperada.

Aglomerantes

Llamamos aglomerante a un material que se emplea para unir otros materiales. Los aglomerantes utilizados en la construcción son materiales que, una vez mezclados con agua, tienen la propiedad de endurecerse (fragua), por lo que son muy usados en las obras para formar parte de estructuras, unir materiales cerámicos, enlucir exteriores.

Su materia prima son las arenas y las gravas que se usan, sobre todo fragmentados para generar este tipo de materiales tan usados en construcción: el yeso, el cemento y la cal. Otros materiales que incluimos entre los aglutinantes por sus características, aunque son compuestos son:

El mortero: mezcla de arena y cemento que sirve para unir los bloques o las piedras; también se usa para enfoscar.

Concreto: mezcla de grava, arena, agua y cemento que se endurece con el tiempo; es económico, duradero, resistente al fuego y puede ser fabricado directamente en la obra. Aunque es muy resistente a la compresión, su principal problema es su baja resistencia a la tracción.

Concreto armado: introducir barras de hierro o acero en el concreto antes de que esta fragua, sirve para mejorar su resistencia a la tracción y a la flexión.

2.5.3.4 Propiedades del concreto

El concreto presenta dos estados fundamentales desde los puntos de vista prácticos. El estado fresco o plástico en el que admite ser manipulado para su adaptación a los encofrados previstos y el estado endurecido en el que ha adquirido una rigidez tal que

impide su manipulación sin producir fracturas visibles o no irreversibles. Estos estados son sinónimos de la fase de colocación en obra y de uso. Propiedades del concreto fresco:

El concreto fresco es el producto inmediato del amasado de sus componentes. Desde el primer momento se están produciendo en su masa reacciones químicas que condicionan sus características finales como material endurecido. Reacciones que se prolongan sustancialmente hasta un año después de su amasado. El concreto fresco es una masa heterogénea de fases sólidas, líquidas y gaseosas que se distribuyen en igual proporción si está bien amasado. Las propiedades fundamentales de este estado del concreto son las siguientes:

Consistencia: Es la capacidad del hormigón fresco de deformarse. Principalmente se mide mediante el descenso en centímetros en el ensayo del cono de Abrams.

Docilidad: Es sinónimo de trabajabilidad del hormigón fresco. Es su capacidad de ser puesto en su lugar de destino con los medios de compactación de que se dispone. Principalmente se mide mediante el descenso en centímetros en el ensayo del cono de Abrams.

Homogeneidad: Es la cualidad de distribución por toda la masa de todos los componentes del concreto en las mismas proporciones. A la cualidad de homogeneidad se opone el defecto de la segregación o decantación. Se mide por la masa específica de porciones de concreto fresco separadas entre sí.

Masa específica: Es la relación entre la masa del concreto fresco y el volumen ocupado. Puede medirse con el concreto compactado o sin compactar. La densidad del concreto fresco compactado es una medida del grado de eficacia del método de compactación empleado. Se mide en kg/m^3

Tiempo abierto: Es el período de tiempo que transcurre entre el amasado del concreto y el principio del fraguado. Es una propiedad muy importante pues es en el que se puede manipular el concreto sin merma de sus características. Propiedades del concreto endurecido: El carácter de concreto endurecido lo adquiere el concreto a partir del final de fraguado. El concreto endurecido se compone del árido, la pasta de cemento endurecido (que incluye el agua que ha reaccionado con los compuestos del cemento) y la red de poros abiertos o cerrados resultado de la evaporación del agua sobrante, el aire ocluido (natural o provocado por un aditivo). Las propiedades del concreto endurecido son:

La densidad: Es la relación de la masa del concreto y el volumen ocupado. Para un concreto bien compactado de áridos normales oscila entre 2300- 2500 kg/m^3 . En caso de

utilizarse áridos ligeros la densidad oscila entre 1000-1300 kg/m³. Y en caso de utilizarse áridos pesado la densidad oscila entre 3000-3500 kg/m³.

Compacidad: Es la cualidad de tener la máxima densidad que los materiales empleados permiten. Un concreto de alta compacidad es la mejor protección contra el acceso de sustancias perjudiciales. □ **Permeabilidad:** Es el grado en que un concretos accesible a los líquidos o a los gases. El factor que más influye en esta propiedad es la relación entre la cantidad de agua añadida y de cemento en el hormigón (a/c). Cuanto mayor es esta relación mayor es la permeabilidad y por tanto más expuesto el concreto a potenciales agresiones.

Resistencia: El concreto endurecido presenta resistencia a las acciones de compresión, tracción y desgaste. La principal es la resistencia a compresión que lo convierte en el importante material que es. Se mide en Mpa. (Megapascales) y llegan hasta 50Mpa en concreto normales y 100Mpa. en concreto de alta resistencia. La resistencia a tracción es mucho más pequeña pero tiene gran importancia en determinadas aplicaciones. La resistencia a desgaste, de gran interés en los pavimentos se consigue utilizando áridos muy resistentes y relaciones agua cemento muy bajas. □ **Dureza:** Es una propiedad superficial que en el hormigón se modifica con el paso del tiempo debido al fenómeno de carbonatación. Un método de medirla es con el índice de rebote que proporciona el esclerómetro Schmidt.

Retracción: Es el fenómeno de acortamiento de concreto debido a la evaporación progresiva del agua absorbida que forma meniscos en la periferia de la pasta de cemento, y el agua capilar. Es el agua menos fijada en los procesos de hidratación. Además, en el hormigón endurecido está presente el agua en distintos estados:

2.5.3.5 Resistencia del concreto

En general, las especificaciones de concreto exigen una resistencia determinada a la compresión a 28 días, aunque no necesariamente es la condición dominante. Las especificaciones pueden imponer limitaciones a la relación a/c máxima admisible y al contenido unitario mínimo de cemento. Es importante asegurarse la compatibilidad entre estas condiciones para hacer un uso óptimo de las propiedades efectivas que tendrá el concreto.

Un mortero o un concreto no pueden tener más resistencia a compresión que la que tienen los áridos que lo forman. **Resistencia a compresión:** Para conocer la resistencia a compresión del concreto se realizan ensayos sobre varias probetas (serán cilíndricas de 15

cm de diámetro y una altura de 30 cm rotas a la edad de 28 días) procedentes de la misma amasada, presentándose variaciones entre los resultados obtenidos en la rotura de las mismas. Con estas variaciones aparecen los conceptos de “resistencia media” y “resistencia característica”

Resistencia media: Es la suma de las resistencias individuales de cada probeta dividida por el número de probetas ensayadas, obteniéndose un valor que no tiene en cuenta la dispersión entre los resultados individuales. □ **Resistencia característica.** Es el valor de la resistencia por debajo de la cual no se presentarán más de un 5 por 100 de roturas; es decir el 95 por 100 de las roturas serán de valor superior a la resistencia característica.

Resistencia a tracción: La resistencia a la tensión se obtiene por medio de la prueba brasileña, al aplicar carga sobre el diámetro de una probeta cilíndrica de concreto. El concreto es un material que presenta una resistencia a tracción baja, aproximadamente la décima parte de su resistencia a compresión. Esta suele ser la causa frecuente de la figuración del concreto.

La determinación de la resistencia a tracción del concreto tiene importancia especialmente cuando se quiere conocer su comportamiento frente a la fisuración. La fisuración del concreto se produce como consecuencia del agotamiento de este frente a tracción cuando está sometido a esfuerzos de flexo tracción o de cortante debidos a sollicitaciones mecánicas.

2.5.3.6 Marco histórico

El desarrollo de los denominados “Diseños de Mezclas de Concreto” ha sido gradual a lo largo de las diferentes épocas y etapas de la evolución del concreto. Como ésta continua, la definición de alta resistencia se ha ido modificando.

Así, en la década de los 50, los concretos con una resistencia en compresión de 350 Kg/cm² a los 28 días eran considerados como de alta resistencia. En la década de los 60 se empleó comercialmente, en Estados Unidos y Japón, concretos con resistencias a la compresión de 500 Kg/cm² a los 28 días.

En la década de los 70 ya se utilizan en forma comercial concretos del orden de 600 Kg/cm² como resistencia a la compresión a los 28 días. Para el año 2,000 ya se utiliza para concretos vaciados en sitio concretos con resistencias en compresión a los 54 días del orden de 1400 Kg/cm².

Por muchos años, concretos con resistencias en compresión en exceso de 400 Kg/cm^2 a los 28 días son disponible sólo en muy pocas localidades. Lentamente, pero en forma continua se va ampliando el valor de la resistencia y se incrementa la aplicación de los llamados “concretos de alta resistencia” y, en la actualidad, se utilizan en muchas partes del mundo. En el Perú ya se producen a nivel de laboratorio concretos con resistencias de 1200 Kg/cm^2 a los 54 días y, en obra, normalmente concretos de más de 700 Kg/cm^2 . Este crecimiento ha sido posible como resultado del notable desarrollo de la tecnología de los materiales, especialmente adiciones y aditivos, y de las investigaciones del laboratorio orientadas a satisfacer la demanda de los profesionales por concretos de resistencias cada vez mayores. La construcción de muchas importantes edificaciones, tales como el Chicago Water Tower Place, o el puente East Huntington, no hubiese sido posible sin la disponibilidad de concretos de alta resistencia. Desde que el concepto de concretos de alta resistencia ha ido cambiando con los años, el Comité 363 del American Concrete Instituto se ha visto en la necesidad de definir los límites dentro de los cuales se puede considerar a un concreto con el criterio de alta resistencia. Sin embargo, la realidad ha sobrepasado a la definición y la oficial de 1992 ha quedado obsoleta muy rápidamente a la definición.

El Comité indica que la palabra “*exótico*” ha sido incluida en la definición dado que no es función del Comité tratar aspectos referentes a concretos impregnados con polímeros; concretos epóxicos; o concretos preparados con agregados artificiales normales o pesados. Siempre debe recordarse que la definición de “*alta resistencia*” varía sobre una base geográfica y de desarrollo tecnológico. Así, en aquellas regiones en las que el concreto con una resistencia a la compresión de 600 Kg/cm^2 a los 28 días ya está siendo producido comercialmente, los concretos de alta resistencia estarán en el rango de 800 a 1000 Kg/cm^2 .

En cambio, en regiones en las que el límite superior del material comercialmente disponible es normalmente de 350 Kg/cm^2 a los 28 días, un concreto de 600 Kg/cm^2 a los 28 días deberá ser considerado de alta resistencia.

2.3.5.7 Hipótesis a demostrar

Si realizamos una adecuada dosificación de agregados de dos canteras distintas podemos obtener concretos de 210 Kg/cm^2 y 280 Kg/cm^2 con agregados del río Marañón y Paranapura.

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Materiales

3.1.1 Recursos humanos

Para este presente trabajo de investigación se contó con la colaboración del siguiente personal:

- a) **El Asesor:** Es el que orienta y coordina el desarrollo de la metodología de la investigación de este trabajo para llegar a los objetivos planteados
- b) **Los tesistas:** Es el encargado de desarrollar el trabajo de investigación manejando todos los procesos que intervienen en el desarrollo, coordinando constantemente con el asesor y el personal del laboratorio para llegar a la conclusión de los objetivos trazados.
- c) **El Técnico especialista de laboratorio:** Es el que realiza las pruebas de los materiales a utilizar, así como también interviene en coordinación con el Tesista en el diseño de mezclas de acuerdo al objetivo planteado para luego continuar con los demás procesos el proceso preparación de curado y finalmente, concluir con las pruebas de rotura en el laboratorio que son la evaluación final de la resistencia.
- d) **El Jefe de laboratorio:** Es la persona responsable del Laboratorio de Ensayo de Materiales el cual interviene en todo el proceso de pruebas y diseño y diagnóstico final certificando así todas las pruebas realizadas por el Tesista.

3.1.2 Recursos materiales

Para este trabajo de Tesis se utilizaron los siguientes materiales:

- a) **El agregado grueso y fino:**

Tanto el agregado grueso como el agregado fino se extrajeron de la cantera del río Marañón y Río Parapapura, que, por su naturaleza, tienen mayor resistencia al desgaste, intemperismo, a la meteorización y a los esfuerzos mecánicos.

Los agregados grueso y fino de las canteras del río Huallaga como agregado grueso y agregado fino son aptas para la utilización en pavimentos y concretos por su alta resistencia y dureza.

Se consideró utilizar un tamaño máximo de 3/4", del agregado grueso para el respectivo diseño y para el agregado fino un módulo de finura de 2.7.

b) El cemento:

Considerando que el cemento que se utiliza en nuestro medio y en todo el Departamento de San Martín es el Cemento Pacasmayo, y que por su disponibilidad y costo ha copado el mercado con relación a otras marcas que se fabrican en el Perú, se optó el uso de éste producto.

El "Cemento Pacasmayo Tipo I" de polvo gris verdusco, producto obtenido de la molienda conjunta de Clinker y yeso se vende en bolsas de 42.5 kg de capacidad. El peso específico considerado en la tesis para el cemento es de 3.11 kg /cm³. La planta Cementos Pacasmayo se ciñe a las normas técnicas ASTM C-150 y Norma Técnica Peruana 334.009 (NTP 334.009).

c) Súper plastificante:

Para la presente investigación se usó el superplastificante Chema Superplast, este aditivo es un reductor de agua de alto rango.

Descripción:

Es un producto líquido, color marrón oscuro, compuesto por resinas sintéticas, reductor de agua y fluidificante de alto rango. Permite reducir hasta 35% de agua del diseño de mezcla normal. Producto adecuado a la norma ASTM 494 C.

Propiedades:

CHEMA SUPER PLAST puede ser utilizado como reductor de agua o superfluidificante.

Permite mantener por un tiempo prolongado la trabajabilidad.

Alta reducción de la proporción agua cemento sin alterar la trabajabilidad del concreto.

Reduce la exudación.

Aumento de las resistencias mecánicas y la durabilidad.

Chema Superplast le confiere al concreto un acabado de muy buena calidad y permite llenar formas complicadas con mucha armadura de acero. Mejora las características del concreto bombeado, reduciendo las presiones de bombeo.

3.1.3 Recurso de equipos

a) Recipiente para medidas de peso unitario

Los recipientes para medida de Peso Unitario han sido diseñados de acuerdo con las especificaciones ASTM (ASTM C-29), para determinar el peso con respecto al volumen de muestras concreto, para este caso se utilizó el modelo CT-13 de capacidad 1/10 pie cubico para el agregado fino, y el modelo CT-14 de capacidad 1/3 pie cubico para el agregado grueso.

b) Balanza digital para determinar la humedad:

Esta balanza ha sido diseñada para determinar rápida y automáticamente el contenido de humedad de los suelos, soluciones acuosas y otros materiales, es de la serie L-789 con capacidad de 200 gr., con lecturas de 0.1 gramo.

c) Mezcladora de concreto de laboratorio:

La mezcladora de concreto de laboratorio está diseñada para eliminar el fastidioso trabajo de tener que mezclar a mano el concreto en las pruebas utilizadas en el diseño de mezclas haciendo este diseño más uniforme en el mezclado de los componentes, y además de un funcionamiento suave, silencioso y de fácil manejo.

d) Refrentador de cilindros de 152mm (6")

El refrentador de cilindros de concreto simplifican el proceso de refrentado, asegurando las superficies planas y ángulos rectos con respecto al eje del cilindro, cumplen con las Normas de Ensayo (ASTM C-617, AASHTO T-231).

e) Moldes cilíndricos de plástico:

Los moldes cilíndricos de plástico se utilizan para formar cilindros de concreto estándar de 6"x12" para los ensayos de compresión. Los moldes están fabricados en una sola pieza de polipropileno y cumplen con todos los requisitos establecidos por las normas ASTM y AASHTO (ASTM C-39, C-192, C-470; AASHTO M-205.).

f) Cono de Asentamiento de Abrams, Placa Base y varilla compactadora:

Todos estos equipos en su conjunto han sido creados para determinar el asentamiento cuando se hace el diseño de mezclas, esto con el fin de determinar si la mezcla es trabajable o no para su transporte y colocación en obra, también estos cumplen con los requisitos implantados por la Norma ASTM Y AASHTO (ASTM C-143, C-192; AASHTO T-23, T-119, T-126).

g) Cono de absorción de arena y pisón:

El cono de Absorción de arena y Pisón se utilizan para verificar la humedad superficial de la arena mediante la cohesión de partículas y cumplen con las Normas de Ensayo (ASTM C-128: AASHTO T-84).

h) Máquina de abrasión de los Ángeles

Esta máquina está diseñada de acuerdo con las especificaciones ASTM C-131, C-535; AASHTO T-96. Este ensayo cubre el procedimiento de ensayo para rocas trituradas escorias y grava triturada en lo referente a su resistencia al desgaste utilizando esta máquina de abrasión de los Ángeles con una carga abrasiva, puede utilizarse asimismo para determinar los límites de abrasión.

i) Tamizador

El tamizador tiene función de realizar el movimiento vertical mediante las varillas provistas de resortes, realiza una acción de sacudida de manera distribuida en cada cambio de dirección debido a que los soportes el tamiz se mueve de un lado a otro. Esta acción de sacudida y distribución permite una separación apropiada de todos los materiales que se mueven rápidamente a través de las mallas del tamiz, reduciendo considerablemente el tiempo del ensayo.

j) Los Tamices

Estos realizan la separación granulométrica tanto del agregado fino como del agregado grueso, seleccionando los granos en diferentes diámetros en cada uno de los tamices para su respectiva clasificación. Asegura un flujo suave e interrumpido de los materiales a través del tamiz. Están diseñadas según la norma ASTM E-11.

k) Balanza electrónica de precisión estándar

Esta especialmente adecuada para el pesado en gramos únicamente de muestras.

l) Balanza electrónica de precisión especiales

Para aplicaciones de pesados que requieran una alta precisión con capacidad de hasta 30 kg. Esta balanza está incorporada con una plataforma de gran tamaño de acero inoxidable para aplicaciones de pesado de materiales voluminosos.

m) Bandejas y recipientes de mezclado

Sirven para almacenar, pesar o saturar muestras.

n) Mazo de goma

Esta herramienta es para ser utilizado en la preparación de probetas de concreto, ya que permite mediante golpes eliminar la mayor cantidad de vacíos en la muestra.

o) Prensa para romper probetas

Esta prensa nos determina la resistencia final del concreto obtenida a través del diseño de mezcla.

3.1.4 Otros recursos

En la elaboración del presente trabajo de investigación se utilizaron, además, los siguientes materiales y equipos de gabinete:

a) Material bibliográfico: Libros de especialidad referente al tema y contemplado en el Marco Teórico.

b) Material de escritorio: CD-R, CD-RW, USB, tinta para impresora, lapiceros, lápices, papel A-4, etc.

c) Software de Cómputo: Microsoft Office (Word, Excel, Visio y Power Point).

Internet: En la Red se encontró información actualizada.

Hardware : Computadora Intel Core i3

Impresora : Epson L110 series.

Fotocopiadora: kyosera.

3.2. Metodología

3.2.1. Universo, muestra población

3.2.1.1. Universo.

El estudio realizado, basado en la Norma ITINTEC, el cual nos delimita que nuestro Universo, está definido por la totalidad de probetas; es decir: $U=312$ probetas

3.2.1.2 Población.

La población tiene que ver con el tamaño del universo y como éste es homogéneo y pequeño, entonces la población = 104 probetas.

3.2.1.3 Muestra.

La muestra por el proceso que se ha realizado, se estableció en 104 probetas.

3.2.2. Sistema de variables

3.2.2.1 Variable independiente

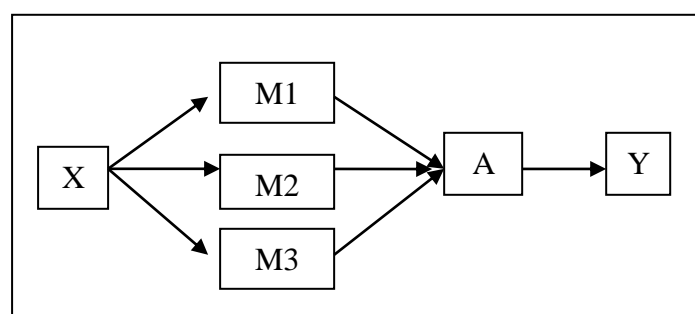
Calidad de los agregados de los ríos Parapapura y Marañón.

3.2.2.2 Variable dependiente

Diseño de morteros resistentes y concretos de 210kg/cm^2 y 280kg/cm^2 .

3.2.3 Diseño experimental de la investigación

Considerando las expresiones de las variables en estudio, se considera el siguiente esquema de investigación:



X= Necesidad de obtener morteros resistentes y concretos de 210kg/cm^2 y 280kg/cm^2 .

M₁= Obtención de los materiales, recursos y equipos para la elaboración de los concretos de resistencias especificadas.

M₂= Elaboración de los estudios y ensayos de laboratorio previo a la preparación de los diseños de morteros resistentes y concretos.

M₃= Diseño de morteros resistentes y concretos de 210kg/cm^2 y 280kg/cm^2 .

A = Procesamiento de los datos obtenidos y evaluación de los diseños morteros resistentes y concretos

Y = Obtención de morteros resistentes y concretos de 210kg/cm² y 280kg/cm² con agregados de los ríos Parapapura y Marañón.

3.2.4 Diseño de instrumentos

Se presentan todos los métodos y procedimientos a utilizar en el desarrollo de la presente investigación, empezando en primer lugar con la adquisición de los agregados (grueso y fino), para cuantificar y evaluar las características físicas y propiedades en el laboratorio, luego con los datos obtenidos aplicar el método de dosificación de concreto y posteriormente para evaluar la calidad del concreto en estado fresco y endurecido.

A continuación, se describe cada uno de estos métodos

3.2.4.1 Descripción de ensayos de los agregados.

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 Martín (UNSM), y se basó en el procedimiento que establece la norma ASTM C 33 y las Normas Técnicas Peruanas (NTP) correspondientes

a) Peso específico 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.

Aparatos:

Balanza con sensibilidad de 0.1 gramos o menos y con capacidad de 1 Kg a más.

Frasco volumétrico de 500 cm³ de capacidad, calibrado hasta 0.10 cm³ a 20°C.

Molde cónico metálico de 40 mm de diámetro en la parte superior, 90 mm de diámetro en la parte inferior, y 75 mm de altura.

Barra compactadora de metal de 340 gramos \pm 15gramos de peso con un extremo de superficie plana circular de 25 mm \pm 3 mm de diámetro.

Estufa capaz de mantener una temperatura de $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$.

Termómetro con aproximación de 0.5°C .

a.1) Preparación de la muestra:

Se coloca aproximadamente 1000 gramos del agregado fino, obtenido del agregado que se desea ensayar por el método del cuarteo, en un envase adecuado. Después de secarlo a peso constante a una temperatura de 100°C a 110°C . Se cubre la muestra con agua y se deja en reposo durante 24 horas.

Se extiende sobre una superficie plana expuesta a una corriente suave de aire tibio y se remueve con frecuencia para garantizar un secado uniforme. Se continúa esta operación hasta que los granos del agregado fino no se adhieran marcadamente ente sí. Luego se coloca el agregado fino en forma suelta en un molde cónico, se golpea 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 sigue secando, revolviendo constantemente y se prueba 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.

a.2) Procedimiento:

Se introduce de inmediato el frasco una muestra de 500 gramos del material en condición saturado superficialmente seco, se llena de agua hasta alcanzar casi la marca de 500 cm^3 . A una temperatura de $23^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$. Luego se hace rodar el frasco sobre una superficie plana para eliminar todas las burbujas de aire, después del cual se coloca en un baño a temperatura constante de $23^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$.

Después de aproximadamente 1 hora se llena con agua hasta la marca de 500 cm^3 , y se determina el peso total del agua introducida en el frasco con aproximación de 0.10 gramos. Se saca el agregado fino del frasco se seca hasta peso constante a una temperatura de 100°C a 110°C , se enfría a temperatura ambiente en un secador durante media hora a una hora y media, y se pesa.

a.3) Expresión de resultados:**Peso Específico de Masa:**

$$Pe = W_o / (V - V_a) \dots\dots\dots (9)$$

En donde:

Pe = Peso Específico de Masa.

W_o = Peso en el aire de la muestra secada al horno, expresada en gramos.

V = Volumen del frasco en centímetros cúbicos.

V_a = Peso en gramos o Volumen en cm³ del agua añadida al frasco.

Peso Específico Aparente:

$$Pe,a = W_o / (V - V_a) - (500 - W_o) \dots\dots\dots (10)$$

Pe,a = Peso Específico Aparente.

Peso Específico de Masa Saturado con Superficie Seca:

$$Pe,s = 500 / (V - V_a) \dots\dots\dots (11)$$

Pe,s = Peso Específico de masa del material saturado superficialmente seco

Absorción:

$$Ab = (500 - W_o) / (W_o) * 100 \dots\dots\dots (12)$$

Ab = Porcentaje de Absorción

Precisión de los resultados:

Determinaciones por partida doble no deben diferir en ± 0.01 en el caso del peso específico y ± 0.1 en el caso del porcentaje de absorción; de no cumplirse esta condición los ensayos deberán realizarse nuevamente.

b) Peso Específico 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.

Aparatos:

Balanza con una capacidad de 5 Kg. O más y con sensibilidad de 0.5 gr. O menos.

Cesta de malla de alambre, con abertura correspondiente al tamiz 3 mm (N° 6), o menor, o un recipiente de aproximadamente igual ancho y altura con capacidad de 4000 cm³ a 7000 cm³.

Envase 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.

Termómetro, con aproximación de 0.5°C.

b.1) Muestra de ensayo:

Se seleccionará por el método del cuarteo, aproximadamente 5 Kg del agregado que se desea ensayar, rechazando todo material que pase el tamiz 4.75 mm. (N°4).

b.2) Procedimiento:

Después de un lavado completo para eliminar el polvo u otras impurezas superficiales de las partículas, se seca la muestra hasta peso constante a una temperatura de 100°C a 110°C y luego se sumerge en agua por un periodo de 24 horas ±4 horas.

Se saca la muestra del agua y se hace rodar sobre un paño grande absorbente, hasta hacer desaparecer toda película de agua visible, aunque la superficie de las partículas aún aparezca húmeda. Se secan separadamente los fragmentos más grandes. Se tiene cuidado en evitar la evaporación durante la operación de secado de la superficie. Se obtiene el peso de la muestra bajo la condición saturada superficialmente seco. Se determina éste y todos los demás pesos con aproximación de 0.5 gramos.

Después de pesar en condición SSS (Saturado Superficialmente Seco), se coloca de inmediato la muestra saturada con superficie seca en la cesta de alambre y se determina su peso sumergido en agua a temperatura de 23°C a ± 2 °C.

Se seca la muestra hasta peso constante, a una temperatura de 100°C a 110°C y se deja enfriar hasta temperatura ambiente, durante 1 hora a 3 horas y se pesa.

Expresión de los Resultados:

Peso Específico de Masa:

$$Pe = A / (B - C) \dots \dots \dots (13)$$

En donde:

Pe= Peso Específico de Masa.

A = Peso en el aire en gramos, de la muestra secada al horno.

B = Peso en el aire en gramos, de la muestra saturada con superficie seca.

C = Peso en gramos, de la muestra sumergida en agua.

Peso Específico Aparente:

$$Pe,a= A / (A - C) \dots\dots\dots (14)$$

Peso Específico de Masa saturada con superficie seca:

$$P_{sss}=B / (B - C) \dots\dots\dots (15)$$

Absorción:

$$Abs. = [(B - A) / A] * 100 \dots\dots\dots (16)$$

Precisión de Resultados: Determinaciones por partida doble no deben diferir en ± 0.01 en el caso del peso específico y ± 0.1 en el caso del porcentaje de absorción; de no cumplirse esta condición los ensayos deberán realizarse nuevamente.

c) Análisis Granulométrico del Agregado Fino y Grueso (NTP 400.012)

Esta norma técnica peruana establece el método para la determinación de la distribución por tamaños de partículas del agregado fino y agregado grueso por tamizado.

Aparatos:

Balanzas: Las balanzas utilizadas en el ensayo del agregado fino y agregado grueso deberán tener la siguiente exactitud y aproximación.

Para agregado fino, con aproximación de 0.1 gr. y exacta a 0.1 gr. ó 0.1% de la masa de la muestra, cualquiera que sea mayor, dentro del rango de uso.

Para el agregado grueso, con aproximación y exacta a 0.5 gr. ó 0.01% de la masa de la muestra, cualquiera que sea mayor, dentro del rango de uso.

Tamices: Los tamices serán montados sobre armaduras construidas de manera que se prevea pérdida de material durante el tamizado. Los tamices cumplirán con la NTP 350.001.

Agitador Mecánico de Tamices: Un agitador mecánico impartirá 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. El tiempo de tamizado se recomienda en 10 minutos.

Horno: Un horno de medidas apropiadas capaz de mantener una temperatura uniforme de $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$.

c.1) Muestreo:

Tomar muestra de agregado de acuerdo a la NTP 400.010. El tamaño de la muestra de campo deberá 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.

Agregado fino: La cantidad de la muestra de ensayo, luego de secado será de 300 gramos mínimo.

Agregado grueso: La cantidad de muestra de ensayo de agregado grueso será conforme a lo indicado en la siguiente tabla.

Tabla 2

Cantidad mínima de muestra de ensayo para agregado grueso

Tamaño max. nominal mm (pulgadas)	Cantidad de la muestra de ensayo mínimo
9.5 (3/8)	1
12.5 (1/2)	2
19 (3/4)	5
25 (1)	10
37.5 (1 ½)	15
50 (2)	20
63 (2 ½)	35

Fuente: Tesis de José Luis Gonzales García

c.2) Procedimiento:

Secar la muestra a peso constante a una temperatura de $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$. Se seleccionan tamaños adecuados de tamices para proporcionar la información requerida por las especificaciones que cubran el material al ser ensayado. El uso de tamices adicionales puede ser necesario para obtener otra información, tal que como el módulo de finura o para regular la cantidad de material sobre un tamiz. Encajar los tamices en orden de abertura decreciente desde la tapa hasta el fondo y colocar la muestra sobre el tamiz superior. Agitar los tamices manualmente o por medio de un aparato mecánico por un periodo suficiente aproximadamente 10 minutos. Limitar 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. Para tamices con aberturas menores que 4.75 mm. La cantidad retenida sobre alguna malla al completar el tamizado no excederá a $7\text{kg}/\text{cm}^2$ de área superficial de tamizado. Para tamices con abertura de 4.75 mm. y mayores, la cantidad requerida en Kg no deberá sobrepasar el producto de $2.5 \times$ (abertura del tamiz en mm. \times (área efectiva del tamizado, m^2)).

c.3) Cálculo:

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 1/2), y mayores; incrementando en la proporción 2 a 1.

c.4) Reporte:

Dependiendo de las especificaciones para el uso del material, 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, al 0.01.

d) Peso unitario del agregado (NTP 400.017)

Este método de ensayo cubre la determinación de peso unitario suelto o compactado y el cálculo de vacíos en el agregado fino, grueso, basados en la misma determinación. Este método se aplica a agregados de tamaño máximo nominal de 150 mm.

Aparatos:

Balanza: Una balanza con aproximación a 0.05 Kg, y que permita leer con una exactitud de 0.1% del peso de la muestra.

Barra Compactadora: Recta, de acero liso de 16 mm. (5/8) de diámetro y aproximadamente 60 cm. de longitud y terminada en punta semiesférica.

Recipientes de Medida: Cilíndricos, metálicos, preferiblemente con asas, estancos con tapas y fondo firme y parejo, con precisión en sus dimensiones interiores y suficientemente rígidas para mantener su forma en condiciones severas de uso. Los recipientes tendrán una altura aproximadamente igual al diámetro, pero en ningún caso la altura será menor del 80% ni mayor del 150% del diámetro.

Pala de Mano: Una pala o cucharón de suficiente capacidad para llenar el recipiente con el agregado.

Equipo de Calibración: Una plancha de vidrio de por lo menos 6 mm. (1/4") de espesor y 25 mm. (1") mayor del diámetro del recipiente a calibrar.

Secar el agregado a peso constante en un horno preferiblemente a $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$.

d.1) Selección del procedimiento:

El procedimiento para la determinación del peso unitario suelto se usará sólo cuando sea indicado específicamente.

De otro modo, el peso unitario compactado será determinado por el procedimiento de apisonado para agregados que tengan un tamaño máximo nominal de 37,5 mm (1 ½) o menos.

d.2) Procedimiento:

Peso unitario seco compactado:

Se llena la tercera parte del recipiente de medida y se nivela la superficie con la mano. Se apisona la capa con la barra compactadora, mediante 25 golpes distribuidos uniformemente sobre la superficie. Se llena hasta las dos terceras partes de la medida y nuevamente se compacta con 25 golpes como antes. Finalmente, se llena la medida hasta rebosar, golpeándola 25 veces con la barra compactadora; el agregado sobrante se elimina utilizando la barra compactadora como regla.

Al compactar la primera capa, se procura que la barra no golpee el fondo con fuerza. Al compactar las dos últimas capas, sólo se emplea la fuerza suficiente para que la barra compactadora penetre la última capa de agregado colocada en el recipiente. Se determina el peso del recipiente de medida más su contenido y el peso del recipiente sólo y se registra los pesos con una aproximación de 0.5 Kg.

Peso unitario seco suelto:

El recipiente de medida se llena con una pala o cuchara hasta rebosar, descargando el agregado desde una altura no mayor de (2") por encima de la parte superior del recipiente. El agregado sobrante se elimina con una regla. Se determina el peso del recipiente de medida más su contenido y el peso del recipiente y se registran los pesos con una aproximación de 0.05 Kg.

d.3) Cálculos:

Peso unitario. - El cálculo del peso unitario compactado o suelto, es como sigue:

$$M = (G - T) / V \dots \dots \dots (17)$$

$$M = (G - T) * F \dots \dots \dots (18)$$

Dónde:

M = Peso unitario del agregado en Kg/m³.

G = Peso del recipiente de medida más el agregado en Kg.

T = Peso del recipiente de medida en Kg.

V = Volumen de la medida en m^3 .

F = Factor de la medida en m^{-3} .

El peso unitario determinado por éste método de ensayo es para agregados en la condición seco. Si se desea calcular el peso unitario en la condición saturado con superficie seca (sss), se utiliza la siguiente expresión:

$$M_{sss} = M[1 + (A/100)] \dots \dots \dots (19)$$

Dónde:

M_{sss} = Peso unitario en la condición saturado superficialmente seco, en kg/m^3 .

A = Porcentaje de absorción del agregado determinado de acuerdo con la norma NTP 400.021 o NTP 400.022.

d.4) Contenido de vacíos:

$$\% \text{ Vacíos} = 100[(S * W) - M] / (S * W) \dots \dots \dots (20)$$

Dónde:

M = Peso unitario del agregado en Kg/m^3 .

S = Peso específico de masa (base seca).

W = Densidad del agua, $998 \text{ Kg}/m^3$.

d.5) Precisión agregado grueso (peso unitario):

Para un solo operador la desviación típica ha sido establecida en $14 \text{ kg}/m^3$. Luego los resultados de dos ensayos realizados por un solo operador con el mismo material no diferirán en más de $80 \text{ Kg}/m^3$.

Estos índices de precisión, desviación típica, han sido establecidos para peso normal y de tamaño máximo nominal de (1”), utilizando un recipiente de medida de $\frac{1}{2} \text{ pie}^3$ de capacidad.

d.6) Precisión agregado fino (peso unitario):

Precisión para un solo operador la desviación típica ha sido establecida en $14 \text{ Kg}/m^3$. Luego el resultado de dos ensayos realizados por un solo operador con un mismo material no diferirá en más de $40 \text{ Kg}/m^3$.

Estos índices de precisión y desviación típica han sido establecidos para peso unitario suelto, utilizando un recipiente de medida de $1/10 \text{ pie}^3$ de capacidad.

Tabla 3Capacidad de *medida*

TMN del agregado		Capacidad de la medida	
Mm	Pulg.	L(m ³)	P ³
12.5	1/2	2.8(0.0028)	1/10
25	1	9.3(0.0093)	1/3
37	1 1/2	14(0.014)	½
75	3	28(0.028)	1
112	4 1/2	70(0.070)	2 1/2
150	6	100(0.100)	3 1/2

Fuente: Tesis de José Luis Gonzales García.

Tabla 4*Requisitos para los recipientes de medida.*

Espesor mínimo del metal			
Capacidad de Medida	Fondo	Sobre 1 ½” de Pared	Espesor adicional
Menos de 0.4 pie ³	0.2 pulg	0.10 pulg	0.10 pulg
De 0.4 p ³ a 1.5 p ³ , incluido	0.2 pulg	0.20 pulg	0.12 pulg
Sobre 1.5 p ³ a 2.8p ³ , incluido	0.4 pulg	0.25 pulg	0.15 pulg
Sobre 2.8 p ³ a 4 p ³ , incluido	0.5 pulg	0.30 pulg	0.20 pulg
Menos de 11 L, incluido	5 mm	2.5 mm	2.5 mm
Sobre 2.8 p ³ a 4 p ³ , incluido	10 mm	6.4 mm	3.8 mm
Sobre 2.8 p ³ a 4 p ³ , incluido	13 mm	7.6 mm	5 mm

Fuente: Tesis de José Luis Gonzales García.

Tabla 5*Densidad del agua*

Temperatura		Kg/m ³	Lb/pie ³
C	F		
15.6	60	999.01	62.366
18.3	65	998.54	62.336
21.1	70	997.97	62.301
23	73.4	997.54	62.274
23.9	75	997.32	62.261
26.7	80	996.59	62.216
29.4	85	995.83	62.166

Fuente: Tesis de José Luis Gonzales García.

e) 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.

Aparatos:

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 $110 \pm 5^\circ \text{C}$.

e.1) 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 N° 06.

Tabla 6

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 1/2" o mayor)	5000

Fuente: Tesis de José Luis Gonzales García.

e.2) Procedimiento:

Séquese la muestra de ensayo, hasta peso constante, a una temperatura que no exceda los $110 \pm 5^\circ \text{C}$. 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 salga 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 $110 \pm 5^\circ\text{C}$ 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.

e.3) Cálculos:

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

$$A = [(B - C) / B] * 100 \dots \dots \dots (21)$$

Siendo:

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.

f.) 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 1×10^{-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.

f.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.

f.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.

g) 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.

h) 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.

h.1) Ataque ion sulfato

El ión sulfato aparece en mayor o menor proporción en todas las aguas libres subterráneas. El contenido de ión 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

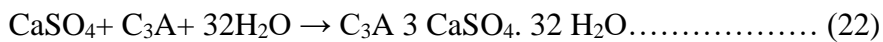
El ataque del sulfato se manifiesta con una exudación de apariencia blanquecina y agrietamiento progresivo que reduce al concreto a un estado quebradizo y hasta suave.

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 (alminato tricálcico, aluminato tetra cálcico, silicato bicalcico 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 ($C_3A \cdot 3 CaSO_4$) 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.



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.

h.2) Soluciones Necesarias

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 ($\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$), 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.

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 ($\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$), 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.

h.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 7

Peso mínimo requerido de agregado fino.

Tamaño		Peso mínimo requerido (g)
Pasa	Retiene	
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
< N° 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 8

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"	N° 4	300±5

Fuente: EG 2013 – MTC

h.4) Preparación de las muestras

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.

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. $\pm 2\%$. La muestra será bien lavada y secada antes del ensayo.

h.5) Procedimiento de ensayo

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 $21 \pm 1^\circ\text{C}$ ($70 \pm 2^\circ\text{F}$), durante todo el tiempo de inmersión.

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 $110 \pm 5^\circ\text{C}$ ($230 \pm 9^\circ\text{F}$).

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 Bórico (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 $110 \pm 5^\circ\text{C}$ ($230 \pm 9^\circ\text{F}$), 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.

i) Ensayo químicos en agua (NTP 339.034)

Los ensayos químicos en agua realizados en el presente trabajo de tesis, han sido elaborados siguiendo las recomendaciones y lineamientos de la Norma Técnica 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 una 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 una 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 9

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 (NaHCO ₃)	1,000 ppm Máximo
Sulfatos (ión SO ₄)	600 ppm Máximo
Cloruros (ión Cl ⁻)	1,000 ppm Máximo
pH	5 a 8 Máximo

Fuente: Norma NTP 339.088

i.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 ión cloruro está presente se formará un precipitado de color rojizo, anotar el consumo.

El cálculo se hará de la siguiente manera:

$$\frac{V_{AgNO_3} \cdot N \cdot f \cdot 1000}{Vol\ muestra} \dots\dots\dots(23)$$

i.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 dihidratado 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:

$$\frac{VBa\ So4 * N * f * 1000}{Vol\ muestra} \dots\dots\dots (24)$$

3.2.4.2 Metodología para el diseño de mezclas

3.2.4.2.1 Secuencia de diseño (ACI 211)

Los siguientes pasos se consideran fundamentales en el proceso de selección de las proporciones de mezcla para alcanzar las propiedades deseadas en el concreto. Ellos deben efectuarse independientemente del procedimiento de diseño seleccionado.

- 1.- Estudiar cuidadosamente los requisitos indicados en los planos y en las especificaciones de obra.
- 2.- Seleccionar la resistencia promedio requerida para obtener en obra la resistencia de diseño especificada por el proyectista. En esta etapa se deberá tener en cuenta la desviación estándar y el coeficiente de variación de la compañía constructora, así como el grado de control que se ha de ejercer en obra.
- 3.- Seleccionar, en función de las características del elemento estructural y del sistema de colocación del concreto, el tamaño máximo nominal del agregado grueso.
- 4.- Elegir la consistencia de la mezcla y expresarla en función del asentamiento de la misma. Se tendrá en consideración, entre otros factores la trabajabilidad deseada, las características de los elementos estructurales y las facilidades de colocación y compactación del concreto.
- 5.- Determinar el volumen de agua de mezclado por unidad de volumen de concreto, considerando el tamaño máximo nominal del agregado grueso, la consistencia deseada y la presencia de aire, incorporado o atrapado, en la mezcla.

6.- Seleccionar la relación agua/cemento requerida para obtener la resistencia deseada en el elemento estructural. Se tendrá en consideración la resistencia promedio seleccionada y la presencia o ausencia de aire incorporado.

7.- Determinar el factor cemento por unidad cúbica de concreto, en función del volumen unitario de agua y de la relación agua cemento seleccionada.

8.- Determinar las proporciones relativas de los agregados fino y grueso. La selección de la cantidad de cada uno de ellos en la unidad cúbica de concreto está condicionada al procedimiento de diseño seleccionado.

9.- Determinar, empleando el método de diseño seleccionado, las proporciones de la mezcla, considerando que el agregado está en estado seco y que el volumen unitario de agua no ha sido corregido por humedad del agregado.

10.-Corregir dichas proporciones en función del porcentaje de absorción y el contenido de humedad de los agregados fino y grueso.

11.-Ajustar las proporciones seleccionadas de acuerdo a los resultados de los ensayos de la mezcla realizados en el laboratorio.

12.-Ajustar las proporciones finales de acuerdo a los resultados de los ensayos realizados bajo condiciones de obra.

3.2.4.2.2 Diseño y dosificación de mezclas de concreto:

El diseño de mezclas tiene como propósito transmitir al concreto en estado fresco y endurecido de ciertas propiedades mínimas requeridas de acuerdo al tipo de obra, a la función que va a desempeñar la estructura y las condiciones climáticas del lugar, todo esto producido con la mayor economía posible, por lo tanto el diseño está relacionado a la forma en que nosotros asumamos las propiedades que consideremos más importantes que debe cumplir y que son obtenidas mediante cambios en las proporciones de los componentes del concreto. Este método de dosificación utiliza estos cambios en las proporciones, de tal manera que podamos comprobar, con qué relación agua/ cemento y con qué módulo de finura obtenemos las mejores propiedades para el concreto, que estos materiales nos puedan brindar

a) Selección de las proporciones:

Las proporciones estará en concordancia con el Método del ACI para concretos de resistencia media con agregados del rio Huallaga y Parapapura.

b) Procedimiento de diseño:

1) Elección del Asentamiento:

Se desea obtener un asentamiento de 3" a 4", que cumpla la consistencia plástica.

2) Determinación del Tamaño Máximo Nominal (TMN) del agregado grueso:

Se obtuvo del análisis granulométrico del agregado grueso $TMN = 1/2"$.

3) Estimación del Volumen Unitario de Agua y el Contenido de Aire:

Está comprobado experimentalmente que la cantidad de agua para concreto está en función al Tamaño Máximo Nominal (TMN) del agregado grueso y del grado de fluidez que queramos que tenga nuestro concreto medido en términos de su consistencia (Slump).

La selección del volumen unitario de agua se refiere a la determinación de la cantidad de agua que se debe incorporar a la mezcladora, por unidad cubica de concreto, para obtener una consistencia determinada cuando el agregado está en estado seco.

Para la determinación del volumen unitario de agua base, utilizaremos como punto de partida la Tabla 10, cuya fuente es: Proportioning Ready Mixed Concrete (Delmar L. Bloem and Stanton Walker).

Tabla 10

Volumen unitario de agua

Tamaño máximo nominal del agregado grueso (Pulg)	Volumen unitario de agua expresado en Lt/m^3 para los asentamientos y perfiles de agregado grueso indicado								
	1" a 2"		3" a 4"			6" a 7"			
	Agregado Redondeado	Agregado Angular	Agregado Redondeado	Agregado Angular	Agregado Redondeado	Agregado Angular	Agregado Redondeado	Agregado Angular	
3/8"	183	213	203	228	232		252		
1/2"	183	203	198	218	223		242		
3/4"	173	193	188	208	208		228		
1"	163	183	178	198	198		218		
1 1/2"	158	173	173	188	188		208		
2"	148	163	163	178	178		198		
3"	138	153	153	168	163		183		

Fuente: Rafael Cachay Huamán. Diseño de Mezclas.

4) Selección de la relación agua/cemento:

La selección de la relación agua/cemento está en función de la resistencia a compresión a la que pretendemos llegar y de la durabilidad que deseemos adopte nuestro concreto, para esto existen tablas dadas por el comité 211 ACI, y otras instituciones más como el IMCYC, diseñadas con agregados que obedecen a características de otras latitudes. Pero para este caso como nuestro propósito no es obtener un $f'c$ especificado, sino determinar

que resistencias obtenemos haciendo variar la granulometría de nuestro agregado en función de su módulo de finura, se estableció a nuestro criterio las siguientes relaciones agua/cemento teniendo como punto de partida la tabla 11. Las relaciones agua/cemento de mostraremos a continuación, se refiere a la cantidad de agua que interviene en la mezcla cuando el agregado esta en condición saturado superficialmente seco, es decir que no toma ni aporta agua. La relación agua/cemento efectivo se refiere a la cantidad de agua de la mezcla cuando se obtiene en consideración la condición real de humedad del agregado.

Tabla 11

Relación agua/cemento por resistencia

f'cr (28 días)	Relación agua/cemento de diseño en peso	
	Concreto sin aire incorporado	Concreto con aire incorporado
150	0.80	0.71
200	0.70	0.61
250	0.62	0.53
300	0.55	0.46
350	0.48	0.40
400	0.43	-
450	0.38	-

Fuente: Comité 211 del ACI.

Esta tabla es una adaptación confeccionada por el comité 211 del ACI, la resistencia corresponde a resultados de ensayos de probetas cilíndricas estándares de 15 por 30 cm.

Tabla 12

Contenido de aire

Tamaño máximo nominal	Aire atrapado
3/8"	3.0%
1/2"	2.5%
3/4"	2.0%
1"	1.5%
1 1/2"	1.0%
2"	0.5%
3"	0.3%
6"	0.2%

Fuente: Comité 211 del ACI.

5) Cálculo de la cantidad de cemento en peso:

Conocidos el volumen unitario de agua por unidad de volumen de concreto y la relación agua/cemento seleccionada, se puede seleccionar el factor de cemento por unidad cubica de concreto mediante la división del volumen unitario de agua, expresado en litros por metro cúbico, entre la relación agua/cemento, obteniéndose el número de kilos de cemento por unidad cubica de concreto. Estará en función de la relación agua/cemento y la cantidad de agua ya definida:

$$\text{Cemento (Kg)} = \text{Peso del agua (Kg)} / \text{Relación a/c} \dots \dots \dots (25)$$

6) Estimación del volumen de agregado fino y grueso:

Para obtener el porcentaje de agregado fino y grueso realizaremos un estudio granulométrico de la mezcla de agregados, Las curvas mezcla que se encuentren en los límites granulométricos superior e inferior, de las cuales una será la curva base o posible mejor combinación y los otros dos restantes como alternativas, a efectos de poder determinar cómo varían las propiedades del concreto para diferentes proporciones fino/grueso.

Una vez establecidas la cantidad de agua, cemento, aire (pasta de cemento), calculamos por diferencia con la cantidad el volumen de agregado total por metro cúbico de concreto. Con esto determinamos los volúmenes absolutos de agregado fino y grueso y posteriormente dividiéndole entre su peso específico de masa (seco), obtenemos los pesos secos el agregado fino y grueso que intervendrían en la unidad cúbica de concreto.

Como los agregados no están en estado de saturado superficialmente seco, son corregidos por su humedad natural y absorción.

Luego de pesar los materiales y ponerlos dentro de la mezcladora, procedemos al mezclado, cuyo tiempo se establece en la norma que describiremos posteriormente (de acuerdo al tipo de mezcladora), luego del mezclado procedemos hacer el ensayo de asentamiento con el cono de Abrams y vemos si cumple con las características que deseamos (3" a 4" y un buen aspecto). En caso de no cumplir, entonces volvemos a diseñar la mezcla hasta lograr el deseado.

7) Cantidad de material por metro cúbico:

Una vez que se logró hallar las condiciones necesarias del diseño de mezcla, se procederá a cuantificar la cantidad de material que se necesita por metro cúbico para un determinado diseño. En nuestro caso hemos obtenido diferentes valores para cada una de las relaciones agua/cemento. Con esto tendremos un estimado de cuanto material necesitamos para lograr un metro cubico de concreto.

Estos valores son hallados tanto en el diseño en seco como el diseño en obra; en nuestro caso, como las propiedades de todos los elementos utilizados se encuentran con valores normales y casi invariables, solo es necesario poner atención al diseño en seco, ya que el diseño en obra puede variar por el procedimiento constructivo que se siga y por el grado de control que en ella e esté tomando en cuenta.

3.2.4.2.3 Ensayos para mezclas de concreto.

Para poder cuantificar la calidad del concreto es necesario desarrollar ensayos tanto en su estado fresco como endurecido, de tal manera que nos permita apreciar los cambios que sufren las propiedades del concreto cuando se modifican las proporciones de los materiales utilizados. Antes de describir el procedimiento de los ensayos que desarrollaremos, presentamos la metodología que se siguió para la toma de muestra del concreto fresco, y la elaboración y curado en el laboratorio de muestras de concreto para ensayos de laboratorio, establecidos por las NTP 334.036 y 339.033 respectivamente.

a) Elaboración y curado en el laboratorio de muestras de concreto para ensayos de laboratorio (NTP 339.033):

El objeto es establecer un procedimiento para la elaboración y curado de muestras de concreto en el laboratorio bajo estricto control de materiales y condiciones de ensayo, usando concreto compactado por apisonado o vibración como se describe en la presente norma.

a.1) Aparatos:

Moldes en general. Los moldes para la muestra y los sujetadores de dichos moldes deben ser de acero, hierro forjado o de otro material no absorbente y que no reaccione con el concreto utilizado en los ensayos. Deben estar conforme a las dimensiones y tolerancias especificadas en el método para la cual debe ensayarse.

Moldes cilíndricos reutilizables. Deben estar hechos de un metal de alta resistencia o de otro material rígido no absorbente. El plano transversal del cilindro debe ser perpendicular al eje del cilindro.

La tolerancia en la medida del diámetro exigido debe ser de ± 2.0 mm. ; y en la altura la tolerancia será de ± 6.0 mm.

Los moldes de 150 mm de diámetro por 300 mm de altura, como es el que usaremos en nuestro caso deben estar de acuerdo con las especificaciones ASTM – 470.

Varilla compactadora. Debe ser de acero estructural, cilíndrico y el extremo compactador debe ser semiesférica con radio igual al radio de la varilla según el diámetro y longitud, la varilla compactadora puede ser de dos tipos:

Varilla compactadora larga. De diámetro igual a (5/8”), y aproximadamente (24”) de longitud.

Varilla compactadora corta. De diámetro igual a (3/8”) y aproximadamente (12”) de longitud.

En este trabajo se utilizó la varilla compactadora larga.

Apisonador. Debe ser de caucho, que pese 0.57 ± 0.23 kg. (1.25 ± 0.5 lb).

Balanzas. Las balanzas para determinar el peso de las muestras deben tener una precisión de 0.30 %.

a.2) Muestras:

a.2.1 Muestras cilíndricas. Puede ser de varios tamaños, siendo el mínimo de 50.0 mm (2”) de diámetro por 100 mm (4”) de longitud.

Las muestras cilíndricas para los ensayos, exceptuando el flujo plástico bajo carga (creep), deben ser moldeadas con el eje del cilindro vertical y dejándolo en esta posición durante el fraguado.

Tamaño de la muestra de acuerdo con el tamaño del agregado. El diámetro de una muestra cilíndrica o la mínima dimensión de una sección transversal rectangular deben ser por lo menos tres veces mayor que el tamaño máximo del agregado grueso utilizado en la

elaboración de la mezcla. Partículas superiores al tamaño máximo deben ser retiradas de la mezcla, durante el moldeo.

Número de muestra. Para cada edad debe elaborarse tres o más muestras los especímenes de ensayo que tienen en cuenta el análisis de una variable, deben ser elaborados a partir de tres bachadas separadas, mezclas en días diferentes. En todas las bachadas debe elaborarse un número igual de especímenes.

Generalmente, los ensayos se hacen a edades de 7 a 28 días para compresión, a edades de 14 y 28 días para flexión

En el presente trabajo de Tesis se tomó as los 7, 14 y 28 días

a.3) Recomendaciones tomadas en cuenta para la preparación de los materiales:

a.3.1 Temperatura. Los materiales deben estar a una temperatura uniforme preferiblemente entre 20 a 25 °C antes de ser mezclados.

a.3.2 Cemento. El cemento debe almacenarse en recipientes impermeables (preferiblemente metálicos) y colocados en un lugar seco. Debe ser mezclado previamente para conseguir su uniformidad durante el ensayo, ser pasado por el tamiz (N° 20), para retirar cualquier grumo y ser mezclado de nuevo.

a.3.3 Agregados. Para evitar la segregación del agregado grueso, sepárese en fracciones de tamaño individual y recombínese luego, para cada bachada, con las proporciones necesarias para producir la gradación deseada. Cuando una fracción de tamaño está presente en cantidad superior al 10%, el cociente entre el tamaño del tamiz superior y el del inferior no debe exceder de 2.0%. Se aconseja aún más cercano de tamaño.

Aunque el agregado fino se separe en fracciones de tamaño individual manténgase en condición húmeda o devuélvase a su condición húmeda hasta que sea usado para prevenir la segregación.

Antes de incorporarse en el concreto, el agregado debe prepararse a una condición definida y uniforme de humedad.

a.4) Determinése el peso del agregado que va a ser usado en la bachada por uno de los siguientes procedimientos:

1.- Los agregados de baja absorción (absorción inferior al 1.0%) pueden ser pesados en un ambiente seco, teniendo en cuenta la cantidad de agua que será absorbida por el cemento.

Este procedimiento es particular útil para el agregado grueso, el cual debe ser reducido a fracciones de tamaños individuales, por peligro de segregación, este procedimiento puede ser usado en agregados finos únicamente cuando tal agregado se separa por tamaños individuales.

2.- Las fracciones de tamaños individuales pueden ser pesadas separadamente, recombinadas en un recipiente tarado en las cantidades requeridas para la bachada y sumergidas por 24 horas antes de su uso.

Después de la inmersión se deja decantar el exceso de agua y se determina el peso del agregado combinado junto con el agua de mezcla. Debe tenerse en cuenta el agua absorbida por el agregado.

3.- El agregado puede llevarse hasta y mantenerse en una condición saturada, con una humedad superficial suficiente para evitar pérdidas por secado, al menos 24 horas antes de su uso.

Cuando se utiliza este método, la humedad del agregado debe ser determinada para poder calcular las cantidades de agregado saturado que se va a utilizar. La humedad superficial debe considerarse como una parte del agua de mezcla. Este método descrito, es particularmente útil para agregados finos. Es menos usado para agregados gruesos, debido a la dificultad para encontrar con precisión la humedad, pero cuando es usado, cada fracción de tamaño individual debe manejarse separadamente para asegurar la obtención de una gradación apropiada.

4.- Los agregados finos y gruesos pueden ser llevados hasta y mantenerlos en una condición saturada, superficialmente seca, hasta que sean pesados para su uso.

Este método se usa principalmente para preparar material para bachadas que no excedan de 0.007 m^3 ($1/4 \text{ pie}^3$) en volumen. Debe tenerse mucho cuidado en evitar el secado durante su pesaje y uso.

Recomendaciones tomadas en cuenta para el procedimiento de mezclado:

Mezcla de concreto. La mezcla de concreto debe ser tal que deje un 10% de residuo después de haber moldeado la muestra de ensayo.

Mezcla con máquina. Antes que empiece la rotación de la mezcladora se debe introducir el agregado grueso con algo de agua que se use en la mezcla y la solución del aditivo. Se pone en funcionamiento la mezcladora, al cabo de unas cuantas revoluciones se adiciona el agregado fino, el cemento, microsílíce y el agua.

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

Se debe cubrir el extremo abierto de la mezcladora para evitar la evaporación durante la mezcla.

Debe restituirse todo mortero que se pierda por adhesión a la mezcladora para conservar las proporciones

El concreto se debe recibir en un recipiente limpio y seco para agitarlo con un badilejo o pala hasta hacerlo uniforme al concreto y evitar la segregación.

a.5) Vaciado del concreto:

Lugar del moldeo. Se deben moldear las muestras lo más cerca posible del lugar donde se van a guardar para su fraguado en las siguientes 24 horas. Los moldes se llevarán al depósito inmediatamente después de su elaboración. Colóquese los moldes sobre una superficie rígida y libre de vibraciones, evitando inclinaciones y movimientos bruscos. Transpórtese evitando sacudidas, golpes, inclinaciones o raspaduras de la superficie.

El concreto se debe colocar en los moldes utilizando un badilejo o herramienta similar. Se debe seleccionar el concreto de tal manera que la muestra sea representativa de la mezcla,

además, se debe mezclar continuamente la mezcla del concreto durante el llenado del molde con el objetivo de prevenir la segregación.

En la colocación de la capa final se debe intentar colocar una capa de concreto que complete exactamente el relleno del molde.

El número de capas para nuestro caso, que utilizamos muestras cilíndricas de 300 mm. Es de tres, y de 100 mm cada una, y el método de compactación será el de apisonado.

Compactación. Los métodos de compactación son: apisonado (por varillado) y vibración (externa e interna). Si el concreto tiene un asentamiento mayor de 3" debe usarse el método de apisonado o el de vibración, prefiriéndose el método usado en la ejecución de obra. Si el asentamiento es inferior a 1", debe usarse el método de vibración. No se debe usar vibración interna para cilindros con diámetro inferior a 100 mm.

Apisonado por varillado. Se coloca el concreto en el molde con el número de capas requeridas, que para nuestro caso son tres, aproximadamente del mismo volumen.

Se apisona cada capa con la parte redonda de la varilla, con 25 golpes cada capa, la capa inicial se apisona introduciendo la varilla hasta el fondo del molde. La distribución de golpes para cada capa debe ser uniforme sobre toda la sección transversal del molde.

Para cada capa superior a la inicial se debe atravesar aproximadamente en 12 mm (1/2") la capa anterior. En caso de dejar algunos huecos por la varilla se debe golpear ligeramente con el martillo de goma los lados del molde para cerrar dichos huecos.

Después de la compactación, se debe efectuar el acabado con las manipulaciones mínimas, de tal manera que la superficie quede plana y pareja al nivel del borde del cilindro o lado del molde, y no debe tener depresiones o protuberancias mayores de 3.2 mm (1/8").

Acabo en cilindro. Después de la compactación, se debe efectuar el acabado de la superficie por medio de golpes con la varilla apisonadora cuando la consistencia del concreto lo permita y con un badilejo o llana de madera. Si se desea, puede colocarse una capa de pasta de cemento sobre el espécimen a manera de frenado (capping). De acuerdo a la NTP 339.037.

a.6) Curado:

Cubrimiento después del acabado. Para evitar la evaporación de agua del concreto sin endurecer, los testigos deben ser cubiertos inmediatamente después del acabado, preferiblemente con una platina no reactiva con el concreto, o con una lámina de plástico dura e impermeable. Se permite el uso de lona húmeda para el cubrimiento de la muestra, pero se evitará el contacto directo de la muestra con la lona, la cual debe permanecer húmeda durante las 24 horas contadas a partir del acabado de la muestra.

Extracción de la muestra:

Las muestras deben ser removidas de sus moldes en un tiempo no menor de 20 horas ni mayor de 48 horas después de su elaboración cuando no se emplean aditivos; en caso contrario se podrá emplear tiempos diferentes.

Ambiente de curado:

Se deben mantener las muestras en condiciones de humedad con temperatura de 23.0 ± 2.0 C°, desde el momento del moldeo hasta el momento de ensayo. El almacenamiento durante las primeras 48 horas de curado debe hacerse en un medio libre de vibraciones.

Las condiciones de humedad deben lograrse por inmersión de la muestra sin el molde en agua.

Se permite lograr la condición de humedad por almacenamiento en cuarto húmedo. No se debe exponer los especímenes a condiciones de goteo o corrientes de agua. Deben evitarse que se sequen las paredes de la muestra luego del periodo de curado.

Nota: cómo podemos apreciar la determinación del $f'c$, implica realizar los ensayos bajo condiciones controladas que están definidas en las normas que acabamos de mencionar. Muchas veces existen tergiversaciones con respecto a estas condiciones controladas, por el desconocimiento de la base estadística de estos conceptos suponiéndose en ocasiones que el muestreo y la obtención de probetas con los métodos estandarizados, el curado a 100% de humedad y 21°C de temperatura constantes que fijan las normas, y el ensayo a cierta velocidad de carga con la preparación previa de las superficies de los testigos, tienden a “favorecer” los resultados pues no reflejan la “realidad”, de la obra, dándose ciertos casos en que se sigue el apartarse de estos procedimientos estandarizados en la idea de que “son mas representativos” del concreto in-situ.

Nada más alejado de lo correcto, pues si no se obtienen, curan y ensayan los testigos como se ha indicado, no tendrían significado probabilístico, ya que al no responder a una metodología científica carecería de validez estadística y lo único que se lograría es causar confusión y distorsión en la evaluación de estos parámetros.

b) Peso Unitario, rendimiento y contenido de aire del concreto (NTP 339.046).

El peso unitario se refiere al peso que tiene el concreto en un determinado volumen, puede también entenderse como el porcentaje de un determinado volumen del concreto que es material sólido.

La presente norma establece un procedimiento para determinar el peso del concreto fresco por m^3 , el volumen de concreto producido con una mezcla de cantidades conocida de los materiales componente, el rendimiento, o sea el volumen de concreto por unidad de volumen de cemento, el factor real de cemento y el contenido de aire del concreto gravimétricamente.

Aparatos:

Balanza con sensibilidad de 50 gr.

Barra compactadora, recta de acero, lisa de 16 mm de diámetro, de aproximadamente de 60 cm de longitud y punta semiesférica.

Recipiente, cilindro de metal a prueba de agua, preferiblemente con asa, maquinado interiormente o preparado mediante el rolado de planchas. El recipiente deberá ser reforzado alrededor de la parte superior con un aro de acero de 38 mm de ancho.

Según el tamaño máximo nominal del agregado grueso, los recipientes requeridos tendrán capacidades de 14 dm^3 ($1/2 \text{ pie}^3$), 28 dm^3 (1 pie^3) y estarán de acuerdo con lo indicado en la tabla 13.

Tabla 13

Requisitos dimensionales para las medidas cilíndricas

Capacidad P^3	Dm^3	Tamaño máximo nominal del agregado grueso
1/2	14	Hasta 2" inclusive
1	28	Mayor de 2"

Fuente: Tesis de José Luis Gonzales García

Calibración del recipiente:

El recipiente se calibra determinando con precisión, el peso de agua a 21°C que se requiere para llenarlo (nota: el factor para cualquier recipiente se obtiene dividiendo el peso unitario del agua a 21°C tomando como 1000 kg/m³ entre el peso del agua a la misma temperatura de 21°C que se requiere para llenar el recipiente).

Se puede obtener un llenado preciso del recipiente mediante el uso de una lámina de vidrio.

Llenado y compactación del recipiente:

El recipiente se llena hasta un tercio de su capacidad y la masa del concreto se compacta con 25 golpes cuando se use un recipiente de (1/2 pie³) y 50 golpes para un recipiente de (1 pie³), de la misma manera se llenan las dos capas restantes, cuidando que la última se llene con un ligero exceso.

Al compactar la primera capa, la barra no debe golpear el fondo del recipiente. Al compactar la segunda y tercera capa se aplica la fuerza necesaria para hacer que la barra penetre ligeramente en la superficie de la capa anterior. Los golpes de la compactación se distribuyen uniformemente sobre la sección.

Alisado, limpiado y pesado:

La superficie superior se alisa y termina con una placa de cubierta plana, teniendo mucho cuidado de dejar el recipiente lleno justo hasta su nivel superior. El material adherido en las paredes externas se limpia y luego el recipiente lleno se pesa con aproximación de 50 gr.

Resultados:

Peso por metro cúbico: se calcula el peso neto del concreto restando del peso bruto, el peso del recipiente, se calcula por metro cúbico, multiplicando el peso neto por el factor del recipiente usado.

Volumen: se calcula el volumen del concreto fresco producido en cada mezcla de la siguiente manera:

$$V_H = ((N * P_C) + P_{AF} + P_{AG} + P_A) / (P_U) \dots \dots \dots (26)$$

Donde:

V_H = volumen de concreto fresco producido por mezcla en m^3

N = Número de bolsas de cemento por mezcla

P_C = Peso neto de una bolsa de cemento en kg.

P_{AF} = Peso total del agregado fino de la mezcla en la condición en que se usa en kg.

P_{AG} = Peso total del agua de mezclado añadido a la mezcla en kg.

P_U = Peso unitario del concreto fresco en kg por m^3 .

Rendimiento:

Se calcula como sigue:

$$Y = V_H/N \dots\dots\dots (27)$$

Donde:

Y = Rendimiento del concreto fresco por bolsa de cemento en m^3

Rendimiento relativo:

El rendimiento relativo es la relación entre el volumen real de concreto obtenido y el volumen de diseño de mezcla. Se calcula como sigue:

$$Y_r = V_H/V_D \dots\dots\dots (28)$$

Donde:

Y_r = Rendimiento relativo.

V_D = volumen de diseño de mezcla de concreto en m^3 .

Factor de cemento:

Se calcula como sigue:

$$N_M = 1/Y \quad \text{ó} \quad N_M = N/V_H \dots\dots\dots (29)$$

Donde:

N_M = N° de bolsas de cemento por m^3 de concreto.

Contenido de aire:

Se calcula como sigue:

$$A = ((P_{UN} - P_U) / (P_{UN})) * 100 \dots\dots\dots (30)$$

$$A = ((V_H - V_T) / (V_H)) * 1000 \dots\dots\dots (31)$$

Donde:

A = Contenido total de aire (% de vacíos) en el concreto fresco.

P_{UN} = Peso unitario nominal del concreto fresco en kg/cm^3 calculado como si tuviera aire.

V_T = Suma de los volúmenes absolutos de cada componente de la mezcla en m^3 .

El peso unitario nominal por m^3 , es una determinación de laboratorio, cuyo valor se supone que permanece constante para todas las mezclas que se hacen, usando componentes y proporciones idénticas. Se calcula de la siguiente manera:

$$P_{UN} = (W_1) / (V_T) \dots \dots \dots (32)$$

Donde:

W_1 = Peso total de los ingredientes componentes de la mezcla

El volumen absoluto de cada ingrediente es igual al peso de dicho ingrediente dividido entre el producto de su peso específico multiplicado por la densidad del agua.

Para el cemento se puede usar el valor de 3.15 salvo que se determine el peso específico real por medio del método de ensayo para determinar el peso específico del cemento hidráulico de acuerdo a la norma INTINTEC correspondiente.

c) Medición o Estimación de la Consistencia (NTP 339.035):

Esta norma establece la determinación del asentamiento del concreto fresco tanto en el laboratorio como en el campo.

Este método se aplica para concretos plásticos con agregados hasta 1½" (37.5 mm.), si el agregado es mayor, el método es aplicable cuando el ensayo se realiza con la fracción del concreto que pasa la malla de 1½", removiendo los agregados mayores de acuerdo con la sección titulada.

Aparatos:

Molde. El molde está constituido de un metal no atacable por la pasta de cemento, con un espesor mínimo de 1.5 mm. Y su forma es la de un tronco de cono abierto a sus extremos. Las dos bases son paralelas entre sí: de 20 cm. de diámetro en la base inferior y 10 cm. de diámetro en la base superior formando un ángulo recto con el eje del cono. La altura del cono es de 30 cm. y será provisto de agarraderas de aleta de pie.

Barra compactadora. Una barra de acero lisa de 16 mm. (5/8") de diámetro, de aproximadamente 60 cm. y terminado en punta semiesférica.

La forma más usada y práctica de evaluar la consistencia se realiza de la siguiente manera:

Procedimiento:

Mediante el cono de Abrams. El cual consiste en llenar un recipiente troncocónico en tres capas de igual volumen, cada capa será chuseada con 25 golpes en forma concéntrica de afuera hacia dentro, mediante la varilla lisa. En la capa inferior es necesario inclinar un poco la barra y dar la mitad de los golpes cerca del perímetro, acercándose progresivamente en espiral hacia el centro de la sección. La capa inferior se compacta en todo su espesor. Las capas siguientes se compactan de igual modo procurando que la barra penetre ligeramente en la inmediata inferior.

El molde se llena por exceso antes de compactar la última capa. Si después de compactar hubiese una deficiencia de material, se añadirá la cantidad necesaria para mantener un exceso por encima del molde. Luego se procederá a enrasar utilizando una plancha de albañilería o la barra compactadora.

Una vez terminada la operación anterior, se levanta el molde cuidadosamente en dirección vertical. Inmediatamente después se mide el asentamiento determinado por la diferencia entre la altura del molde y la del centro de la cara superior del cono deformado. Esta operación se hará aproximadamente en 5 a 10 segundos evitándose los movimientos laterales o torsionales. La operación completa desde el principio de llenado hasta la remoción del molde se hará sin interrupción y en un tiempo no mayor de 2.5 minutos.

En caso de que se presente una falla por corte, donde hay una separación de una parte de masa, este ensayo será desechado y debe realizarse uno nuevo con otra parte de la muestra. Si esto ocurre dos veces consecutivas es una mezcla de concreto presumiblemente esta carece de plasticidad y cohesión necesaria para la validez de éste ensayo.

Expresión de resultados:

La consistencia del concreto se establece por el asentamiento el que está determinado por la diferencia entre la altura del molde y la altura del cono deformado, medida en el eje y expresada en centímetros o en pulgadas.

Luego levantamos el cono y procederemos a medir el asentamiento que ha experimentado el concreto con respecto a la altura del cono.

3.2.4.3 Instrumentos bibliográficos.

3.2.4.3.1 De lo relacionado a normas de concreto

Se hizo uso de los libros y revistas que traten del tema en forma generales y también de aquellos textos y revistas que tocan el tema en forma puntual, rigiéndose a las Normas establecidas.

Las Normas utilizados para el desarrollo de los ensayos son:

Análisis por tamices para la determinación de la granulometría de los agregados fino y grueso, de acuerdo a ASTM C 136 o NTP 400.012.

Material más fino que la malla N^a 200 en el agregado determinado por lavado, de acuerdo a ASTM C 117.

Impurezas orgánicas en el agregado fino, de acuerdo a ASTM C 40 o NTP 400.013.

Peso unitario y vacíos en el agregado, de acuerdo a ASTM C29 o C 29 M; NTP 400.017.

Peso específico y absorción en el agregado grueso de acuerdo a ASTM C 127 o NTP 400.021.

Peso específico y absorción del agregado fino de acuerdo a ASTM C 128 o NTP 400.022.

Terminología relacionada con los agregados, de acuerdo a ASTM C 125.

Especificación para tamices a ser empleados en ensayos, de acuerdo a ASTM D 2419.

Requisitos de los agregados NTP 400.037.

Toma de muestras de agregado NTP 400.010.

Agua para concreto-Requisitos NTP 339.088.

Método de ensayo para mediciones del asentamiento del concreto fresco con el cono de abrams.

Muestras de concreto a ser utilizadas en la preparación de probetas cilíndricas para el ensayo a compresión ITINTEC 339.036 ITINTEC 339.033.

Método de ensayo para la elaboración, curado y rotura de probetas cilíndricas de concreto, ASTM C 192 – ITINTEC 339.034.

3.2.4.3.2 De lo relacionado a las técnicas estadísticas.

a) diseño experimental

El diseño experimental es una técnica estadística que permite identificar y cuantificar las causas de un efecto dentro de un estudio experimental.

En un diseño experimental se manipulan deliberadamente una o más variables, vinculadas a las causas, para medir el efecto que tienen en otra variable de interés. El diseño experimental prescribe una serie de pautas relativas qué variables hay que manipular, de qué manera, cuántas veces hay que repetir el experimento y en qué orden para poder establecer con un grado de confianza predefinido la necesidad de una presunta relación de causa-efecto.

El diseño experimental encuentra aplicaciones en la industria, la agricultura, la mercadotecnia, la medicina, la ecología, las ciencias de la conducta, etc. constituyendo una fase esencial en el desarrollo de un estudio experimental

Es una prueba o un conjunto de pruebas durante el cual se realizan cambios sistemáticos y controlados a las variables de entrada para medir el efecto sobre la variable de salida óptima.

b) Principios básicos del diseño de experimentos

(1) Repetición. Viene a ser la reproducción o réplica del experimento básico (asignación de un tratamiento a una unidad experimental). Las principales razones por las cuales es deseable la repetición son: primero por que proporciona una estimación del error experimental, siendo tal estimación confiable a medida que aumenta el número de repeticiones, y segundo permite estimaciones más precisas del tratamiento en estudio.

(2) Aleatorización. Asignación al azar de tratamiento a las unidades experimentales.

Una suposición frecuente en los modelos estadísticos de un diseño de experimentos es que: las observaciones o los errores están distribuidos independientemente, la aleatorización hace válida esta suposición.

(3) Control Local. Cantidad de balanceo, bloqueo y agrupamiento de las unidades experimentales que se emplean en el diseño estadístico de un experimento

c) Conceptos básicos

(1) Experimento. Prueba o series de pruebas en las que se hacen cambios deliberados en las variables de entrada de un proceso (los factores que se estudian) o sistema para observar e identificar las razones de los cambios que pudieran observarse en la respuesta de salida.

(2) Unidad experimental. Unidad a la cual se le aplica un sólo tratamiento (que puede ser una combinación de muchos factores) en una reproducción del experimento.

(3) Error experimental. Describe la situación de no llegar a resultados idénticos con dos unidades experimentales tratadas de igual forma y refleja: (a) errores de experimentación, (b) errores de observación, (c) errores de medición, (d) variación del material experimental (esto es, entre unidades experimentales), (e) efectos combinados de factores extraños que pudieran incluir las características en estudio, pero respecto a los cuales no se ha llamado la atención en la investigación.

(4) Agrupamiento. Colocación de un conjunto de unidades experimentales homogéneas en grupos, de modo que los diferentes grupos puedan sujetarse a distintos tratamientos.

(5) Bloqueo. Distribución de las unidades experimentales en bloques, de manera que las unidades dentro de un bloque sean relativamente homogéneas, de esta manera, la mayor parte de la variación predecible entre las unidades queda confundida con el efecto de los bloques.

(6) Balanceo. Obtención de las unidades experimentales, el agrupamiento, el bloqueo y la asignación de los tratamientos a las unidades experimentales de manera que resulte una configuración balanceada.

(7) Tratamiento o combinación de tratamientos. Conjunto particular de condiciones experimentales que deben imponerse a una unidad experimental dentro de las condiciones del diseño seleccionado.

(8) Factor. Una variable independiente que tiene influencia sobre la respuesta de salida. Generalmente, se trabaja con más de una variable independiente y con los cambios que ocurren en la variable dependiente, cuando ocurren variaciones en una o más variables independientes.

(9) Confusión. Cuando los efectos de dos o más factores no se pueden separar.

3.2.4.3.3 Instrumentos de laboratorio.

Todos aquellos los que permitan realizar los estudios para la obtención de un concreto de alta resistencia (Ensayos de materiales)

Los equipos utilizados en el laboratorio para los ensayos son:

Juego de tamices.

Tamizador eléctrico.

Maquina Mezcladora de concreto 4.5 pie³.

Molde de compactación y varilla.

Cono de Abrams.

Prensa eléctrica.

Balanzas.

Estufa.

Equipo para el capeo de probetas.

Probetas y fiolas.

3.2.5 Procesamiento de información

3.2.5.1 Ensayos preliminares.

Antes de realizar el diseño de mezclas se procedió a realizar los ensayos preliminares (*ver anexo N° 01*) a los agregados (fino y grueso) con la finalidad de conocer las propiedades físicas y mecánicas de estos materiales a fin de determinar si cumplen con las especificaciones técnicas de las Normas Peruanas y de la ASTM.

3.2.5.1.1 Características físicas del agregado fino.

En la evaluación del agregado fino los procesos de ensayo se realizaron de acuerdo a las normas técnicas mencionas en el Marco Teórico, lográndose obtener los resultados que se muestran en el cuadro N° 01, a ello debo adicionar que los resultados que se muestran es un promedio aritmético de tres muestras analizadas:

Diámetro máximo nominal : 4.76

Módulo de finura : 2.70

Peso específico seco (gr/cc)	: 2.61
Absorción (%)	: 0.58
Humedad (%)	: 4.00
Peso unitario suelto (Kg/m ³)	: 1568.67
Peso unitario compactado (Kg/m ³)	: 1632.67
Contenido de Finos (%)	: 5.54

De todo esto sus detalles de análisis de laboratorio se encuentran consolidados en los anexos N° 01.01, N° 01.02.

3.2.5.1.2 Características físicas del agregado grueso.

De la misma manera se evaluó las características mediante ensayos del agregado grueso en los diferentes tamaños nominales (1/2", 3/8") de donde se obtuvo los resultados que se muestran en el cuadro N° 02 y N° 03 de los cuales los resultados que se muestran es un promedio aritmético de tres muestras analizadas.

Cuando se analizó tomando como base el tamaño máximo nominal de 3/8" de obtuvieron los siguientes resultados:

Diámetro máximo nominal	: 3/8"
Módulo de finura	: 0.00
Peso específico seco (gr/cc)	: 2.61
Absorción (%)	: 0.71
Humedad (%)	: 0.00
Peso unitario suelto (Kg/m ³)	: 1292.33
Peso unitario compactado (Kg/m ³)	: 1392.00

De la misma manera cuando se analizó tomando como base el tamaño máximo nominal de 1/2" de obtuvieron los siguientes resultados:

Diámetro máximo nominal	: 1/2"
Módulo de finura	: 0.00
Peso específico seco (gr/cc)	: 2.64
Absorción (%)	: 0.46
Humedad (%)	: 0.00
Peso unitario suelto (Kg/m ³)	: 1454.33
Peso unitario compactado (Kg/m ³)	: 1528.67

Estos resultados se lograron obtener a través de las combinaciones de los agregados tomadas como muestras, ya que estos por si solos no estaban dentro del huso granulométrico, por lo que se vio necesario realizar las combinaciones a fin de obtener un agregado óptimo para el diseño de mezclas en cada uno de los tamaños máximos. Estas combinaciones se realizaron de acuerdo al cuadro N° 04, donde se detalla que para obtener un agregado que cumpla con las condiciones que establece las normas que lo rigen se tuvo que combinar en un porcentaje de 17% de agregado de tamaño máximo nominal de 1/2" y un 38% de agregado de tamaño máximo nominal de 3/8", de los que se detallan líneas abajo los resultados finales:

Diámetro máximo nominal	: 1/2"
Módulo de finura	: 0.00
Peso específico seco (gr/cc)	: 2.62
Absorción (%)	: 0.66
Humedad (%)	: 0.00
Peso unitario suelto (Kg/m ³)	: 1319.87
Peso unitario compactado (Kg/m ³)	: 1415.23

Debo adicionar que todos los detalles de análisis de laboratorio que se hacen mención línea arriba se encuentran consolidados en los anexos N° 01.03.01, N° 01.03.02, N° 01.03.03, N° 01.04.01, N° 01.04.02 y N° 01.04.03.

3.2.5.1.3 Presencia de partículas chatas y alargadas.

Asimismo, se evaluó la presencia de agentes en el agregado grueso que puedan intervenir negativamente en la resistencia final del concreto; los resultados se muestran en el cuadro N° 05; los resultados finales de muestran líneas abajo:

Chatas y alargadas (%): 0.77

Cabe hacer mención que el resultado que se muestra el promedio aritmético de tres muestras analizadas y cuyo consolidado de los análisis de laboratorio de pueden visualizar en los anexos N° 01.05.

3.2.5.1.4 Presencia de partículas desmenuzables.

Se realizó el análisis de presencia de terrones de arcilla y partículas desmenuzables que pueda existir en el agregado grueso, cuyos resultados se pueden visualizar en el cuadro N° 06, el mismo que después de ser procesado se obtuvo un resultado final de: Terrones de Arcilla y Deleznables (%): 0.27. Cabe hacer mención que el resultado que se muestra el promedio aritmético de tres muestras analizadas y cuyo consolidado de los análisis de laboratorio de pueden visualizar en los anexos N° 01.06.

3.2.5.1.5 Análisis químico

De la misma manera con el ímpetu de lograr la meta se analizó los agentes químicos que puedan intervenir denegadamente en la obtención del objetivo, cuyos resultados se pueden verificar en los cuadros N° 07, N° 08 y N° 09, cuyos cálculos finales de pueden visualizar líneas abajo:

Contenido de p.p.m en Agregado fino.

Sales : 20

Sulfatos : 6.18

Cloruros : 8.96

Contenido de p.p.m en Agregado Grueso.

Sales : 22

Sulfatos : 7.42

Cloruros : 10.48

Contenido de p.p.m en Agua.

Sales : 53.1

Sulfatos : 14.3

Cloruros : 16.2

De la misma manera el resultado consolidado de los análisis de laboratorio de pueden visualizar en los anexos N° 01.07.

3.2.5.2 Diseño del concreto patrón.

Para este diseño se tomó como referencia de inicio la relación agua/cemento de la tabla N° 11, y después de varias tandas de prueba se ha ido ajustando esta relación buscando

obtener un diseño óptimo preparándose diseños tentativos 1, 2 y por ultimo lograr una relación de agua/cemento de diseño final. Para la presente investigación la relación a/c utilizada para el diseño final de concreto patrón fue de 0.38 y las proporciones de agregados fueron de 40% de agregado fino y 60% de agregado grueso de tamaño máximo nominal de ½”.

Se utilizó el método del ACI para el diseño de mezcla de concreto patrón final y cuya secuencia es la que se detalla líneas abajo:

1.- Materiales:

a. Cemento:

Pacasmayo Tipo I

Peso específico3.11

b. Agua:

Potable, de la red de servicio pública de Tarapoto.

c. Agregado fino:

Peso específico de masa.....2.61 gr/cc

Absorción.....0.58 %

Contenido de humedad.....4.00 %

Módulo de fineza.....2.70

Peso Unitario Suelto.....1568.67(Kg/m³)

Peso Unitario Compactado.....1632.67(Kg/m³)

Porcentaje de agregado.....40%

d. Agregado grueso:

Tamaño máximo nominal.....1/2”

Pso Unitario compactado.....1415.23 Kg/m³

Peso Unitario Suelto.....1319.87 Kg/m³

Peso específico de masa.....2.62 gr/cc

Absorción.....0.66 %

Porcentaje de agregado.....60 %

2.- Selección del tamaño máximo nominal del agregado

De acuerdo a las especificaciones, a la granulometría del agregado grueso, le corresponde un tamaño máximo nominal de 1/2”.

3.- Selección del asentamiento

De acuerdo a las especificaciones, las condiciones de colocación, requieren que la mezcla tenga una consistencia plástica, correspondiente a un asentamiento de 3” a 4”.

4.- Volumen unitario del agua

El volumen unitario de agua necesario para una mezcla de concreto cuyo asentamiento es de 3” a 4”, en una mezcla sin aire incorporado cuyo agregado grueso tiene un tamaño máximo nominal de 1/2”, es de 216 lt/m³, pero como estamos diseñando un concreto de alta resistencia se hicieron ajustes en el volumen unitario de agua al comprobar que la consistencia de la mezcla resultaba muy seca llegando a un volumen unitario de agua de 280 lt/m³.

5.- Contenido de aire

Desde que la estructura a ser vaciada no va a estar expuesta a condiciones de intemperismo severo, no se considera necesario incorporar aire a la mezcla.

De la Tabla N° 09 se determina que el contenido de aire atrapado para un agregado grueso de tamaño máximo nominal de 1/2” es de 2,5%.

6.- Relación agua/cemento

No presentándose en este caso problemas de intemperismo que pudieran dañar al concreto, se seleccionó la relación agua/cemento por resistencia a partir de la tabla N° 08 del ACI, después de tandas de prueba se ajustó finalmente en 0.38.

7.- Factor cemento

El factor cemento se determina dividiendo el volumen unitario de agua entre la relación agua/cemento:

$$\text{Factor cemento} = 280/0.38 = 744.0 \text{ Kg/m}^3 = 17.5 \text{ bolsas/m}^3$$

8.- Volumen de la pasta

$$\text{Cemento} \dots\dots\dots 744.0/3.11*1000 = 0.239 \text{ m}^3$$

$$\text{Agua} \dots\dots\dots 280.0/1*1000 = 0.280 \text{ m}^3$$

$$\text{Aire} \dots\dots\dots 2.5\% = 0.025 \text{ m}^3$$

$$\text{Suma de volúmenes conocidos} = 0.544 \text{ m}^3$$

9.- Volumen de los agregados

Ahora por diferencia determinamos el volumen de los agregados es decir el volumen del concreto es igual volumen de la pasta más volumen de los agregados

$$1 - 0.544 \text{ m}^3 = 0.456 \text{ m}^3$$

$$\text{Arena} \dots\dots\dots 0.456 \text{ m}^3 * 0.40 = 0.182 \text{ m}^3$$

$$\text{Piedra} \dots\dots\dots 0.456 \text{ m}^3 - 0.182 = 0.274 \text{ m}^3$$

10.- Peso seco de los agregados

$$\text{Arena} \dots\dots\dots 0.182 \text{ m}^3 / 2.61 \text{ gr/cm}^3 * 1000 = 475.0 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Piedra} \dots\dots\dots 0.274 \text{ m}^3 * 2.62 \text{ gr/cm}^3 * 1000 = 717.0 \text{ kg/m}^3$$

11.- Humedad superficial de los agregados (humedad-absorción)

$$\text{Arena} \dots\dots\dots 4.00 - 0.58 = 3.42 \text{ Lt.}$$

$$\text{Piedra} \dots\dots\dots 0.00 - 0.66 = -0.66 \text{ Lt.}$$

12.- Aporte de humedades de los agregados

$$\text{Arena} \dots\dots\dots 475.0 \text{ kg/m}^3 * (3.42) \text{ Lt} / 100 = 16.20 \text{ Lt.}$$

$$\text{Piedra} \dots\dots\dots 717.0 \text{ kg/m}^3 * (-0.66) \text{ Lt} / 100 = - 4.70 \text{ Lt.}$$

$$\text{Aporte de Humedad Total} = -11.50 \text{ Lt.}$$

13.- Agua efectiva

Agua efectiva = Agua de diseño + Aporte de humedad

$$\text{Agua efectiva} = 280.0 \text{ Lt.} + (-11.50) \text{ Lt.} = 269.0 \text{ Lt.}$$

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

4.1 Datos informativos

Para la presente investigación se realizarán dosificaciones de concreto de diferentes resistencias; utilizando agregados pétreos de las canteras que se detallan a continuación: Los bancos en estudio se escogieron debido a su importancia referente a su ubicación geográfica y volumen de extracción.

4.2 La cantera

4.2.1 Descripción

Las canteras son 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, estructuras, vías, presas y embalses, entre otros. Por ser materia prima en la actividad suele originar serios problemas de carácter ambiental, principalmente relacionados con la destrucción del paisaje.

4.2.2 Clases de canteras

Existen dos tipos fundamentales de canteras:

Aluvión: Llamadas también canteras fluviales, en las cuales los ríos como agentes naturales de erosión, transportan durante grandes recorridos las rocas aprovechando su energía cinética para depositarlas en zonas de menor potencialidad formando grandes depósitos de estos materiales entre los cuales se encuentran desde cantos rodados y gravas hasta arena, limos y arcillas; la dinámica propia de las corrientes de agua permite que aparentemente estas canteras tengan ciclos de autoabastecimiento, lo cual implica una explotación económica, pero de gran afectación a los cuerpos de agua y a su dinámica natural. Dentro del entorno ambiental una cantera de aluvión tiene mayor aceptación en terrazas alejadas del área de influencia del cauce que directamente sobre él.

Roca: Más conocidas como canteras de peña, las cuales tienen su origen en la formación geológica de una zona determinada, donde pueden ser sedimentarias, ígneas o metamórficas; estas canteras por su condición estática, no presentan esa característica de autoabastecimiento lo cual las hace fuentes limitadas de materiales.

Estos dos tipos de canteras se diferencian básicamente en dos factores, los tipos de materiales que se explotan y los métodos de extracción empleados para obtenerlos.

En las canteras de río, los materiales granulares que se encuentran son muy competentes en obras civiles, debido a que el continuo paso y transporte del agua desgasta los materiales quedando al final aquellos que tiene mayor dureza y además con características geométricas típicas como sus aristas redondeadas. Estos materiales son extraídos con palas mecánicas y cargadores de las riberas y cauces de los ríos.

Las canteras de peña, están ubicadas en formaciones rocosas, montañas, con materiales de menor dureza, generalmente, que los materiales de ríos debido a que no sufren ningún proceso de clasificación; sus características físicas dependen de la historia geológica de la región, permitiendo producir agregados susceptibles para su utilización industrial; estas canteras se explotan haciendo cortes o excavaciones en los depósitos.

4.2.3 Clasificación de canteras

a. Según el tipo de explotación

Canteras a cielo abierto: En laderas, cuando la roca se arranca en la falda de un cerro.

En corte: cuando la roca se extrae de cierta profundidad en el terreno

Canteras subterráneas.

b. Según el material a explotar

De materiales consolidados o roca.

De materiales no consolidados como suelos, saprolito, agregados, terrazas aluviales y arcillas.

c. Según su origen

Canteras aluviales

Canteras de roca o peña

4.2.4 Procesos realizados en las canteras

El material de cantera no suele tener las propiedades que se le exigen en obra como son una granulometría definida, un tamaño máximo o estar libres de finos por lo que deben ser sometidos a varios procesos para su puesta en obra:

a) Limpieza: Se les quitan las ramas, los finos y otros restos que puedan tener. Suele implicar humedecerlos por lo que al final también tendrán un secado posterior si se requieren secos.

b) Triturado: Para conseguir el diámetro máximo necesario se deben romper con las trituradoras. La trituración completa tiene tres fases. La primaria en la que sale un árido de 2 cm, La secundaria en la que el tamaño oscila entre 1,5 y 0,5 cm y la terciaria que produce arenas.

c) Clasificación: Dependiendo del diámetro se puede hacer con un cribado, aunque si el diámetro es menor de 2 mm resulta más rentable usar separación hidráulica y neumática.

4.2.5 Usos del material extraídos de las canteras

Los materiales extraídos de las canteras de agregados se utilizan para:

Confección de concreto y morteros

Rellenos

Escolleras

Balastos de vías férreas

Bases y sub bases de carreteras

Firmes de aglomerados asfáltico.

4.3 Impacto ambiental en la explotación de canteras

4.3.1 Problemática generada por tajos y canteras

La presencia de estas canteras contribuye a incrementar la contaminación dado el proceso de explotación, el incremento de la erosión y, en general, porque afectan la estabilidad de las áreas de explotación. La explotación anti técnica de las canteras, es principalmente la causa que provoca la destrucción de la belleza natural de los cerros, pone en situación de riesgo a los vecinos y genera contaminación ambiental.

Como consecuencia de este tipo de intervención se modifica la topografía, cambia la dinámica hidrológica e hidrogeológica, las napas descienden o se agotan, los torrentes y cañadas se desvían o se secan y, al fin, se crean pequeñas lagunas, lodazales o ciénagas, con diversos efectos sobre las características del sitio en cuestión. Las cavidades así formadas suelen generar abatimientos de los niveles piezométricos de los acuíferos, que a veces se extienden por varios kilómetros, inutilizando pozos y desaguando las barrancas y torrenteras.

En algunos sitios en que los niveles de las napas son más bajos, las canteras pueden volverse puntos de recarga subterránea, incorporándose al flujo subterráneo aguas superficiales contaminadas. De ese modo, pueden inutilizarse los acuíferos vecinos con los consiguientes perjuicios a la población. Parte del agua que escurría superficialmente o fluía bajo tierra pasa a ser recogida en las depresiones de las canteras donde se infiltra o evapora, restando metros cúbicos de agua a los balances hídricos de las micro cuencas. Disminuye el agua disponible, algunas tomas quedan inutilizadas y, más particularmente, se reduce la capacidad de dilución de los cursos de agua, de gran importancia para disminuir los niveles de contaminación en ríos y arroyos urbanos.

Por otra parte, los desagotes de canteras y tajos pueden movilizar importantes volúmenes de sedimentos en suspensión o diversas sustancias de descarte disueltas en el agua perjudicando la calidad de los cursos inferiores de los ríos. En algunos casos, los montos de materiales de ganga desalojados de las canteras (a menudo mezclados con basuras) pueden ser muy grandes provocando obstrucciones en los acueductos, canales, puentes, redes de drenaje y alcantarillas urbanas. Las canteras en actividad pueden ser también fuentes de polvo que suele incorporarse en el aire urbano creando condiciones perjudiciales de contaminación atmosférica para la población que vive en sus proximidades. Los aerosoles producidos a partir de las canteras pueden extenderse por varios kilómetros en la dirección de los vientos efectivos. Este fenómeno es particularmente grave en los países áridos o al cabo de largos períodos de sequía en las regiones de lluvias periódicas o estacionales.

4.3.2 Enfrentamiento de la problemática

Al llevar a cabo el diseño de una cantera en sus fases de apertura y operativa, así como de rehabilitación luego del cese de las operaciones, es importante que se integren todas las medidas y estrategias con las políticas de gestión tanto de las canteras como de las cuencas a las que éstas pertenecen. Se supone que la apertura y operación de las canteras y tajos se inscriben en un marco político-institucional y legal que determina las orientaciones y restricciones que existen en la materia. En Canadá, Estados Unidos, Europa occidental y casi todos los países de América Latina, para obtener una autorización de instalación y operación de una cantera, tajo o mina se requiere realizar un estudio de impacto previo, en función del cual, y teniendo en cuenta otras consideraciones, se otorga o no el permiso.

Una vez abierta la cantera o mina es necesario cumplir con las reglamentaciones existentes que aseguren que la operación de la misma se haga en las mejores condiciones desde el punto de vista de la seguridad, de la salubridad y del ambiente. En América Latina el problema principal en esta primera fase suele ser la inadecuación de los sistemas de autorización y/o control, que dan lugar a que se autoricen canteras sin estudios ambientales o con estudios insuficientes, que terminan instalándose en lugares inapropiados o riesgosos para la población local.

Una vez que la cantera o tajo cesa sus operaciones los problemas ambientales, sanitarios o de seguridad no se terminan. Muy por el contrario, al disminuir o desaparecer el control de la empresa que se ocupaba de la cantera, el lugar queda sin vigilancia dando lugar a

diversos tipos de riesgo para la población local. Para evitar esto es necesario asegurar que los sitios de canteras o tajos sean rehabilitados al terminar la fase operativa.

La rehabilitación es un tema central en muchos países industriales. Desafortunadamente, en la mayor parte de los países de América Latina los procesos de rehabilitación están insuficientemente reglamentados y gran parte de las canteras y tajos abandonados permanecen largo tiempo en esas condiciones sin que se lleve a cabo ningún trabajo de recuperación, con los riesgos ambientales consecuentes.

Para poder iniciar una rehabilitación sistemática de las canteras, tajos y minas antiguas o recientemente abandonadas se requiere programas específicos que promuevan la recuperación y voluntad política para llevarlos a cabo. El objetivo público de los programas de rehabilitación es que las canteras y tajos desechados se rehabiliten a una condición que sea segura, ambientalmente estable y compatible con las tierras adyacentes. Se supone que la extracción mineral es un uso pasajero de la tierra y que luego de realizada ésta debe volverse el terreno a una condición estable apropiada para el uso que se pretende darle después de terminada la actividad. El resultado final debe ser coherente con la aptitud del suelo antes de las operaciones y beneficiar a la comunidad.

Los principios básicos de la rehabilitación son:

Debe constituir parte integral de la operación extractiva.

Requiere un compromiso similar a las otras fases de la operación.

Debe seguir un plan bien definido, aunque flexible, con objetivos a corto y largo plazo.

La superficie debe ser rehabilitada a una forma estable y permanente armonizando con las características de la zona. El objetivo a largo plazo debe ser proporcionar una cobertura vegetal permanente, auto-sostenible y/o productiva, y durante el proceso de rehabilitación se debe prevenir la erosión acuática y eólica, así como los focos de aguas estancadas o de otro tipo que contengan organismos patógenos y que puedan representar un riesgo sanitario.

A pesar de que cada sitio es único, el logro de este patrón general implica eliminación de taludes y declives pronunciados, regularización de la topografía de fondo y lateral, redistribución de las pilas de derrubios, cobertura de la superficie con suelos vegetales donde corresponda, eliminación y/o desinfección de aguas estancadas y plantación de vegetales apropiados al lugar en cuestión.

Las estrategias públicas deben procurar determinar cómo y dónde se instalan las canteras y tajos, controlar su forma de operar y promover u obligar la rehabilitación de los terrenos

degradados. Las organizaciones civiles, barriales y locales deben concienciarse respecto de la gravedad de los impactos que canteras y tajos pueden tener en su calidad de vida y actuar ante las autoridades para que cumplan las reglamentaciones o, si no existen, que se creen. Solamente la acción combinada de la sociedad civil y los poderes públicos podrá asegurar que la extracción de materiales de construcción proporcione más beneficios que perjuicios a las generaciones actuales y venideras. La minería es una actividad a corto plazo, pero con efectos a largo plazo. A nadie le cabe duda que cuando se realiza en zonas de bosque constituye una depredación. La minería, junto con la explotación de petróleo, amenaza el 30% de las últimas extensiones de bosques primarios del mundo.

La deforestación no sólo afecta el hábitat de cientos de especies (muchas llevadas a la extinción), también afecta el mantenimiento de un flujo constante de agua desde los bosques hacia los demás ecosistemas y centros urbanos. El enorme consumo de agua que requiere la actividad minera generalmente reduce la napa freática del lugar, llegando a secar pozos de agua y manantiales. El agua termina contaminada con materiales tóxicos que pueden continuar durante cientos e incluso miles de años. Las especificaciones de los límites de sustancias perjudiciales en los agregados gruesos a utilizar en la fabricación de concreto se designan según el tipo de agregado, la severidad de la abrasión y otros elementos a los que deben ser expuestos, similares a los del agregado fino.

Los agregados gruesos utilizados en la fabricación de concreto deben estar libres de cantidades excesivas de sustancias como arcilla, carbón y lignito, cenizas y material fino. Los límites permisibles están en función del uso que se le dará al concreto. El agregado grueso para uso en concreto que estará expuesto con frecuencia al agua, debe estar libre de material que reaccione peligrosamente con los álcalis del cemento.

4.4 Agregados

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

Los agregados son la fase discontinua del concreto y son materiales que están embebidos en la pasta y que ocupan aproximadamente el 75% del volumen de la unidad cúbica de concreto.

Como conceptos de caracterización física de los agregados tenemos:

Tamaño máximo: Corresponde al menor tamiz por el que pasa toda la muestra de agregado.

Tamaño nominal máximo: Corresponde al menor tamiz en el cual se produce el primer retenido

Módulo de fineza: Criterio Establecido en 1925 por Duff Abrams a partir de las granulometrías del material se puede intuir una fineza promedio del material utilizando la siguiente expresión:

$$MF = \frac{\sum \% \text{ Acumulados retenidos (1 1/2", 3/4", 3/8", N^\circ 4, N^\circ 8, N^\circ 16, N^\circ 30, N^\circ 50 Y N^\circ 100)}{100}$$

4.4.1 Clasificación de los agregados: Existen varias formas de clasificar a los agregados, algunas de las cuales son:

a) Por su naturaleza:

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

El agregado fino: Se define como aquel que pasa el tamiz 3/8" y queda retenido en la malla N° 200, el más usual es la arena producto resultante de la desintegración de las rocas.

El agregado grueso, es aquel que queda retenido en el tamiz N°4 y proviene de la desintegración de las rocas; puede a su vez clasificarse en piedra chancada y grava. **El concreto,** es el material conformado por una mezcla de arena y grava este material mezclado en proporciones arbitrarias se encuentra en forma natural en la corteza terrestre y se emplea tal cual se extrae en la cantera.

b) Por su densidad: Se pueden clasificar en agregados de peso específico normal comprendidos entre 2.50 a 2.75, ligeros con pesos específicos menores a 2.5, y agregados pesados cuyos pesos específicos son mayores a 2.75. c) POR EL ORIGEN, FORMA Y

Textura superficial

Por naturaleza los agregados tienen forma irregularmente geométrica compuestos aleatoriamente por caras redondeadas y angulares. En términos descriptivos la forma de los agregados puede ser:

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

Sub redondeada: Considerable desgaste en caras y bordes. **Redondeada:** Bordes desgastados casi eliminados.

Muy redondeada: Sin caras ni bordes. Respecto de la textura superficial estas pueden ser:

Áspera

Granular

Vítrea

Cristalina

Lisa

d) Por el tamaño del agregado:

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

Agregados finos (arenas)

Agregados gruesos (piedras).

4.4.2 Funciones del agregado

El agregado dentro del concreto cumple principalmente las siguientes funciones:

Como esqueleto o relleno adecuado para la pasta (cemento y agua), reduciendo el contenido de pasta en el metro cúbico.

Proporciona una masa de partículas capaz de resistir las acciones mecánicas de desgaste o de intemperismo, que puedan actuar sobre el concreto.

Reducir los cambios de volumen resultantes de los procesos de fraguado y endurecimiento, de humedecimiento y secado o de calentamiento de la pasta.

Los agregados finos son comúnmente identificados por un número denominado Módulo de finura, que en general es más pequeño a medida que el agregado es más fino. La función de los agregados en el concreto es la de crear un esqueleto rígido y estable lo que se logra uniéndolos con cemento y agua (pasta). Cuando el concreto está fresco, la pasta también lubrica las partículas de agregado otorgándole cohesión y trabajabilidad a la mezcla. Para cumplir satisfactoriamente con estas funciones la pasta debe cubrir totalmente la superficie de los agregados.

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

4.4.3 Propiedades físicas de los agregados

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

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

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

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

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

4.4.4 Propiedades mecánicas de los agregados

A) Resistencia: La resistencia de los agregados dependen de su composición textura y estructura y la resistencia del concreto no puede ser mayor que el de los agregados; Si los granos de los agregados no están bien cementados unos a otros consecuentemente serán débiles.

La resistencia al chancado o compresión del agregado deberá ser tal que permita la resistencia total de la matriz cementante. La norma británica establece un método para medir la resistencia a la compresión de los agregados utilizando cilindros de 25.4mm de diámetro y altura.

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

C) Dureza: Se define como dureza de un agregado a su resistencia a la erosión abrasión o en general al desgaste. La dureza de las partículas depende de sus constituyentes. Entre las rocas a emplear en concretos éstas deben ser resistentes a procesos de abrasión o erosión y pueden ser el cuarzo, la cuarcita, las rocas densas de origen volcánico y las rocas silicosas.

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

4.4.5 Propiedades térmicas de los agregados

a) Coeficiente de expansión: Cuantifica la capacidad de aumento de dimensiones de los agregados en función de la temperatura, depende mucho de la composición y estructura interna de las rocas y varía significativamente entre los diversos tipos de roca. En los agregados secos es alrededor de un 10% mayor que en estado parcialmente saturado. Los valores oscilan normalmente entre 0.9×10^{-6} a $8.9 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$.

b) Calor específico: Es la cantidad de calor necesaria para incrementar en un grado centígrado la temperatura. No varía mucho en los diversos tipos de roca salvo en el caso de agregados muy ligeros y porosos.

c) Conductividad térmica: Es la mayor o menor facilidad para conducir el calor. Está influenciada básicamente por la porosidad siendo su rango de variación relativamente estrecho. Los valores usuales en los agregados son de 1.1 a 2.7 BTU/ pie.hr. °F.

d) Difusividad: Representa la velocidad con que se pueden producir cambios térmicos dentro de una masa. Se expresa como el cociente de dividir la conductividad entre el producto de calor específico por la densidad.

4.4.6 Propiedades químicas de los agregados

a) Reacción Alkali-Sílice: Los álcalis en el cemento están constituidos por el Óxido de sodio y de potasio quienes en condiciones de temperatura y humedad pueden reaccionar con ciertos minerales, produciendo un gel expansivo Normalmente para que se produzca esta reacción es necesario contenidos de álcalis del orden del 0.6% temperaturas ambientes de 30°C y humedades relativas de 80% y un tiempo de 5 años para que se evidencie la reacción.

B) Reacción Álcali-Carbonatos: Se produce por reacción de los carbonatos presentes en los agregados generando sustancias expansivas, en el Perú no existen evidencias de este tipo de reacción.

4.5 Agregado fino

El agregado fino es aquel que pasa el cedazo o tamiz # 4 y es retenido en el cedazo número 200. Los agregados finos deben cumplir ciertas reglas para darles un uso ingenieril óptimo: deben consistir en partículas durables, limpias, duras, resistentes y libres de productos químicos absorbidos, recubrimientos de arcilla y de otros materiales finos que pudieran afectar la hidratación y la adherencia de la pasta de cemento. Las partículas de agregado que sean desmenuzables o susceptibles de resquebrajarse son indeseables.

Granulometría

Los requisitos de la norma ASTM C33, permiten un rango relativamente amplio en la granulometría del agregado fino, pero las especificaciones de otras organizaciones son a veces más limitantes. La granulometría más conveniente para el agregado fino, depende del tipo de trabajo, de la riqueza de la mezcla, y del tamaño máximo del agregado grueso. En mezclas más pobres, o cuando se emplean agregados gruesos de tamaño pequeño, la granulometría que más se aproxime al porcentaje máximo que pasa por cada criba resulta lo más conveniente para lograr una buena trabajabilidad. En general, si la relación agua cemento se mantiene constante y la relación de agregado fino a grueso se elige correctamente, se puede hacer uso de un amplio rango en la granulometría sin tener un efecto apreciable en la resistencia. En ocasiones se obtendrá una economía máxima, ajustando la mezcla del concreto para que encaje con la granulometría de los agregados locales. Entre más uniforme sea la granulometría, mayor será la economía. La granulometría del agregado fino dentro de los límites de la norma ASTM C33, generalmente es satisfactoria para la mayoría de los concretos. Los límites de la norma ASTM C33 con respecto al tamaño de las cribas se indican a continuación:

Estas especificaciones permiten que los porcentajes mínimos (en peso) del material que pasa las mallas de 0.30 mm (No.50) y de 0.15 mm (No.100) sean reducidos a 5% y 0%, respectivamente, siempre y cuando:

- 1.- El agregado se emplee en un concreto con aire incluido que contenga más de 237 kg de cemento por metro cúbico y tenga un contenido de aire superior al 3%.
- 2.- El agregado se emplee en un concreto que contenga más de 296 kg de cemento por metro cúbico cuando el concreto tenga inclusión de aire.
- 3.- Se

use un aditivo mineral aprobado para compensar la deficiencia del material que pase estas dos mallas.

Otros requisitos de la norma ASTM son: 1. Que el agregado fino no tenga más del 45% retenido entre dos mallas consecutivas. 2. Que el módulo de finura no sea inferior a 2.3 ni superior a 3.1, ni que varíe en más de 0.2 del valor típico de la fuente del abastecimiento del agregado. En el caso de que sobrepase este valor, el agregado fino se deberá rechazar a menos que se hagan los ajustes adecuados en las proporciones del agregado fino y grueso. Las cantidades de agregado fino que pasan las mallas de 0.30mm (No.50) y de 0.15mm (No.100), afectan la trabajabilidad, la textura superficial y el sangrado del concreto. La mayoría de las especificaciones permiten que del 10% al 30% pase por la malla de 0.30mm (No. 50). El límite inferior puede bastar en condiciones de colado fáciles o cuando el concreto tiene un acabado mecánico, como ocurre en el caso de los pavimentos. Sin embargo, en los pisos de concretos acabados a mano o donde se requiera una textura superficial tersa, se deberá usar un agregado fino que contenga al menos un 15% que pase la malla de 0.30mm (No.50) y al menos un 3% que pase la malla de 0.15mm (No.100). El ensayo granulométrico por tamizado en el laboratorio deber tener un error menor a 1% (hasta un máximo de 5%), de lo contrario el ensayo debe volver a realizarse. Para minimizar los errores debemos tener cuidado con la limpieza de los tamices, así como que la muestra no se queda atrapada en el cepillo de limpiado y evitar que se caigan las partículas de la muestra. El método del tamizado fue el elegido para clasificar las muestras, debido a la facilidad y sencillez con que se realiza.

Módulo de finura

El módulo de finura (FM) del agregado fino se obtiene, conforme a la norma ASTM C125, sumando los porcentajes acumulados en peso de los agregados retenidos en una serie especificada de mallas y dividiendo la suma entre 100. Las mallas que se emplean para determinar el módulo de finura son la de 0.15mm (No.100), 0.30mm (No.50), 0.60mm (No.30), 1.18mm (No.16), 2.36mm (No.8), 4.75mm (No.4), 9.52mm (3/8”), 19.05mm (3/4”), 38.10mm (1½”), 76.20mm (3”), y 152.40mm (6”). El módulo de finura es un índice de la finura del agregado, entre mayor sea el módulo de finura, más grueso será el agregado. Diferentes granulometrías de agregados pueden tener igual módulo de finura. El módulo de finura del agregado fino es útil para estimar las proporciones de los agregados finos y gruesos en las mezclas de concreto. A continuación, se presenta un ejemplo de la

determinación del módulo de finura de un agregado fino con un análisis de mallas supuesto:

Densidad relativa

El peso específico (densidad relativa) de un agregado es la relación de su peso respecto al peso de un volumen absoluto igual de agua (agua desplazada por inmersión). Se usa en ciertos cálculos para proporcionamientos de mezclas y control, por ejemplo, en la determinación del volumen absoluto ocupado por el agregado. Generalmente no se le emplea como índice de calidad del agregado, aunque ciertos agregados porosos que exhiben deterioro acelerado a la congelación-deshielo tengan pesos específicos bajos. La mayoría de los agregados naturales tienen densidades relativas entre 2.4 y 2.9.

No se debe utilizar la misma curva de calibración para todos los picnómetros de igual capacidad. Cada uno de los picnómetros, aún los de igual capacidad, tienen pesos diferentes; por lo tanto, deberán ser individualmente calibrados. Se debe evitar el uso de agua que contenga sólidos disueltos. Es esencial que se use exclusivamente agua destilada o desmineralizada, para asegurar la continua validez de la curva de calibración. Algunos suelos hierven violentamente al someterlos a una presión de aire reducido. En esos casos, es necesario aplicar una reducción gradual de la presión o utilizar un frasco de mayor tamaño. La remoción incompleta del aire atrapado en la suspensión del suelo es la causa más importante de error en la determinación de pesos específicos y tenderá a bajar el peso específico calculado. Se deberá extraer completamente el aire de la suspensión aplicando vacío o calentando. La ausencia de aire atrapado debe ser verificada como se describió durante el ensayo. Es conveniente destacar que el aire disuelto en el agua no afectará los resultados; por lo tanto, no es necesario aplicar E - 128 - 6 vacío al picnómetro cuando se calibra o se llena hasta la marca de calibración con agua destilada o desmineralizada sin burbujas de aire. Una gota de agua puede hacer que se cometa un error de aproximadamente 0.05 g. Este error puede ser minimizado tomando el promedio de varias lecturas a la misma temperatura. Cuando la suspensión sea opaca, una luz fuerte detrás del cuello del picnómetro puede ser de gran ayuda para ver la base del menisco. • El secado de ciertos suelos a 105°C (221°F), puede causar la pérdida del agua absorbida y de cristalización; en tales casos, el secado se hará a una temperatura de 60°C (140°F) y se recomienda aplicar una presión de vacío más baja.

Contenido de humedad de la arena

Debido a que los agregados tienen poros conectados a su superficie, el agua es absorbida hacia el interior de las partículas. El agua también puede ser retenida en la superficie de los agregados en forma de una película de humedad. Debido a ello es importante conocer el estado de humedad de los agregados empleados en el concreto. Si el agregado es capaz de absorber agua, disminuirá la relación agua cemento efectiva y por el contrario si tiene agua presente en su superficie aumentará esta relación. En el primer caso, el concreto perderá trabajabilidad y en el segundo caso disminuirá la resistencia.

Estados de humedad

- 1. Seco al horno (OD):** Este estado se logra cuando toda la humedad es removida del agregado cuando es calentado al horno a 105°C hasta obtener peso constante (generalmente 12 horas). En este estado se considera que todos los poros conectados a la superficie están vacíos.
- 2. Seco al aire (AD):** En este estado toda la humedad es removida de la superficie, pero los poros están parcialmente llenos de agua.
- 3. Saturado superficie seca (S.S.S.):** En este estado todos los poros del agregado se hallan llenos de agua, pero no hay agua en la superficie del mismo.
- 4. Saturado superficie húmeda:** En este estado los poros están llenos de agua y hay agua en la superficie del agregado.

Pesos volumétricos secos: Suelto y compactado

El peso volumétrico (también llamado peso unitario o densidad en masa) de un agregado, es el peso del agregado que se requiere para llenar un recipiente con un volumen unitario especificado. El volumen al que se hace referencia, es ocupado por los agregados y los vacíos entre las partículas de agregado. El peso volumétrico aproximado de un agregado usado en un concreto de peso normal, varía desde aproximadamente 1,200kg/m³ a 1,760kg/m³. El contenido de vacíos entre partículas afecta la demanda de mortero en el diseño de la mezcla. Los contenidos de vacíos varían desde aproximadamente 30% a 45% para los agregados gruesos hasta 40% a 50% para el agregado fino. La angularidad aumenta el contenido de vacíos; mayores tamaños de agregado bien graduado y una granulometría mejorada hacen disminuir el contenido de vacíos. Los métodos para determinar el peso volumétrico de los agregados y el contenido de vacíos, se dan en la norma ASTM C29. Se describen tres métodos para consolidar el agregado en el recipiente, dependiendo del tamaño máximo del agregado: varillado, sacudido y vaciado con pala.

Agregado grueso

Los agregados gruesos consisten en una grava o una combinación de gravas o agregado triturado cuyas partículas sean predominantemente mayores que 5mm y generalmente entre 9.5mm y 38mm. Los agregados gruesos deben cumplir ciertas reglas para darles un uso ingenieril óptimo: deben consistir en partículas durables, limpias, duras, resistentes y libres de productos químicos absorbidos, recubrimientos de arcilla y de otros materiales finos que pudieran afectar la hidratación y la adherencia de la pasta de cemento. Las partículas de agregado que sean desmenuzables o susceptibles de resquebrajarse son indeseables.

Granulometría

En cuanto al análisis granulométrico del agregado grueso al igual que en el caso de la arena, es deseable que el agregado grueso en conjunto posea cierta continuidad de tamaños en su composición granulométrica; aunque vale decirlo los efectos que la gradación de la grava produce sobre la trabajabilidad de las mezclas de concreto, son mucho menores que los producidos por el agregado fino. Por tal motivo, la granulometría de un agregado grueso, de un tamaño máximo dado, puede variar dentro de un rango relativamente amplio sin producir efectos apreciables en los requerimientos de agua y cemento. De acuerdo a la Norma ASTM E11 para agregado grueso la serie de tamices a utilizarse son: 6", 3", 1 1/2", 3/4", 3/8", y #4.

Tamaño nominal máximo

Es el tamaño del tamiz comercial anterior al primer tamiz en el que hubo el 15% o más de retenido. Por lo común el tamaño máximo de las partículas de agregado no debe sobrepasar: 1. Un quinto de la dimensión más pequeña del miembro de concreto. 2. Tres cuartos del espaciamiento libre entre barras de refuerzo. 3. Un tercio del peralte de las losas. Estos requisitos se pueden rebasar si, en opinión del ingeniero, la mezcla tiene la trabajabilidad suficiente para colocar el concreto sin que se formen alveolados ni vacíos.

Densidad relativa

En el caso de los agregados, la determinación que se emplea para evaluar el atributo de su densidad, corresponde a la determinada gravedad específica de masa, que es el cociente resultante de dividir el peso en el aire de un cierto volumen de agregados en condición saturada y superficialmente seca, entre el peso en el aire de un volumen igual de agua destilada libre de aire, a la misma temperatura. En términos locales, el concepto corresponde al de un peso específico relativo, o simplemente peso específico, en condición

saturada o superficialmente seca, el cual no tiene unidades puesto que es el cociente de dos magnitudes con unidades iguales. **Densidad absoluta:** La densidad absoluta se define como la relación que existe entre el peso de la masa del material y el volumen que ocupa única y exclusivamente la masa sólida, ósea que se excluyen los todos los poros, saturables y no saturables.

Densidad nominal: La densidad nominal se define como la relación que existe entre el peso de la masa del material y el volumen que ocupan las partículas de ese material incluidos los poros no saturables.

Densidad aparente: La densidad aparente está definida como la relación que existe entre el peso de la masa del material y el volumen que ocupan las partículas de ese material incluidos todos los poros saturables y no saturables.

Absorción

La absorción de los agregados se determina con el fin de controlar el contenido neto de agua en el concreto y se puedan determinar los pesos correctos de cada mezcla.

Contenido de humedad

Es la cantidad de agua que contiene el agregado en un momento dado. Cuando dicha cantidad se exprese como porcentaje de la muestra seca (en estufa), se denomina porcentaje de humedad, pudiendo ser mayor o menor que el porcentaje de absorción. Los agregados generalmente se los encuentra húmedos, y varían con el estado del tiempo, razón por la cual se debe determinar frecuentemente el contenido de humedad, para luego corregir las proporciones de una mezcla.

Calidad de los agregados

La importancia de utilizar el tipo y calidad de los agregados no debe ser subestimada pues los agregados finos y gruesos ocupan comúnmente de 60% a 70% del volumen de concreto, e influyen notablemente en las propiedades del concreto recién mezclado y en la durabilidad del concreto endurecido. En la construcción de obras civiles, producto de la mala calidad de los agregados pueden presentarse problemas de humedad o filtraciones en paredes, mayor cantidad de desperdicio de materiales en construcciones, baja resistencia y deterioro prematuro de hormigones (Ripio, macadán, polvo de piedra, etc.) entre otros problemas derivados.

4.6 Contratación de hipótesis.

De acuerdo a los resultados mostrados en los Cuadros N° 26, 27 y 28, donde se muestra un nivel de significancia altamente significativa (p -error de 0,00) al agregar aditivos a la mezcla y sin ella; de tal manera que **se valida la hipótesis** ya que al establecer una adecuada dosificación de agregados de los ríos Maraón y Parapura se ha obtenido resistencia sobre las solicitadas.

CONCLUSIONES

EL agregado fino extraído de la cantera Paranapura presenta ciertas falencias para elaborar un buen concreto.

El agregado grueso extraído del río Marañón cuenta con la dureza suficiente ya que presenta una pérdida del 11.00% de desgaste ante la abrasión de la Máquina de los Ángeles. Lo que hace pensar que tenemos con este agregado la dureza suficiente para poder fabricar un concreto de muy buena resistencia a la abrasión.

El diseño de mezclas de los especímenes de 210Kg/cm² y 280Kg/cm² dio como resultado que los parámetros y especificaciones técnicas insertados en el método ACI estén estipulados dentro de los límites y tolerancias admisibles.

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 210 kg/cm² y 280 kg/cm²

Se tuvo que modificar la relación A/C durante la Dosificación de concreto para la elaboración de los Especímenes de resistencias especificadas, ya que estos son insuficientes para alcanzar los parámetros y especificaciones técnicas requeridos

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.

Para la ejecución de diseños de concreto no se requiere de maquinaria especial para su elaboración, simplemente requiere mayor control de calidad entre los materiales y el tiempo de ejecución.

RECOMENDACIONES

El agregado fino de la cantera Parapapura necesita un tratamiento especial que combinada con los demás componentes para la elaboración de concretos se pueden obtener concretos de buena calidad.

El agregado grueso del río Marañón ensayado ante la abrasión de la Máquina de los Ángeles, según el método de ASTM C 33 la pérdida no mayor del 50% del peso original, el MTC E 207-200 (Anexo 8.1, MTC 207-200), cumple con las especificaciones estándar de calidad para la elaboración de concreto, por ende este agregado es un elemento fundamental para construcciones civiles en la provincia de Alto Amazonas.

Se debe tener en cuenta que para el diseño de estos concretos se deben seguir las normas Técnicas., sin dejar de realizar los ajustes que se crean convenientes cuando se trabaje con tablas y/o recomendaciones técnicas, sobre todo en el caso del requerimiento de agua y el uso de aditivos

Para mayor durabilidad y resistencia del concreto es necesario utilizar aditivos, permitiendo la disminución de vacíos y porosidad, e incremento del peso unitario, así como su compactación y su capacidad de soporte al ser sometido a esfuerzos.

Para la realización de investigaciones futuras sobre el tema se recomienda hacer una preparación de concretos en obra, donde se realicen los métodos de dosificación por volumen y por peso con el fin de establecer una mayor conclusión en la influencia de estos métodos de dosificación en la resistencia del material.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abanto, F. (2009) Tecnología del Concreto. Editorial San Marcos. 1ra Edición. Lima Perú.
- Santos, V., P. (1996) Métodos Multivariantes en Bioestadística. Editorial Centro de Estudios Ramón Areces, 2da Edición, España.
- Aybar, M. (2017) Tecnología del Concreto. Editorial San Marcos, 2da Edición. Lima Perú.
- Cachay, R. (1993) Diseño de Mezclas. [Tesis]. Universidad Nacional de Ingeniería. Lima Perú. Marzo.
- Calderón, C. (2012) Estadística para Estudiantes de Administración de Empresas de la Universidad Nacional del Callao, Editorial San Marcos, 2da Edición, Lima Perú. Marzo.
- Córdova, M. (2001) Estadística Descriptiva e Inferencial, Editorial Moshera S.R.L, 4ta Edición, Lima.
- Dewar, J. D. (1964) The Indirect Tensile Strength of Concretes of High Compressive Strength. Cement y Concrete Association, Editorial: Blackie Academic & Professional, USA.
- Efraín, E. (2009) Metodología de la Investigación Económica y Social., Editorial San Marcos, 1ra Edición, Lima.
- García, M. (2013) Diseño de Concreto de Alta Resistencia $f'c= 480 \text{ kg/cm}^2$ usando Agregados del Rio Huallaga para la Ciudad de Tarapoto. [Tesis]. Universidad Nacional de San Martín. Morales Perú.
- Gonzales, J. (2003) Las Mezclas de Concreto y sus Resultados en la Ciudad de Tarapoto Utilizando el Método de Agregado Global y Modulo de Finura. [Tesis]. Universidad Nacional de San Martín. Morales Perú. Marzo 2003.

- Harmsem, E. (2000) *Diseño de Estructuras de Concreto Armado*, Fondo Editorial de la Pontificia Universidad Católica del Perú, 2da Edición, Lima Perú. Marzo.
- Neville, A. (1988) *Tecnología del Concreto*, Tomo I, 1ra Edición, Editorial Limusa. México 1988
- Pasquel, E. (1993) *Tópicos de Tecnología del Concreto*, 1ra edición, Editorial San Marcos. Lima.
- Portugal, P. (2007) *Tecnología del Concreto de Alto Desempeño*. 1ra Edición, Editorial UNAS, Paris. Junio.
- Reglamento Nacional de Edificaciones (2006), Diario Oficial El Peruano. Mayo.
- Revista el Ingeniero Civil-Nº 118-Noviembre-Diciembre 2000. Lima Perú.
- Rivva, E. (2012) *Concretos de Alta Resistencia*. 2da Edición, Editorial Fondo ICG. Marzo.
- Sandoval, C. (2009) *Diseño de mezclas de Concreto de Alta Resistencia*. [Tesis]. Universidad Nacional de San Martín. Morales Perú. Setiembre.
- Torres, C. (2004) *Curso Básico de Tecnología del Concreto*. Editorial Universidad de Ingeniería, 1ra Edición, Lima Perú. Mayo.
- VI Congreso Nacional de Ingeniería Civil (1986) , Ponencias Concreto de Alta Resistencia. Carlos Aire Untireos, Enrique Rivva López, Cajamarca.
- Vilca, P. (2008) *Obtención de Concretos de Alta Resistencia*. [Tesis].Universidad Nacional de Ingeniería. Lima Perú.

ANEXOS

ESTUDIO DE CONCRETO