

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL - SEDE JAÉN**



**INFLUENCIA DE LA FORMA Y TEXTURA DEL AGREGADO GRUESO DE LA  
CANTERA OLANO EN LA CONSISTENCIA Y RESISTENCIA A LA  
COMPRESIÓN DEL CONCRETO EN EL DISTRITO DE JAÉN - CAJAMARCA**

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

*Presentado por:*

**BACHILLER: CONTRERAS DELGADO WEEDEER ALEXANDER**

**ASESOR: Ing. CACHAY DÍAZ PACO ARTURO**

**Jaén - Cajamarca - Perú**

**2014**

**COPYRIGHT © 2014 by**

**WEEDER A. CONTRERAS DELGADO**

**Todos los derechos reservados**

## **Agradecimiento**

Agradezco a Dios por ayudarme a realizar éste mi primer libro, por ser mi guía en tiempos de angustia, por darme fe, amor y felicidad.

A mis padres: Abel Contreras Pérez y Donina Delgado Delgado, por su esfuerzo y apoyo incondicional para hacer posible esta tesis.

A mis hermanos, por su apoyo permanente en todos los proyectos más importantes de mi vida.

A la Escuela Académico Profesional de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional de Cajamarca Sede Jaén, por permitirme realizar en su laboratorio los ensayos de ruptura de especímenes de concreto.

A mi asesor, Ing. Paco Arturo Cachay Díaz, por resolver todas mis dudas y apoyarme en el desarrollo de esta investigación.

Gracias a todos mis amigos que ayudaron directa e indirectamente en la realización de este proyecto.

*A DIOS:*

*Por brindarme la vida, llenarla de logros, bendiciones y demostrarme su amor  
infinito*

*A MIS PADRES:*

*Por la más pura inspiración de esfuerzo y sacrificio y por su apoyo incondicional*

*A EVERTH:*

*Por ser el amigo de siempre y el mejor hermano*

*A ISMAEL:*

*Por ser mi mejor amigo y mi sobrino más querido*

*A MIS HERMANOS:*

*Por cuidarme cuando pequeño y por su apoyo de siempre*

## CONTENIDO

	Página
Agradecimiento.....	iii
Dedicatoria.....	iv
Índice de tablas.....	vi
Índice de figuras.....	viii
LISTA DE ABREVIACIONES.....	x
RESUMEN.....	xi
ABSTRACT.....	xii
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO.....	4
2.1. Antecedentes teóricos de la investigación.....	4
2.2. Bases Teóricas.....	7
2.3. Definición de términos básicos.....	24
CAPÍTULO III. MATERIALES Y MÉTODOS.....	28
3.1. Ubicación geográfica de la investigación.....	28
3.2. Materiales utilizados en los concretos de la investigación.....	30
3.3. Procedimientos de los ensayos experimentales.....	31
3.3. Tratamiento y análisis de datos y presentación de resultados.....	53
CAPÍTULO IV. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	56
CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	81
5.1. Conclusiones.....	81
5.2. Recomendaciones.....	82
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	83
ANEXOS.....	86

## Índice de tablas

Tabla	Página
Tabla 1. Clasificación de los agregados según su forma.....	10
Tabla 2. Clasificación de los agregados según su textura.....	11
Tabla 3. Consistencias y trabajabilidad según el asentamiento.....	19
Tabla 4. Tolerancia para asentamiento nominal.....	20
Tabla 5. Tolerancia permisible por edad de ensayo.....	22
Tabla 6. Normas para ensayos de agregados y concreto.....	31
Tabla 7. Revenimientos recomendados para varios tipos de construcción.....	48
Tabla 8. Agua, Kg/m <sup>3</sup> de concreto para TM nominal de agregado indicado y % de aire estimado.....	49
Tabla 9. Resistencia promedio a la compresión requerida.....	50
Tabla 10. Relación agua/cemento y la resistencia a la compresión del concreto.....	50
Tabla 11. Volumen de agregado grueso por unidad de volumen del concreto...	51
Tabla 12. Cantidad de pruebas slump y testigos de concreto por cada mezcla y perfil de agregado grueso.....	54
Tabla 13. Análisis granulométrico del agregado fino.....	57
Tabla 14. Análisis granulométrico del agregado grueso.....	58
Tabla 15. Humedad de los agregados pétreos.....	59
Tabla 16. Peso unitario suelto de los agregados pétreos.....	60
Tabla 17. Peso unitario compactado de los agregados pétreos.....	61
Tabla 18. Peso específico de masa del agregado fino.....	62
Tabla 19. Peso específico de masa del agregado grueso.....	62
Tabla 20. Absorción del agregado fino.....	63
Tabla 21. Absorción del agregado grueso.....	63
Tabla 22. Proporcionamiento de materiales por tanda.....	65
Tabla 23. Asentamientos del concreto fresco para $f'c=175$ y $210 \text{ Kg/cm}^2$ .....	66
Tabla 24. Resultados obtenidos de piedra chancada $f'c=175 \text{ Kg/cm}^2$ .....	69
Tabla 25. Resultados obtenidos de grava redondeada $f'c=175 \text{ Kg/cm}^2$ .....	70
Tabla 26. Resultados obtenidos de piedra chancada $f'c=210 \text{ Kg/cm}^2$ .....	71
Tabla 27. Resultados obtenidos de grava redondeada $f'c=210 \text{ Kg/cm}^2$ .....	72
Tabla 28. Resistencias promedio de especímenes $f'c= 175 \text{ Kg/cm}^2$ .....	74

Tabla	Página
Tabla 29. Resistencias promedio de especímenes $f'c = 210 \text{ Kg/cm}^2$ .....	76
Tabla 30. Tipos de cemento Portland.....	86
Tabla 31. Clasificación de agregados según el tamaño.....	86
Tabla 32. Clasificación de los agregados según su densidad.....	87
Tabla 33. Requisitos granulométricos de la ASTM C 33 para agregado fino..	87
Tabla 34. Requisitos granulométricos de la ASTM C 33 para agregado grueso.....	88
Tabla 35. Control de pruebas slump por perfil de agregado grueso, edad y códigos de testigos de concreto $f'c=175 \text{ Kg/cm}^2$ .....	89
Tabla 36. Control de pruebas slump por perfil de agregado grueso, edad y códigos de testigos de concreto $f'c=210 \text{ Kg/cm}^2$ .....	90
Tabla 37. Cantidad total de materiales utilizados en la investigación.....	90
Tabla 38. Distribución de partículas de la grava redondeada y piedra chancada para cada tanda.....	91
Tabla 39. % de Resistencias promedio de especímenes $f'c= 175 \text{ Kg/cm}^2$ .....	91
Tabla 40. % de Resistencias promedio de especímenes $f'c =210 \text{ Kg/cm}^2$ .....	91
Tabla 41. Resumen de propiedades de los agregados para diseños de mezcla.	92
Tabla 42. Resistencias nominales a diferentes edades de los concretos de $f'c=175$ y $210 \text{ Kg/cm}^2$ .....	98

## Índice de figuras

Figura	Página
Figura 1. Prueba slump.....	20
Figura 2. Rotura a carga axial de testigos de concreto.....	22
Figura 3. Ubicación y localización de la Cantera Olano.....	28
Figura 4. Imagen satelital de la Cantera Olano (Google Earth).....	29
Figura 5. Formas de agregado grueso utilizadas.....	30
Figura 6. Cuarteo de muestra.....	32
Figura 7. Tamizado de agregados.....	33
Figura 8. Compactado de muestra.....	36
Figura 9. Enrasado de muestra.....	36
Figura 10. Vaciado del agregado en el molde.....	37
Figura 11. Enrasado de la superficie de la muestra.....	37
Figura 12. Agregado con superficie seca.....	38
Figura 13. Peso de la muestra con superficie seca.....	38
Figura 14. Peso de la muestra sumergida en agua.....	39
Figura 15. Secado de la muestra en horno.....	39
Figura 16. Prueba de absorción del agregado fino.....	41
Figura 17. Arena con superficie seca.....	41
Figura 18. Peso del picnómetro + peso de la muestra + agua.....	41
Figura 19. Medición del asentamiento.....	43
Figura 20. Compactado de los especímenes de concreto.....	45
Figura 21. Eliminación de aire en el espécimen.....	45
Figura 22. Retiro del exceso de mezcla.....	46
Figura 23. Análisis granulométrico del agregado fino.....	57
Figura 24. Análisis granulométrico del agregado grueso.....	59
Figura 25. Humedad de los agregados pétreos.....	60
Figura 26. Peso unitario suelto de los agregados pétreos.....	61
Figura 27. Peso unitario compactado.....	61
Figura 28. Peso específico de masa de los agregados pétreos.....	62
Figura 29. Absorción del agregado grueso.....	63
Figura 30. % de dosificación en peso para concreto $f'c=175 \text{ Kg/cm}^2$ .....	65
Figura 31. % de dosificación en peso para concreto $f'c=210 \text{ Kg/cm}^2$ .....	65

Figura	Página
Figura 32. Asentamiento de mezclas de concreto $f'c=175 \text{ Kg/cm}^2$ .....	67
Figura 33. Asentamiento de mezclas de concreto $f'c=210 \text{ Kg/cm}^2$ .....	67
Figura 34. Resistencia a la compresión a los 7, 14, 21 y 28 días (piedra chancada y grava redondeada $f'c=175 \text{ Kg/cm}^2$ ).....	73
Figura 35. Resistencia a la compresión a los 7, 14, 21 y 28 días (piedra chancada y grava redondeada $f'c=210 \text{ Kg/cm}^2$ ).....	73
Figura 36. Resistencias promedio de especímenes de $f'c = 175 \text{ Kg/cm}^2$ .....	75
Figura 37. % de resistencias promedio de especímenes $f'c = 175 \text{ Kg/cm}^2$ .....	75
Figura 38. Resistencias promedio de especímenes de $f'c = 210 \text{ Kg/cm}^2$ .....	76
Figura 39. % de resistencias promedio de especímenes de $f'c = 210 \text{ Kg/cm}^2$ .....	77
Figura 40. Piedra chancada.....	99
Figura 41. Grava redondeada.....	99
Figura 42. Arena de la Cantera Olano.....	99
Figura 43. Pesado de agregados.....	100
Figura 44. Mezclado manual (amasada).....	100
Figura 45. Pesado de agua potable.....	100
Figura 46. Batido manual de la mezcla.....	100
Figura 47. Compactado de la mezcla en el cono de Abrams.....	101
Figura 48. Enrasado de mezcla en el cono de Abrams.....	101
Figura 49. Medición del asentamiento de la mezcla de concreto.....	101
Figura 50. Colocación de aceite en las paredes de las probetas.....	102
Figura 51. Control de procedimientos por del asesor de tesis.....	102
Figura 52. Llenado de probetas.....	102
Figura 53. Compactado de mezcla en probeta.....	102
Figura 54. Eliminación de aire atrapado utilizando la comba de goma.....	103
Figura 55. Enrasado de la superficie del espécimen de concreto.....	103
Figura 56. Probetas moldeadas.....	103
Figura 57. Codificación de testigos antes de ser llevadas al curado.....	104
Figura 58. Curado de testigos.....	104
Figura 59. Medición del diámetro de las probetas antes de su ruptura.....	104
Figura 60. Limpieza de las placas de neopreno.....	105
Figura 61. Ubicación de testigo en la máquina compresora.....	105
Figura 62. Ubicación de testigo en la máquina compresora.....	105

## LISTA DE ABREVIACIONES

ACI:	American Concrete Institute Instituto Americano del Concreto
ASTM :	American Society for Testing and Materials Sociedad Estadounidense para Pruebas y Materiales
EMS:	Estudio de Mecánica de Suelos
NTP:	Norma Técnica Peruana
RNE:	Reglamento Nacional de Edificaciones

## RESUMEN

El objetivo de esta investigación consistió en medir la influencia de la forma y textura del agregado grueso de la Cantera Olano en la consistencia y resistencia a la compresión del concreto, tomando los dos perfiles de agregado grueso más conocidos y utilizados en el distrito de Jaén, el primero es la piedra chancada de forma irregular y textura áspera y el otro la grava de río de forma redondeada y textura lisa, que muchas veces son reemplazados uno por el otro sin hacer ajustes en los diseños de mezclas, desconociendo los cambios que producen en las propiedades del concreto. Para demostrar dicha influencia se realizaron dos diseños de mezcla para concretos de  $f'c=175$  y  $210 \text{ Kg/cm}^2$ , con propiedades de la piedra chancada. Cada tanda de mezcla se hizo para tres testigos de concreto más una prueba slump y las proporciones se consideraron iguales para ambas formas de agregado, es decir: la misma relación agua/cemento, el mismo peso de arena de río, el mismo peso de agregado grueso y la misma granulometría. Los resultados de consistencias fueron plásticas para mezclas con piedra chancada y coincidieron con lo diseñado, pero las mezclas con grava redondeada arrojaron una consistencia fluida, diferenciándose de los asentamientos anteriores hasta en 3". En los resultados a compresión los especímenes con piedra chancada superaron la resistencia de los especímenes de grava redondeada en porcentajes que varían entre 8 y 16 % más. De esta manera quedó demostrado que tanto la forma como la textura de estos dos agregados influyen en gran medida en la consistencia y resistencia a la compresión del concreto.

**Palabras clave:** Forma, textura, agregado grueso, consistencia, resistencia a la compresión, concreto.

## ABSTRACT

The objective of this investigation consisted in measuring the influence of the form and texture of the thick aggregate of the quarry Olano in the consistency and resistance to the concrete's compression. Taking the two profiles of the thick aggregate more known and utilized in the Jaén's district. The first is the ground stone of irregular form and rough texture and other is the gravel of river of rounded form and smooth texture, than many times are changed one for the other without doing changes in the mixtures designs, being ignorant of the changes that they produce in the concrete's properties. To demonstrate mentioned influence two mixture designs were elaborated for concretes of  $f'_c=17$  and 21 MPa, with properties of the ground stone. Each shift of mixture was made for three witnesses of concrete more a test slump and the proportions considered equals for each form of aggregate, that is: The same relation water/cement, the same weight of sand of river, the same weigh of thick aggregate and the same classification by size of particles. The results of consistences were plastic for mixtures with ground stone and coincided with the designed, but the mixtures with rounded gravel afforded a fluid consistency, varying from settlements previous even in 3". In the results to compression the specimens with ground stone surpassed the resistance of the specimens of rounded gravel in percentages that vary among 8 and 16% more. This manner got demonstrated than both the form and the texture of these two aggregates influence to a great extent in the consistency and resistance to the concrete's compression.

**Key Words:** Form, texture, thick aggregate, consistency, resistance to the compression, concrete.

## **CAPITULO I: INTRODUCCIÓN**

El concreto es uno de los materiales más utilizados en la industria de la construcción, sus cualidades dependen de sus elementos y procesos de fabricación.

El agregado grueso es uno de los componentes del concreto que más porcentaje de intervención tiene en las mezclas, por tanto, no es de extrañarse que su forma y textura influyen en gran medida en la consistencia del concreto en estado fresco y en la resistencia a la compresión en su estado endurecido.

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. Debido a lo anterior, morteros con diferentes calidades y agregados gruesos con diferentes características (forma, textura, mineralogía, resistencia, etc.) pueden producir concretos de distintas resistencias.

Esta investigación hace la comparación de consistencias y resistencias a la compresión del concreto, para los dos perfiles de agregado grueso más comunes y utilizados en la construcción en el distrito de Jaén. El primero trata de un material natural de forma redondeada y textura lisa (grava) y el segundo de un material artificial, de forma angular y textura áspera (piedra chancada). Dichos agregados fueron extraídos de la Cantera Olano, ubicada en el km 4+000 de la carretera Chamaya – Jaén, cercano al caserío de Mochenta, perteneciente al distrito y provincia de Jaén de la región Cajamarca.

Uno de los problemas que generalmente descuidan los constructores al emplear el concreto, es la poca verificación de la morfología y textura de los agregados pétreos que utilizan, lo que propicia con cierta frecuencia resultados diferentes a los esperados.

Ante este problema se formuló la siguiente interrogante de investigación: ¿En qué medida la forma y textura del agregado grueso (redondeado y angular) de la Cantera Olano, influyen en la consistencia y resistencia a la compresión del concreto, en el distrito de Jaén – Cajamarca?. La respuesta o hipótesis a dicha incógnita quedó definida que la forma y textura del agregado grueso (redondeado y angular) de la Cantera Olano, influyen en gran medida en la consistencia y resistencia a la compresión del concreto, en el distrito de Jaén – Cajamarca.

La razón que motivó a realizar esta investigación, es porque en el distrito de Jaén existe una mala práctica en la elaboración de mezclas de concreto, muchas veces se prioriza la economía más que la calidad de los materiales con los que se construye. En la mayoría de construcciones que se ejecutan sin tener especificaciones técnicas supervisadas, se prefiere utilizar en las mezclas el hormigón (mezcla natural de arena con grava redondeada) o agregado grueso mezclado (grava natural y piedra chancada) reemplazando a piedra triturada para la que se hizo el diseño de mezclas, teniendo resultados finales de baja resistencia. Esta investigación se realizó para conocer cuál de estos dos perfiles de agregado grueso (piedra chancada y grava) mejoran las propiedades del concreto fresco y endurecido. Con esta investigación se pretende beneficiar a todas las personas naturales y jurídicas dedicadas a la construcción en el distrito de Jaén y todo el público lector que tome como referencia este estudio.

El objetivo principal de esta investigación consistió en medir la influencia de la forma y textura del agregado grueso (redondeado y angular) de la Cantera Olano en la consistencia y resistencia a la compresión del concreto, en el distrito de Jaén – Cajamarca, del cual se desplegaron cuatro objetivos específicos: El primero consistió en determinar la forma y textura de la piedra chancada y grava de la Cantera Olano, de manera descriptiva. El segundo consistió en diseñar dos mezclas de referencia según el método del ACI 211, con  $f'c$  de 175 Kg/cm<sup>2</sup> y 210 Kg/cm<sup>2</sup>, para agregado fino y piedra chancada de la Cantera Olano y portland tipo I. El tercer objetivo

consistió en determinar la consistencia de las mezclas de concreto fresco, utilizando la prueba de asentamiento o slump test, para cada mezcla hecha con agregado grueso redondeado y angular de la Cantera Olano, por cada tres testigos de concreto. Y el cuarto y último objetivo consistió en elaborar 24 muestras por resistencia de diseño, en moldes cilíndricos de 15 cm x 30 cm, de las cuales 12 muestras utilizando grava redondeada y 12 muestras utilizando piedra chancada, conservando constante la relación agua/cemento inicial, el peso de agregado fino, el peso de agregado grueso, la misma granulometría de agregados y el mismo tamaño máximo nominal (3/4”), siguiendo el diseño de las mezclas de referencia, para luego someterlos a carga axial a edades de 7; 14; 21 y 28 días (3 muestras por edad) para determinar su resistencia a la compresión.

Esta tesis está dividida en cinco capítulos. En el primero se presenta la introducción que abarca: El contexto, el problema principal, la hipótesis, la justificación, los alcances de la investigación, los objetivos y la descripción del contenido de los capítulos. El segundo capítulo que es el marco teórico, presenta: Los antecedentes de la investigación, las bases teóricas y la definición de términos básicos. El tercer capítulo comprende los materiales y métodos, donde se describen: La ubicación de la Cantera Olano, los materiales utilizados, los ensayos realizados a los agregados y el método del ACI 211 para el diseño de mezclas. En el cuarto capítulo se describe, explica y discute los resultados siguiendo la secuencia de los objetivos planteados. Y en el quinto capítulo, se presentan las conclusiones derivadas de los resultados de la investigación y recomendaciones necesarias.

## **CAPITULO II: MARCO TEÓRICO**

### **2.1. ANTECEDENTES TEÓRICOS**

#### **2.1.1 Internacionales**

Estrada y Páez (2014) en su investigación concluye que los agregados redondeados, que son los más baratos y con mayor disponibilidad, obtuvieron bajas resistencias que el agregado triturado. Afirmó que esto no significa que el agregado redondeado sea de baja calidad, puesto que los especímenes elaborados con este agregado alcanzaron su resistencia óptima; pero el agregado triturado superó dichos resultados de resistencia en 200 Kg/cm<sup>2</sup> y 250 Kg/cm<sup>2</sup>, siendo la misma relación agua/cemento para el primer diseño en ambos casos de agregados (grava y grava triturada) y; así mismo, dos relaciones de agua/cemento diferentes en los diseños de 250 Kg/cm<sup>2</sup> y 300 Kg/cm<sup>2</sup>.

Alvarado (2010) afirma que la composición mineralógica, forma y textura de los agregados, varían de una zona a otra e incluso en el mismo lugar de donde se extraen. Es por ello recomienda que todo dato deben tomarse con cautela y no dar por hecho que todos los materiales que presentan las mismas formas se comportarán igual.

La forma y la textura superficial de las partículas de un agregado influyen en las propiedades del concreto fresco más que las del concreto endurecido. Las partículas con textura áspera, angulares o elongadas requieren más agua para producir un concreto trabajable que agregados lisos, redondeados y compactos. Además, las partículas de agregado angulares requieren más cemento para mantener la misma relación agua-cemento. Sin embargo, con la granulometría satisfactoria, tanto los agregados triturados como los no triturados (de un mismo tipo de roca), generalmente,

producen concretos con la misma resistencia, si se mantiene el contenido de cemento. (Scanferla 2010)

Acosta et al. (2005) en su investigación concluye que Cuando menor es el coeficiente de forma del agregado grueso, el hormigón tiene menor consistencia, que aquel concreto fabricado con agregados gruesos con mayor coeficiente de forma. así mismo afirma que a coeficientes de formas aproximadas y texturas diferentes, en las muestras de piedras basálticas trituradas con textura rugosa y Canto rodado con textura lisa, el concreto fabricado con canto rodado tiene una mayor consistencia, lo que nos indica la influencia de la textura en la consistencia.

Fernández (2005) afirma que la adherencia mecánica que permite la unión a escala macroscópica depende del estado superficial de los agregados. Es mayor cuanto más rugosa es la superficie y así, los agregados triturados proporcionan la mayor adherencia y resistencia del concreto, siendo, por tanto, empleados en pavimentos de aeropuertos y carreteras.

Chan et al. (2003) afirma que la consistencia del concreto es afectada por diversas características de los agregados, tales como: La absorción, la forma, la textura superficial, el tamaño y la granulometría.

Alejos y Fernández, citado por Chan et al. (2003) desarrollaron una investigación que consistió en la realización de ensayos con el fin de determinar cómo la absorción es quizás la propiedad del agregado que más influye en la consistencia del concreto, puesto que las partículas absorben agua directamente en la mezcladora, disminuyendo la manejabilidad de la mezcla. Si dos tipos de agregados tienen absorción similar, otros factores secundarios serán de importancia en la consistencia de la mezcla, tales como forma, tamaño y graduación; ya que mientras mayor superficie de agregado sea necesario cubrir con pasta, se tendrá menos fluidez. Una buena consistencia y manejabilidad de la mezcla se obtiene con la combinación de índices bajos de absorción y un coeficiente bueno de forma, en donde las partículas son aproximadamente redondas.

En concretos fabricados con agregados triturados resistieron más que los de canto rodado; el esfuerzo de compresión a los 28 días para los concretos hechos con agregados gruesos de grava redonda estuvo entre el 10 y 20 % más bajos que los concretos preparados con agregados triturados. Lo anterior puede ser atribuido tanto a la superficie lisa de los agregados de canto rodado, como a su posible menor resistencia, en relación a los agregados triturados, que fueron de basalto y caliza. (Özturan y Çeçen, citado por Chan et al. 2003)

Los agregados se pueden calificar por su forma, en base a su grado de redondez y esfericidad, obteniéndose una medida relativa de carácter comparativo y descriptivo. La manera como esta característica puede influir en el concreto fresco es variable, logrando producir, por ejemplo, a mayor grado de redondeamiento menor relación de vacíos; pero por otra parte un menor valor de este parámetro reduce la capacidad de compactación. (Neville, citado por Chan et al. 2003)

### **2.1.2. Nacionales**

Gamarra (2008) en su investigación concluye que en estado fresco el concreto con agregado de perfil redondeado describe un carácter aleatorio respecto al concreto con agregado de perfil angular, y en concreto endurecido arroja valores bastante aproximados en la resistencia a la compresión respecto a un concreto con piedra chancada.

Rivva (2000) afirma que la capacidad de adherencia entre la pasta y el agregado está influenciada por la textura superficial, forma, composición mineral, tamaño y limpieza del agregado. La textura superficial favorece más al agregado grueso que al fino. Para un mismo contenido de pasta, el empleo de agregado de perfil esférico tiende a disminuir la consistencia. Los agregados secos o altamente porosos pueden disminuir la consistencia, haciendo la mezcla seca, por la reducción en la cantidad de agua disponible para la mezcla. Así mismo afirma que la textura superficial del agregado influye en la resistencia del concreto endurecido por la adherencia con la pasta, es así que para texturas ásperas se obtiene mejores resistencias que para texturas suaves.

## **2.1. BASES TEÓRICAS**

### **2.2.1. El concreto**

Según la norma E.060 del RNE (2014) el concreto es la mezcla de cemento portland o cualquier otro cemento hidráulico, agregado fino, agregado grueso y agua, con o sin aditivos.

Ordinariamente, la pasta de cemento y agua constituyen del 25 al 40% del volumen total del concreto. El volumen absoluto de cemento está comprendido usualmente entre el 7 y 15%, el agua del 14 al 21% y el agregado constituye aproximadamente del 60 al 80% del volumen total de éste. (Estrada y Páez 2014)

### **2.2.2. Componentes del concreto**

#### **A. Cemento**

Es un material aglutinante que presenta propiedades de adherencia y cohesión, que permiten la unión de fragmentos minerales entre sí, formando un todo compacto. Este material tiene la propiedad de fraguar y endurecer en presencia del agua, presentándose un proceso de reacción química que se conoce como hidratación. (Instituto del concreto 1997). Los tipos del cemento Portland se indica en la tabla 30 - Anexo A.

#### **B. Agua para Concreto**

Generalmente se hace referencia a su papel en cuanto la cantidad para proveer una relación agua/cemento acorde con las necesidades de trabajabilidad y resistencia, pero es evidente, que para usarla en el lavado de agregados, en la preparación de la mezcla o durante el curado del concreto, no solamente su cantidad es importante, sino también su calidad química y física. (Alvarado 2010)

El lavado de los agregados se deberá hacer con agua potable o agua libre de materia orgánica, sales y sólidos en suspensión. El agua empleada en la preparación y curado del concreto deberá ser, de preferencia, potable y, en caso de no serlo, debe ser agua limpia y libre de cantidades perjudiciales de aceites, ácidos, álcalis, sales, materia orgánica y otras sustancias que pueden ser dañinas al concreto o elementos embebidos. (Norma E.060 del RNE 2014)

### **C. Agregados**

Conjunto de partículas inorgánicas, de origen natural o artificial, cuyas dimensiones están comprendidas entre los límites fijados en la Norma NTP 400.011. Los agregados son la fase discontinua del concreto. Ellos son materiales que están embebidos en la pasta y ocupan entre 62% y el 78% de la unidad cúbica del concreto. (Rivva 2000)

Según la norma E.060 del RNE (2014), el tamaño máximo nominal del agregado grueso no debe ser superior a ninguna de:

- 1/5 de la menor separación entre los lados del encofrado.
- 1/3 de la altura de la losa, de ser el caso
- 3/4 del espaciamiento mínimo libre entre las barras o alambres individuales de refuerzo, paquetes de barras, tendones individuales, paquetes de tendones o ductos.

Según la norma E.060 del RNE (2014) el agregado grueso a utilizar en concretos armados podrá consistir de grava natural o triturada. Sus partículas serán limpias, de perfil preferentemente angular o semi-angular, duras, compactas, resistentes y de textura preferentemente rugosa; deberá estar libre de partículas escamosas, materia orgánica u otras sustancias dañinas.

#### **a. Clasificación de los agregados**

La clasificación de los agregados para concreto, generalmente se hacen desde el punto de vista de su procedencia, tamaño y densidad. Sin embargo también debería clasificarse según su forma y textura. (Alvarado 2010)

##### **✓ Clasificación según su procedencia**

Según Lezama (s.f.) los agregados según su procedencia se clasifican en: Agregados rodados (de origen natural y provenientes de las rocas sedimentarias), agregados de machaqueo (procedentes de rocas inalteradas, sanas, duras, compactas y se obtienen mediante trituración artificial), agregados artificiales (Provenientes de los residuos industriales y utilizados en la fabricación de concretos ligeros) y agregados

especiales (de origen natural o artificial, con mayor peso que los agregados normales y empleados en concretos expuestos a radiaciones atómicas).

✓ **Clasificación según su tamaño.**

Los agregados para concreto, según su tamaño se clasifican en agregado fino y grueso, pero casi siempre los limos y arcillas se encuentran adheridos a ellos (Rivva 2000). El Instituto del Concreto clasifica a los agregados naturales según su tamaño como lo indica la tabla 31 -Anexo A.

El contenido de arcilla y limo en una mezcla de concreto, es un factor que se debe limitar porque cuando hay exceso de las mismas, hacen que sean mayores los requerimientos de agua y pueden restar adherencia entre el agregado grueso y la pasta de cemento. (Instituto del Concreto 1997)

✓ **Clasificación según su Densidad**

Se puede clasificar tanto los agregados naturales como artificiales y se hace en tres diferentes categorías: Livianos, normales y pesados; como se muestra en la tabla 32-Anexo A.

✓ **Clasificación según su Forma y Textura**

Las partículas de los agregados son cuerpos de tres dimensiones y es difícil describir la forma de las mismas, aunque se las puede clasificar en redondeadas o cantos rodados, a las que son generalmente procedentes de ríos en las que por rozamiento se eliminan las partes salientes de las mismas; y las angulosas que son las que presentan ángulos, aristas vivas y superficies más o menos planas, procedentes generalmente de trituraciones; planas o laminares en las que predominan dos dimensiones sobre la tercera y aciculares que son las que predomina una dimensión sobre las otras dos dando lugar a agregados en forma de agujas. (Fernández 2005)

Según Estrada y Páez (2014) los agregados naturales provienen de tres tipos de roca ígneas, sedimentarias y metamórficas, dependiendo de su procedencia, tienen unas características mineralógicas y petrográficas determinadas. Algunas propiedades indirectamente depende del tipo de roca; una de estas es la forma de las partículas del agregado. Los agregados procedentes de piedras naturales sometidas a un proceso de

trituration y clasificación tienen formas geométricas que varían desde las aproximadamente cubicas o poliédricas, a las de esquirlas alargadas o astilladas, a las laminares aplanadas, o a las de forma de cascos. Mientras que los agregados de río o de depósitos (arrastres fluviales) tienen formas de cantos redondeados (cantos rodados), o aplanadas.

La clasificación más utilizada para definir la forma de las partículas del agregado, se indican en la tabla 1, que fue presentada por la norma británica N°812.

Tabla 1. Clasificación de los agregados según su forma

Clasificación	Descripción	Ejemplos
Redondeada	Completamente desgastada por el agua o totalmente formada por fricción.	Grava de río o de playa.
Irregular	Irregulares por naturaleza, parcialmente formada por fricción o con bordes redondeadas.	Pizarras de superficie o subterránea.
Escamosa	Materiales cuyo espesor es pequeño en comparación con sus otras dimensiones.	Roca laminada.
Angular	Con bordes bien definidos formados en las intersecciones de caras aproximadamente planas.	Rocas trituradas de todo tipo, taludes.
Elongada	Material que suele ser angular, pero cuya longitud es bastante mayor que las otras dos dimensiones.	---
Escamosa y elongada	Material cuya longitud es bastante mayor que el ancho y el ancho bastante mayor que el espesor.	---

Fuente: Norma BS-812, citado por el Instituto del Concreto 1997

La textura superficial depende de la naturaleza de la roca de origen, de su dureza, tamaño de los granos, porosidad, así como de las acciones a que hayan estado sometidos los agregados. Se puede decir que la textura superficial es áspera en las piedras obtenidas por trituración y lisa en los cantos rodados, de río, quebrada o mar. (Alvarado 2010)

La clasificación de los agregados según su textura lo estableció la norma británica N°812, que también es aceptada por el instituto del concreto. Dicha clasificación se presenta en la tabla 2.

Tabla 2. Clasificación de los agregados según su textura

Textura superficial	Descripción	Ejemplos
Vítrea	Fractura concoidal.	Pedernal negro, Escoria Vítrea.
Lisa	Desgastada por el agua o lisa debido a fractura de roca laminada o de roca de grano fino.	Grava, pizarra, mármol, algunas riolitas.
Granular	Fracturas que muestran granos más o menos redondeados en forma uniforme	Arenisca, oolita.
Áspera	Fractura áspera de roca de granos finos o medianos, que contengan partes cristalinas difíciles de detectar.	Basalto y caliza.
Cristalina	Con partes cristalinas fáciles de detectar.	Granito, grabo.
Apanalada	Con cavidades y poros visibles.	Piedra pómez, escoria espumosa.

Fuente: Norma BS-812 citado por el Instituto del Concreto 1997

#### **b. Influencia de la forma del agregado en el concreto**

La forma de los agregados es una característica importante ya que afecta a la consistencia del concreto, esta forma depende del tipo de roca que lo originó, ya que para ciertas piedras resulta determinante el sistema de clivaje, las posibles instrucciones en la roca y su estado de meteorización. La forma del agregado influye directa o indirectamente en el comportamiento del concreto, ya que se relaciona con la consistencia, la resistencia y otras propiedades. Las formas perjudiciales son las muy alargadas y/o escamosas ya que tendrán una influencia objetable en la consistencia y trabajabilidad, los porcentajes de cemento, la resistencia y la durabilidad. En general, los agregados excesivamente alargados hacen al concreto muy pobre. (Alvarado 2010)

La forma de las partículas del agregado juega un papel muy importante en la fabricación de concreto, debido a que la aptitud de compactación de la mezcla no solo depende de la granulometría del agregado sino también del grado de acomodamiento de las partículas. Para lograr un alto grado de acomodamiento y compactación de las partículas, que genera una alta densidad y por tanto una mayor resistencia en el concreto, las formas más adecuadas son las redondeadas para piedras de ríos o cantos rodados y la cúbica para triturados. En la medida en que la forma de las partículas del agregado se aleje de estas geometrías, menor será la cantidad de partículas que se acomoden dentro de un volumen determinado y por lo tanto quedaran espacios entre

partícula y partícula que deben ser llenados con pasta de cemento, lo cual encarece el costo unitario y aumenta el riesgo de agrietamiento del concreto por el mayor contenido de cemento. (Estrada y Páez 2014)

Una buena consistencia y manejabilidad de la mezcla se obtiene con la combinación de índices bajos de absorción y un coeficiente bueno de forma, en donde las partículas son aproximadamente redondas. (Aleajos y Fernández, citado por Chan et al. 2003)

Con los cantos rodados se obtienen hormigones trabajables y su mejor forma es cuando se aproxime la forma de ellos a la esfera, con las trituradas se obtienen hormigones menos trabajables, lo que dificulta la compactación del hormigón y su efecto será tanto menor cuando más se aproximen a un cubo. Los agregados laminares y aciculares producen hormigones de peor calidad donde esas formas repercuten negativamente en las resistencias y en la durabilidad. (Skalny y Mindess, citado por Acosta et al. 2005)

### **c. Influencia de la textura del agregado en el concreto**

La textura del agregado también entra en la discusión debido a su estrecha asociación con la forma. Generalmente, los agregados redondeados tienen una textura lisa y los agregados angulares tienen una textura rugosa, pero incluso cuando la superficie del agregado redondeado es lisa, es suficientemente rugosa para desarrollar un vínculo razonablemente bueno entre la superficie y el gel submicroscópico del cemento. (Shetty, citado por Alvarado 2010)

La textura reviste especial importancia por su influencia en la adherencia entre los agregados y la pasta de cemento fraguado, así como también, por su efecto sobre las propiedades del concreto o mortero endurecido, tales como, densidad, resistencia a la compresión y a la flexión, cantidad requerida de agua, etc. (Alvarado 2010)

#### **d. Influencia de la forma y textura de los agregados en las propiedades del concreto**

Tanto la forma como la textura afectan la movilidad del agregado que se entiende como la facilidad con que las partículas se mueven unas sobre las otras cuando son manipuladas. La movilidad del agregado afecta la trabajabilidad del concreto fresco y varía la consistencia, observándose que, cuando son empleados agregados de baja movilidad, es exigida mayor energía para alcanzar el mismo grado de compactación o hay necesidad de aumentar el porcentaje de agregado fino en la mezcla para garantizar adecuada trabajabilidad. (Skalny y Mindess, citado por Acosta et al. 2005)

La textura superficial, junto con su forma, tiene también una gran influencia en las resistencias del concreto, siendo más intenso en la resistencia a flexo tracción que en la compresión, especialmente cuando se quieren obtener concretos de alta resistencia. Este efecto parece ser debido a que cuando más rugoso es el agregado mayor superficie de contacto tiene con la pasta de cemento y por tanto, mayor adherencia. La adherencia entre el agregado y la pasta de cemento depende de su forma, porosidad, naturaleza y especialmente, de su estado superficial (textura). La presencia de arcilla contribuye a disminuir la resistencia a la tracción por falta de adherencia. (Fernández 2005)

En cuanto a la interrelación mecánica entre la matriz y el agregado grueso, la textura superficial de éste es principalmente responsable de la adherencia. La roca triturada produce una adherencia superior comparado con la grava de canto rodado; aunque en la adherencia también tiene influencia la relación a/c que afecta tanto física como químicamente la zona de interfase. En un trabajo de investigación se encontró que concretos fabricados con agregados triturados resistieron más que los de canto rodado; el esfuerzo de compresión a los 28 días para los concretos hechos con agregados gruesos de grava redonda estuvo entre el 10 y 20 por ciento más bajos que los concretos preparados con agregados triturados. Lo anterior puede ser atribuido tanto a la superficie lisa de los agregados de canto rodado, como a su posible menor resistencia, en relación a los agregados triturados, que fueron de basalto y caliza. (Özturan y Çeçen, citado por Chan 2003).

La adherencia mecánica que permite la unión a escala macroscópica depende del estado superficial de los agregados. Es mayor cuanto más rugosa es la superficie y así,

los agregados triturados proporcionan la mayor adherencia y resistencia a tracción, siendo, por tanto, empleados en pavimentos de aeropuertos y carreteras. (Fernández 2005)

Este modo de adherencia no es el único existente en la unión pasta-agregado; Farran, estudió otro más pequeño, mediante el examen de partículas de contacto pasta-agregado observó que, para ciertos agregados se produce una adherencia del tipo epitáxico, es decir, se forman cristales en la pasta de cemento en contacto con el agregado en los que, su orientación, sistema cristalino y dimensiones, son tales que es posible una superposición malla sobre malla con la red propia del agregado. Farran también demostró que, una pasta de cemento que contenga cenizas o escorias de alto horno, no es la más adecuada para que se produzca una adherencia del tipo epitáxico. (Fernández 2005)

Si bien los agregados para hormigón de diferentes orígenes, pueden tener una composición granulométrica semejante, muchas veces se comportan de manera bastante diferente debido a la forma y textura de las partículas. (Scandiuzzi y Rodrigues, citado por Acosta et al. 2005)

El grado de acomodamiento de las partículas de forma redondeada es mejor que el de partículas de forma cubica. En cuanto a las partículas de forma lajuda (alargadas y planas), aparte de tener por lo general una estructura laminar (en capas) con poca resistencia, estas tienden a colocarse en posición horizontal dentro de la masa compacta de concreto, lo cual impide la salida del agua libre de la mezcla durante el proceso de fraguado y genera burbujas de aire que debilitan la resistencia del concreto. (Chan et al. 2005)

Para lograr una mezcla de concreto óptima se requieren entre otras condiciones que la compacidad de la mezcla de agregados sea la máxima posible con una consistencia adecuada de forma que se minimice la cantidad de pasta de cemento requerida para la pega de los agregados. Igualmente se requiere que sus componentes satisfagan características que permitan que la mezcla de concreto sea durable y cumpla con los requisitos de consistencia, trabajabilidad y resistencia establecidos durante el diseño. La estimación de la compacidad de una mezcla granular es un problema fundamental para el manejo y conocimiento del concreto (Andersen y Johansen, citado por León y

Ramírez 2010), y depende de 3 parámetros fundamentales: tamaño y distribución de los granos, forma de los granos (morfología y textura) y método de compactación de la mezcla de concreto. (León y Ramírez 2010)

A mayor contenido de vacíos el concreto requiere más pasta de cemento. Se ha encontrado que el requerimiento de pasta de cemento se reduce alrededor de 4% a 5% cuando se utiliza agregado cúbico en vez de agregado alargado y aplanado (Hudson, 1998). Así mismo, como la forma de las partículas afecta la compacidad de la mezcla de agregado, esta tiene una alta incidencia en la demanda de pasta de cemento y por lo tanto en los costos del concreto, y afecta también la trabajabilidad y las propiedades mecánicas concreto. La forma y textura de los agregados afectan la masa unitaria compacta y por lo tanto juegan un papel importante en el desempeño del mortero y del concreto en estado fresco y puede afectar indirectamente su resistencia al afectar la colocación y compactación del concreto. (León y Ramírez 2010)

Los agregados de canto rodado tienen menor superficie específica en comparación con la roca chancada o triturada, a partir de esta premisa podemos asegurar que los concretos elaborados con agregados con mayor superficie específica tienen mayor enganche mecánico, finalizando que estos tendrán mayor resistencia a la compresión. (Rivva 2000)

Por otro lado, es conocido que a mayor porosidad mayor fuerza de adhesión, de manera que los agregados gruesos con una mayor densidad y resistencia al desgaste presentan una menor porosidad, y como consecuencia menor adherencia y cantidad de finos que pasan por la malla N° 200 (Cerón et al., citado por Chan et al. 2003)

#### **e. Propiedades de los agregados**

- **Propiedades Químicas de los Agregados**

Las exigencias químicas que se deben hacer a los agregados para evitar su reacción en la masa del concreto, son las de evitar sustancias presentes agresivas y componentes geológicos o mineralógicos agresivos, entre los cuales el más frecuente parece ser la sílice activa. (Instituto del Concreto 1997)

- ✓ **Epitaxia.** La única reacción química favorable de los agregados, conocida hasta el momento. Da mejor adherencia entre ciertos agregados calizos y la pasta de cemento, a medida que transcurre el tiempo. (Instituto del Concreto 1997)
- ✓ **Reacción álcali-agregado.** La sílice activa, presente en algunos agregados, reacciona con los álcalis del cemento produciendo expansiones, destrucción de la masa y pérdida de características resistentes. (Instituto del Concreto 1997)

- **Propiedades Físicas de los Agregados**

Las propiedades físicas que tienen mayor importancia en el comportamiento mecánico de las mezclas de concreto son: Granulometría, porosidad, masa unitaria, forma y textura de las partículas. (Instituto del Concreto 1997)

- ✓ **Densidad:** Depende de la roca original de donde proviene y está definida por la relación entre la masa y el volumen de una masa determinada. (Instituto del Concreto 1997)
- ✓ **Forma y textura:** Tienen un efecto significativo en el comportamiento del concreto en estado fresco (trabajabilidad y consistencia) y endurecido (resistencias mecánicas). (Instituto del Concreto 1997)
- ✓ **Granulometría:** Es la composición, en porcentaje, de los diversos tamaños de agregados en una muestra. Esta proporción se suele indicar, de mayor a menor tamaño, por una cifra que representa, en masa, el porcentaje parcial de cada tamaño que pasó o quedó retenido en los diferentes tamices que se usan obligatoriamente para tal medición (Instituto del Concreto 1997). Los límites granulométricos para agregado fino y grueso se presentan en las tablas 33 y 34-Anexo A respectivamente.
- ✓ **Masa unitaria:** la relación entre la masa del material que cabe en un determinado recipiente y el volumen de éste, da una cifra llamada masa unitaria. La masa unitaria compacta es otro buen índice para conocer la calidad del agregado, puesto que cuanto mejor sea la granulometría mayor es

el valor numérico de la masa. Las partículas cuya forma se aproxima a la cúbica o la esférica, producen mayor masa unitaria. (Instituto del Concreto 1997)

- ✓ **Porosidad y absorción:** Cuanto más poroso es el agregado, menos resistencia mecánica tiene, por lo tanto, cuanto menor sea la absorción, es más compacto y de mejor calidad. (Instituto del Concreto 1997)

- **Propiedades Mecánicas de los Agregados**

Según el Instituto del concreto (1997) las propiedades mecánicas de los agregados son:

- ✓ **Dureza:** Propiedad que depende de la constitución mineralógica, la estructura y la procedencia del agregado. En la elaboración de concretos sometidos a elevadas tasas de desgaste por roce o abrasión, la dureza del agregado grueso es una propiedad decisiva para la selección de los materiales. (Instituto del Concreto 1997)
- ✓ **Resistencia:** El agregado grueso, en mayor medida que el fino, va a resultar relacionado con el comportamiento de las resistencias del concreto, por su aporte en tamaños de grano dentro de la masa de la mezcla. En tal sentido, una de las posibilidades de ruptura de la masa es por medio del agregado grueso (las otras son por la pasta y por la interface de contacto entre pasta y agregado). De esta manera, la resistencia de los agregados cobra importancia y se debe buscar que éste nunca falle antes que la pasta de cemento endurezca. La falla a través del agregado grueso se produce bien sea porque tiene una estructura pobre entre los granos que constituyen las partículas o porque previamente se le han inducido fallas a sus partículas durante el proceso de explotación (especialmente cuando éste se hace por voladura) o por un inadecuado proceso de trituración. (Instituto del Concreto 1997)
- ✓ **Tenacidad o resistencia a la falla por impacto:** Es una propiedad que depende de la roca de origen y se debe tener en cuenta ya que tiene mucho que ver con el manejo de los agregados, porque si estos son débiles ante las cargas

de impacto, se puede alterar su granulometría y también disminuir la calidad del concreto que con ellos se elabore. (Instituto del Concreto 1997)

- ✓ **Adherencia:** Es la interacción que existe en la zona de contacto agregado-pasta, la cual es producida por fuerzas de origen físico-químico. Entre más adherencia se logre entre la pasta de cemento endurecida y los agregados, mayor será la resistencia del concreto. La adherencia depende de la calidad de la pasta de cemento y, en gran medida, del tamaño, forma, rigidez y textura de las partículas del agregado, especialmente cuando se trata de resistencia a flexión. Hoy en día, no se conoce ningún método que permita medir la buena o mala adherencia de los agregados, pero es claro que aumenta con la rugosidad superficial de las partículas. (Instituto del Concreto 1997)

#### **f. Funciones del agregado en el concreto**

Según Rivva López (2000) las tres principales funciones del agregado en el concreto son:

- Proporcionar un relleno adecuado a la pasta, reduciendo el contenido de ésta por unidad de volumen y, por lo tanto, reduciendo el costo de la unidad cúbica de concreto.
- Proporcionar una masa de partículas capaz de resistir las acciones mecánicas, de desgaste, o del 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.

#### **2.2.3. Propiedades principales del concreto fresco**

Según Rivva (2000), las propiedades del concreto en estado fresco incluye la consistencia, trabajabilidad, cohesividad, contenido de aire, segregación, exudación, tiempo de fraguado, calor de hidratación y peso unitario. Para efectos de esta investigación se da mayor énfasis a la consistencia y trabajabilidad.

## A. Consistencia

Propiedad que define la humedad de la mezcla por el grado de fluidez de la misma; entendiéndose con ello que cuanto más húmeda es la mezcla, mayor será la facilidad con la que el concreto fluirá durante su colocación. (Rivva 2000)

Es la habilidad del mortero y concreto fresco para fluir, es decir la capacidad de adquirir la forma de los encofrados que los contienen. (Instituto del concreto 1997)

El método de determinación empleado es el ensayo del Cono de Abrams ó slump (NTP 339.035 y ASTM C 143) que define la consistencia de la mezcla por el asentamiento (es decir, cuanto más húmeda es la mezcla, mayor es el asentamiento), medido en pulgadas o centímetros, de una masa de concreto que previamente ha sido colocada y compactada en un molde metálico de dimensiones definidas y sección tronco cónica. El asentamiento resulta ser la medida de la diferencia de altura entre el molde metálico estándar y la masa de concreto después que ha sido retirado el molde que la recubría. (Gamero 2008)

El asentamiento es un índice de la consistencia del concreto, relacionado con su estado de fluidez (Speicher 2007). La tabla 3 muestra rangos de asentamiento en centímetros que definen la consistencia y trabajabilidad del concreto fresco.

La consistencia se modificada fundamentalmente por variaciones del contenido de agua de la mezcla. En los concretos bien proporcionados, el contenido necesario para producir un asentamiento determinado depende de varios factores, se requiere más agua con agregados de forma angular y textura rugosa, reduciéndose su contenido al incrementarse el tamaño máximo del agregado. (Estrada y Páez 2014)

Tabla 3. Consistencias y trabajabilidad según el asentamiento

Consistencia	Asentamiento (cm)	Trabajabilidad
Seca	0 – 5	Baja
Plástica	7,5 – 10	Media
Fluida o húmeda	12,5 a mas	Alta

Fuente: Gamero (2008)



Figura 1. Prueba slump

Cuando las especificaciones del asentamiento no se dan como requisito máximo la NTP 339.114 – Concreto premezclado, da algunas tolerancias, cuyos valores se muestran en la tabla 4.

Tabla 4. Tolerancia para asentamiento nominal

Asentamiento especificado (cm)	Tolerancia (cm)
0 – 5	(+-) 1,3
5 -10	(+-) 2,5
>10	(+-) 3,8

Fuente: NTP 339.114

## B. Trabajabilidad

Es aquella propiedad del concreto que determina su capacidad para ser manipulado, transportado, colocado y consolidado adecuadamente, con un mínimo de trabajo y un máximo de homogeneidad, así como para ser acabado sin que se presente segregación. Puede ser clasificada según el asentamiento de la mezcla en baja, media y alta. (Gamero 2008)

### 2.2.4. Propiedades del Concreto Endurecido

Según Rivva (2000), las propiedades más importantes del concreto en estado endurecido incluyen las resistencias mecánicas, durabilidad, propiedades elásticas, cambios de volumen, impermeabilidad, resistencia al desgaste, resistencia a la cavitación, propiedades térmicas y acústicas y apariencia.

## **A. Resistencia**

La resistencia del concreto endurecido es la propiedad más importante para cumplir con la exigencia estructural, por lo que usualmente es considerada como la propiedad más valiosa del concreto; sin embargo no debemos olvidar que en muchas ocasiones otras características como la durabilidad y la permeabilidad, resultan ser más importantes. (Estrada y Páez 2014)

El concreto es un material que resiste a las solicitaciones de compresión, tracción y flexión; la resistencia que presenta frente a los esfuerzos de compresión es la más elevada de todas, siendo unas diez veces superior a la de tracción, y es la que más interés presenta en su determinación, dado que en la mayor parte de las aplicaciones del concreto se hace uso de esa capacidad resistente ya que, por otra parte, la resistencia a compresión es un índice muy fácil de determinar de la magnitud de otras muchas propiedades del mismo. En general, las especificaciones del concreto exigen una resistencia a la compresión determinada a los 28 días, obteniéndose esta de forma nada complicada a través del ensayo a compresión. (Estrada y Páez 2014)

### **a. Resistencia a la compresión del concreto**

El valor de  $f'_c$  (resistencia a la compresión) se utiliza generalmente como indicador de la calidad del concreto. Es claro que pueden existir otros indicadores más importantes dependiendo de las solicitaciones y de la función del elemento estructural o estructura. Las Normas o Códigos relacionan muchas de las características mecánicas del concreto (módulo de elasticidad, resistencia a la tracción, resistencia al corte, adherencia, etc.) con el valor de  $f'_c$ . La resistencia a la compresión se determina a partir de ensayos de laboratorio en probetas estándar cargadas axialmente. Este ensayo se utiliza para monitorear la resistencia del concreto tanto para el control de la calidad como para la aceptación del concreto fabricado. La confección de las probetas y el ensayo están regulados por las Normas ASTM. (Ottazzi 2004)

La Fig 2 muestra el ensayo a compresión de un testigo de concreto, cuando éste alcanza la ruptura.

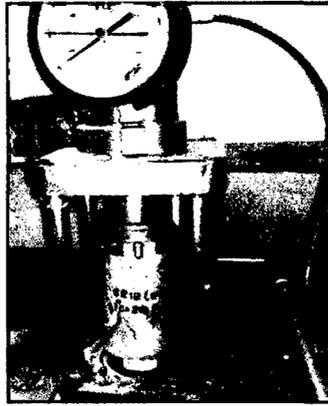


Figura 2. Rotura a carga axial de testigos de concreto

La tabla 5, muestra las tolerancias permisibles para realizar las rupturas de especímenes de concreto a diferentes edades.

Tabla 5. Tolerancia permisible por edad de ensayo

Edad del ensayo (días)	Tolerancia permisible
1	+ - 0,5h
3	+ - 2h
7	+ - 6h
28	+ - 20h
90	+ - 48h

Fuente: NTP 339.034

#### **b. Evolución de la resistencia a compresión del concreto**

El incremento de resistencia del concreto es mayor en las primeras edades, ralentizándose el proceso con el paso del tiempo hasta que se estabiliza. Normalmente se adopta como patrón la resistencia a la edad de 28 días, habiéndose alcanzado a esa edad gran parte de la resistencia total. (Valcuende et al. 2009)

Los factores que más influyen sobre la velocidad de endurecimiento del concreto son las características del cemento, el proceso de curado y el empleo de aditivos. (Valcuende et al. 2009)

Según el Código Modelo CEB-FIP 1990 (Comité Euro-Internacional del Hormigón y la Federación Internacional del Pretensado), se llega a establecer la evolución de la resistencia del concreto en el tiempo de forma aproximada, tomando la fórmula 1.

$$f'_{c(d)} = K_{(d)} * f'_{c28} \quad \dots\dots\dots(1)$$

Donde  $K_{(d)}$ , es un coeficiente como lo expresa la fórmula 2.

$$K_{(d)} = e \left[ s \left( 1 - \sqrt{\frac{28}{d}} \right) \right] \quad \dots\dots\dots(2)$$

Siendo:

$f'_{c(d)}$ = Resistencia a compresión del concreto a la edad “d”.

$f'_{c28}$ = Resistencia a compresión del concreto a edad de 28 días.

S= Coeficiente que depende del tipo de cemento y que adopta los valores:

0,2 Para cementos de endurecimiento rápido y de alta resistencia.

0,25 Para cementos de endurecimiento normal o rápido.

0,38 Para cementos de endurecimiento lento.

d= Edad teórica o equivalente del concreto a una temperatura de 20°C.

La evolución de la resistencia del concreto depende también de la temperatura de conservación, evolucionando más rápidamente cuando mayor es la temperatura, pues esta actúa como catalizador de las reacciones de hidratación del cemento. Para poder relacionar la evolución de la resistencia con la temperatura se utiliza el concepto de madurez: Dos concretos de igual dosificación pero de distinta edad tienen la misma resistencia si tienen la misma madurez. (CEB-FIP, citado por Valcuende et al. 2009)

La madurez “m” es el producto de la temperatura por el tiempo de actuación de la misma. La expresión utilizada es la fórmula 3.

$$m = \sum_{i=1}^t [(T_i + 10)t_i] \quad \dots\dots\dots (3)$$

Donde

$T_i$ =Temperatura de conservación del concreto.

$t_i$ = Tiempo de actuación de la temperatura  $T_i$  en días.

En el caso particular de concretos sometidos durante “d” días a una temperatura constante de 20 °C, la expresión anterior sería:

$$m = 30 d \quad \dots\dots\dots (4)$$

Igualando las dos expresiones anteriores y despejando “d”, se tiene:

$$d = \frac{\sum_{i=1}^t [(T_i + 10)t_i]}{30} \dots\dots\dots(5)$$

Esta edad “d” se denomina edad teórica o equivalente de un concreto, y es el tiempo que ha de permanecer dicho concreto a la temperatura de referencia de 20°C para alcanzar la misma madurez (y, por lo tanto la misma resistencia) que si hubiese estado durante t<sub>i</sub> días reales a una temperatura de T<sub>i</sub>. (Valcuende et al. 2009)

## **B. Durabilidad**

El concepto de durabilidad del concreto se asocia a la capacidad del mismo de mantenerse en servicio durante el tiempo para el cual la estructura de la que forma parte ha sido proyectada. En otras épocas se creía que el concreto tenía una gran durabilidad, pero hoy en día se ve que ésta es limitada ya sea por causas relacionadas con el medio (heladas, ataques por sulfatos del terreno) o por causas internas (reacción álcali-agregado). (Estrada y Páez 2014)

Un concreto durable es aquel que puede resistir, en grado satisfactorio, los efectos de las condiciones de servicios a las cuales él está sometido. (Gamero 2008)

### **2.3. Definición de términos**

**Agregado:** Material granular, de origen natural o artificial, como arena, grava, piedra triturada y escoria de hierro de alto horno, empleado con un medio cementante para formar concreto o mortero hidráulico. (Norma E.060 del RNE 2014)

**Agregado denominado hormigón:** Material compuesto de grava y arena empleado en su forma natural de extracción. (Norma E.060 del RNE 2014)

**Agregado fino:** Proveniente de la desintegración natural o artificial, que pasa el tamiz 9,5 mm (3/8”). (Norma E.060 del RNE 2014)

**Agregado grueso:** Agregado retenido en el tamiz 4,75 mm (N°4), proveniente de la desintegración natural o mecánica de las rocas. (Norma E.060 del RNE 2014)

**Arena:** Agregado fino, proveniente de la desintegración natural de las rocas. (Norma E.060 del RNE 2014)

**Aire atrapado:** Es el aire atrapado de manera natural en el concreto que puede incrementarse a consecuencia de una deficiente colocación o compactación. (Instituto del Concreto de 1997)

**Asentamiento del Concreto:** Es la diferencia entre la altura del recipiente que sirve de molde de una probeta de concreto fresco y la de la probeta fuera del molde, medida en el eje y expresada en pulgadas. (Absalón y Salas 2008)

**Calor de hidratación:** Es la cantidad de calor liberado durante el proceso de hidratación, debido a reacciones fisicoquímicas. (Absalón y Salas 2008)

**Cantera:** Lugar de donde se extrae piedra u otras materias primas de construcción. (Absalón y Salas 2008)

**Cemento:** Material pulverizado que por adición de una cantidad conveniente de agua forma una pasta aglomerante capaz de endurecer, tanto bajo el agua y el aire. (Norma E.060 del RNE 2014)

**Cemento portland:** Producto obtenido por la pulverización del Clinker portland con la adición eventual de sulfato de calcio. (Norma E.060 del RNE 2014)

**Cohesividad:** Aptitud que tiene el concreto para mantenerse con una masa estable y sin segregación. (Instituto del Concreto de 1997)

**Compacidad:** es la facilidad con la que el concreto o mortero fresco es compactado o consolidado para reducir el volumen de vacíos y por lo tanto el aire atrapado. (Instituto del Concreto de 1997)

**Concreto:** Mezcla de cemento portland o cualquier otro cemento hidráulico, agregado fino, agregado grueso y agua, con o sin aditivo. (Norma E.060 del RNE 2014)

**Consistencia:** Habilidad del concreto fresco para fluir, es decir la capacidad de adquirir la forma de los encofrados que lo contienen. (Instituto del Concreto de 1997)

**Contenido de aire:** Es la diferencia entre el volumen aparente de la mezcla y el resultante de la suma de los volúmenes absolutos de los componentes. (Absalón y Salas 2008)

**Diseños de mezcla:** Es la selección de las proporciones de los materiales integrantes de la unidad cúbica de concreto. (Absalón y Salas 2008)

**Dosificación:** Es la proporción en peso o en volumen de los distintos elementos integrantes de una mezcla. (Absalón y Salas 2008)

**Durabilidad:** Es la propiedad que tienen los morteros o concretos de resistir la acción continua de agentes destructivos con los cuales han de estar en contacto. (Absalón y Salas 2008)

**Forma del agregado:** Conjunto de líneas y superficies que determinan el contorno o el volumen de del agregado. (Absalón y Salas 2008)

**Grava:** Agregado grueso, proveniente de la desintegración natural de los materiales pétreos. Se encuentra comúnmente en canteras y lechos de ríos, depositados en forma natural. (Norma E.060 del RNE 2014)

**Influencia:** Efecto, consecuencia o cambio que produce una cosa en otra (Absalón y Salas 2008)

**Mezcla:** Es la cantidad de concreto o mortero preparada de una sola vez. (Absalón y Salas 2008)

**Mortero:** es la mezcla constituida por cemento, agregados predominantemente finos y agua. (Norma E.060 del RNE 2014)

**Muestra:** Es una porción representativa de un material. (Absalón y Salas 2008)

**Pasta:** Es una mezcla de cemento y agua. (Norma E.060 del RNE 2014)

**Piedra triturada o chancada:** Agregado grueso obtenido por trituración artificial de rocas o gravas. (Norma E.060 del RNE 2014)

**Plasticidad:** es la condición del concreto o mortero fresco que le permite deformarse continuamente sin romperse. (Instituto del Concreto de 1997)

**Porosidad:** Es el cociente entre el volumen de los poros y el volumen aparente del cuerpo. (Absalón y Salas 2008)

**Relación agua/cemento:** Es el cociente entre el peso del contenido de agua libre de mezclado y el de cemento en una mezcla dada. (Absalón y Salas 2008)

**Resistencia especificada a la compresión del concreto ( $f'_c$ ):** Resistencia a la compresión del concreto empleada en el diseño y resistencia guía. (Norma E.060 del RNE 2014)

**Resistencia nominal:** Resistencia de un elemento o una sección transversal calculada con las disposiciones e hipótesis del método de diseño. (Norma E.060 del RNE 2014)

**Tamaño máximo nominal:** Es la abertura del tamiz de malla menor a través del cual puede pasar como mínimo el 95% del agregado. (Absalón y Salas 2008)

**Testigos de concreto:** Especímenes que sirven para determinar por lo general las resistencias mecánicas del concreto y llevar el control de calidad del mismo. (Absalón y Salas 2008)

**Textura del agregado:** Carácter que presenta la superficie de un agregado, lo que produce una sensación táctil o visual. (Absalón y Salas 2008)

**Trabajabilidad:** Es la mayor o menor facilidad que presenta un concreto o mortero de ser mezclado, transportado y colocado. (Absalón y Salas 2008)

## CAPÍTULO III. MATERIALES Y MÉTODO

### 3. 1. Ubicación Geográfica de la Investigación

Esta investigación se realizó tomando como base los agregados pétreos de la Cantera Olano, ubicada en el km 4+000 de la carretera Chamaya – Jaén, a proximidades del caserío de Mochenta, en el distrito y provincia de Jaén de la región Cajamarca, así como lo indica la figura 3.

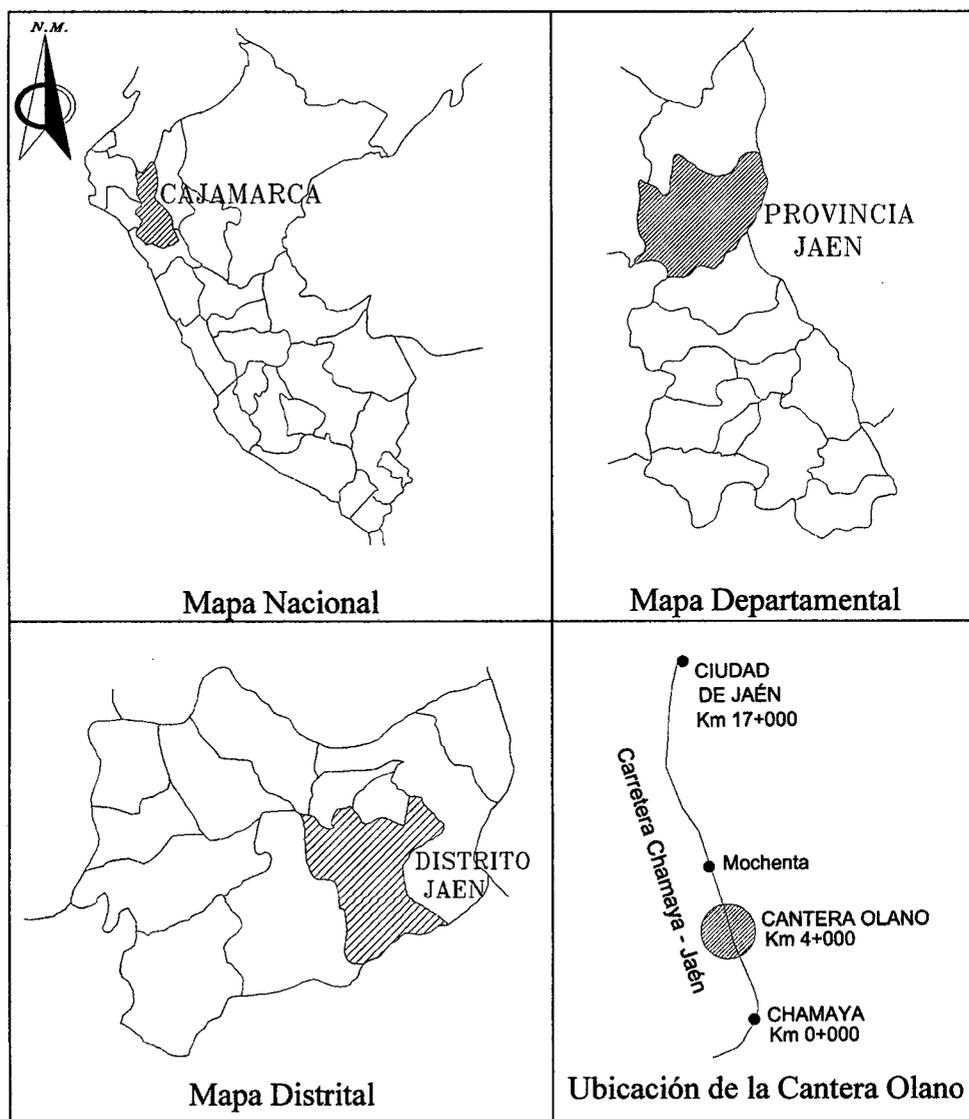


Figura 3. Ubicación y localización de la Cantera Olano

El Grupo Olano extrae el material natural de la quebrada Mochenta, mientras que su acopio de materiales como el lugar de trituración se ubica a pocos metros de la misma, separados por la carretera Chamaya - Jaén así como lo muestra la imagen satelital que se presenta en la Fig 4.



Figura 4. Imagen satelital de la Cantera Olano (Google Earth)

Para determinar las propiedades de los agregados se alquilaron los equipos del laboratorio de EMS Magma de la ciudad de Jaén, por la disponibilidad de todos los equipos y herramientas necesarios para la realización de ensayos.

La elaboración de mezclas, pruebas de asentamiento, elaboración y curado de especímenes de concreto se realizó en un lugar apropiado, ubicado en la calle San Carlos N°1112, de la ciudad de Jaén.

La ruptura de especímenes de concreto a diferentes edades se realizó en el laboratorio de EMS de la Escuela Académico Profesional de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional de Cajamarca – sede Jaén.

Esta investigación se realizó desde inicios del mes de agosto hasta fines del mes de noviembre del 2014, en el distrito y provincia de Jaén en la región Cajamarca.

## **3. 2. Materiales utilizados en los concretos de la investigación**

### **3.2.1. Cemento**

El cemento utilizado es del Tipo I, denominado también portland normal, con peso específico relativo de 3,15.

### **3.2.2. Agua**

El agua utilizada provino de la red de abastecimiento de agua potable de la EPS Maraión S.R.L. de la ciudad de Jaén. El agua se utilizó a temperatura ambiente (20,5°C) y sin alteración alguna para la elaboración de mezclas.

### **3.2.3. Agregados**

El agregado fino y los dos perfiles de agregado grueso se extrajeron de la Cantera Olano. La arena y la grava se extrajeron en forma natural y la piedra chancada se extrajo del acopio de materiales, después del proceso de trituración de las rocas de la mencionada cantera. Se escogieron estos dos perfiles de agregado grueso porque son los más conocidos y utilizados en las construcciones de concreto en el distrito de Jaén, que son la piedra chancada y la grava de río, el primero de forma irregular y textura áspera y el segundo de forma redondeada y textura lisa. (Fig 5)



Figura 5. Formas de agregado grueso utilizadas

### **3.2.4. Aire atrapado**

Según la tabla 8, del método del ACI-211, el aire atrapado en el concreto depende del tamaño máximo del agregado, de esta manera para un tamaño máximo nominal de ¾”, le corresponde aproximadamente un 2% de aire atrapado por unidad cúbica de concreto.

### 3. 3. Procedimientos de los Ensayos Experimentales

#### 3.3.1. Normatividad de ensayos para Agregados y Concreto

Los ensayos de las propiedades de los agregados y el concreto se realizaron de acuerdo a la norma nacional NTP e internacional ASTM. Se muestra a detalle en la tabla 6.

Tabla 6. Normas para ensayos de agregados y concreto

Ensayo	Norma Peruana	ASTM
Análisis granulométrico del agregado fino, grueso y global	NTP 400.012; 2013	ASTM C 136
Método de ensayo normalizado para contenido de humedad total evaporable de agregados por secado	NTP 339.185; 2002	ASTM C 566
Método de ensayo para determinar pesos volumétricos secos, sueltos y compactados	NTP 400.017; 2011	ASTM C 29
Método de ensayo normalizado para peso específico y porcentaje de absorción del agregado grueso	NTP 400.021; 2002	ASTM C 127
Método de ensayo normalizado para peso específico y porcentaje absorción del agregado fino	NTP 400.022; 2013	ASTM C 128
Método de ensayo para la medición del asentamiento del concreto de cemento Portland	NTP 339.035; 2009	ASTM C 143
Práctica para la elaboración y curado de especímenes de concreto en laboratorio	NTP 339.183; 2009	ASTM C 192
Método de ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a la compresión del concreto, en muestras cilíndricas	NTP 339.034; 2008	ASTM C 39
Diseño de mezclas	Método del ACI 211	

### 3.3.2. Descripción de ensayos

#### A. Análisis granulométrico del agregado fino, grueso y global según la NTP 400.012 – 2013 y ASTM C 136.

##### Equipos

- Balanzas: Electrónicas con aproximación 0,1gramos.
- Tamices: 3/4", 1/2", 3/8", N°04, N°08, N°16, N°30, N°50, N°100 y N°200.
- Horno: Capaz de mantener una temperatura uniforme de 110 ° C.

##### Muestreo

Se tomó la muestra de agregado de acuerdo a la NTP 400.010 y se redujo a la cantidad necesaria. En la Fig 6, se aprecia la reducción de la muestra a tamaño de prueba usando el procedimiento de cuarteo.



Figura 6. Cuarteo de muestra

Se escogió aproximadamente 6 Kg para que sea la muestra de prueba para agregado grueso y 500 g para el agregado fino.

##### Procedimiento

- a) Se secó la muestra hasta que su masa sea constante a una temperatura de 110 °C.
- b) Se colocaron los tamices en orden decreciente de tamaño. Luego se puso la muestra desde la parte superior de los tamices y se agitaron manualmente.(Fig 7)

- c) Después del cribado general se dio un cribado individual (por tamiz). La operación terminó cuando en el transcurso de un minuto no pasaba más del 1% en peso del material retenido en cada tamiz.
- d) Finalmente se determinó y registró la masa retenida en cada tamiz en gramos.



Figura 7. Tamizado de agregados

**Cálculos**

- a) Se realizó una tabla con cinco columnas, en la primera se escribió los números de los tamices en orden decreciente.
- b) En la segunda columna se anotaron las masas retenidas en los respectivos tamices.
- c) En la tercera columna se anotaron los porcentajes del material retenido en cada malla, respecto a la masa total de la muestra, mediante la fórmula 6.

$$\% \text{ Retenido} = \frac{W_N}{\sum W_T} \times 100 \dots\dots\dots(6)$$

Donde:

% Retenido = Porcentaje retenido en la malla N respecto a la masa original, en %.

$W_N$  = Masa del material retenido en la malla N, en gramos.

$\sum W_T$  = Suma de las masas retenidas de la columna 2, en gramos.

d) En la cuarta columna se anotaron los porcentajes retenidos acumulados de la siguiente manera:

$$\% \text{ Retenido Acumulado} = \% \text{ Retenido en la malla N} + \% \text{ Retenido Acumulado en la malla anterior}$$

e) En la columna cinco se anotaron los porcentajes que pasa de la siguiente manera:

$$\% \text{ Que pasa} = 100 - \% \text{ Retenido Acumulado en la malla N}$$

f) El módulo de fineza de la arena se calculó dividiendo la sumatoria de los % retenidos acumulados de la cuarta columna, de los tamices N°100, N° 50, N° 30, N° 16, N° 8 y N° 4 entre 100.

## **B. Método de ensayo normalizado para contenido de humedad total evaporable de agregados por secado NTP 339.185 - 2002 y ASTM C 566**

### **Equipos**

- Balanza con sensibilidad de 0.1 gramos.
- Recipiente adecuado para colocar la muestra.
- Estufa capaz de mantener una temperatura de 110 °C.

### **Procedimiento**

- a) Se colocó la muestra húmeda a ensayar en un depósito y se determinó dicho peso (peso del recipiente + muestra húmeda).
- b) Se colocó el recipiente con la muestra a una estufa y se secó durante 24 horas a una temperatura de 110°C.
- c) Luego se pesó el recipiente con la muestra seca (peso del recipiente + muestra seca) y se determinó la cantidad del agua evaporada y peso de la muestra seca.

$$H = (\text{peso del recipiente} + \text{muestra húmeda}) - (\text{peso del recipiente} + \text{muestra seca})$$

$$MS = (\text{peso del recipiente} + \text{muestra seca}) - (\text{Peso del recipiente})$$

## Cálculos

$$\%W = \frac{H}{MS} \times 100 \quad \dots\dots\dots(7)$$

Donde:

H= Peso del agua evaporada o contenido de agua

MS = Peso de la muestra seca

%W= porcentaje de humedad

### **C. Método de ensayo para determinar pesos volumétricos secos, sueltos y compactados según la NTP 400.017 – 2011 y ASTM C 29.**

#### **Equipos**

- Balanza: Con aproximación de 1gramo.
- Barra Compactadora: Recta, de acero liso de 16 mm (5/8") de diámetro y aproximadamente 60 cm de longitud y terminada en punta semiesférica.
- Recipiente de Medida: Cilíndricos metálicos con precisión en sus medidas interiores y de volumen conocido.
- Cuchara de Mano: Para verter el agregado en el molde.

#### **Procedimiento para peso compactado**

- a) Se tomó el agregado y se cuarteó para obtener una muestra representativa.
- b) Se llenó la tercera parte del recipiente de medida y se niveló la superficie con la mano.
- c) Se apisonó la capa de agregado con la barra compactadora, mediante 25 golpes distribuidos uniformemente sobre la superficie. Se llenó hasta las dos terceras partes de la medida y de nuevo se compactó con 25 golpes como antes. (Fig 8)

- d) Finalmente, se llenó la medida hasta rebosar, golpeándola 25 veces con la barra compactadora; el agregado sobrante se eliminó utilizando una regla metálica, como se muestra en la Fig 9.



Figura 8. Compactado de muestra



Figura 9. Enrasado de muestra

- e) Al compactar la primera capa, se procuró que la barra no golpee el fondo con fuerza. Al compactar las últimas dos capas, sólo se empleó la fuerza suficiente para que la barra compactadora penetre la última capa de agregado colocada en el recipiente.
- f) Se determinó el peso del recipiente más su contenido y el peso del recipiente sólo y se registraron los pesos con una aproximación 1 gramo.

#### **Determinación del Peso Suelto**

- a) El recipiente de medida se llenó con una 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 eliminó y luego se niveló la superficie usando la barra lisa. (Fig 10 y11)
- b) Luego se determinó el peso del recipiente de medida más su contenido y también el peso del recipiente solo y se registraron los pesos con una aproximación de 1g.



Figura 10. Vaciado del agregado en el molde

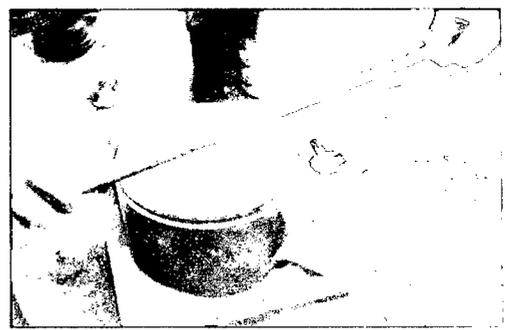


Figura 11. Enrasado de la superficie de la muestra

### Cálculos

El peso unitario compactado o suelto, se calcula como sigue:

$$M = \frac{(G-T)}{V} \dots\dots\dots(8)$$

Donde:

M = Peso Unitario del agregado en g/cm<sup>3</sup>.

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

T = Peso del recipiente de medida en g.

V = Volumen de la medida en cm<sup>3</sup>.

### D. Método de ensayo normalizado para peso específico y porcentaje de absorción del agregado grueso según la NTP 400.021-2002 y ASTM C 127.

#### Equipo

- Balanza: Sensible a 0,1 g y con capacidad de 5000 gramos y Equipada con un dispositivo capaz de suspender la muestra en la cesta con malla de alambre.
- Cesta con malla de alambre: Con abertura de tamiz N° 6.
- Depósito de agua: Para sumergir la cesta de alambre en el agua y un dispositivo para suspenderla del centro de la escala de la balanza.
- Horno: De tamaño apropiado capaz de mantener una temperatura uniforme de 110 °C.
- Una franela

## Procedimiento

- a) Se colocó aproximadamente 3 a 4 Kg de material en un depósito. Seguidamente se sumergió el agregado en agua a temperatura ambiente por un lapso de 24 h.
- b) Después de transcurrido el tiempo de reposo, se decantó el depósito y se escurrió el agua, quedando el material húmedo y saturado. Luego se sacó la muestra del agua y se hizo rodar sobre una franela, hasta hacer desaparecer toda la película de agua visible de la superficie del agregado.(Fig 12)



Figura 12. Agregado con superficie seca

- c) Se obtuvo el peso de la muestra bajo la condición de saturación con superficie seca y con una aproximación de 0,1 g como lo muestra la Fig 13.



Figura 13. Peso de la muestra con superficie seca

- d) Después de pesar, se colocó de inmediato la muestra saturada con superficie seca en la cesta de alambre y se determinó su peso en agua (a una temperatura de 23°C), densidad 1 g/cm<sup>3</sup>. Mientras se sumergía se sacudió la malla para remover todo el aire atrapado. (Fig 14)



Figura 14. Peso de la muestra sumergida en agua

- e) Finalmente se secó la muestra hasta peso constante, a una temperatura de 110°C (Fig 15) y se dejó enfriar hasta la temperatura ambiente, durante 1 h, hasta que la temperatura era cómoda al tacto (aproximadamente 50°C) y luego se pesó.



Figura 15. Secado de la muestra en horno

### Cálculos

- Peso específico de masa (Pem)

$$Pem = \frac{A}{B - C} \dots\dots\dots(9)$$

- Absorción (Ab)

$$Ab.(%) = \frac{B - A}{A} \times 100 \dots\dots\dots(10)$$

Donde:

A = Peso de la muestra seca en el aire en gramos.

B = Peso de la muestra saturada superficialmente seca en el aire en gramos.

C = Peso en el agua de la muestra saturada en gramos.

## **E. Método de ensayo normalizado para peso específico y porcentaje de absorción del agregado fino según la NTP 400.022 – 2013 y ASTM C 128.**

### **Equipo**

- Balanza: Sensible a 0,1g del peso medio y con capacidad de 1000 g.
- Frasco: Picnómetro volumétrico de 500 cm<sup>3</sup> de capacidad.
- 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 340g de peso con un extremo de superficie plano circular de 25 mm de diámetro.
- Horno: Una estufa capaz de mantener una temperatura uniforme de 110°C.

### **Preparación de muestra**

- a) Se colocó aproximadamente 500g del agregado fino, obtenido por método del cuarteo.
- b) Se cubrió la muestra con agua y se dejó reposar durante 24 horas.
- c) Luego se extendió sobre un recipiente plano y amplio y se puso a secar a temperatura ambiente. Se removió la muestra con frecuencia para garantizar un secado uniforme.
- d) Se siguió con esta operación hasta que los granos de agregado no se adherían marcadamente entre sí.
- e) Luego se colocó el agregado fino en el molde cónico, se golpeó la superficie suavemente 25 veces con la barra de metal y se levantó el molde verticalmente (Fig 16). Como el cono del agregado fino mantenía su forma dio a entender que aun la muestra estaba húmeda, entonces se siguió con el secado, revolviendo constantemente y se probó a intervalos frecuentes hasta que el cono se derrumbó al quitar el molde. Esto significó que el agregado fino alcanzó una condición de superficie seca. (Fig 17)



Figura 16. Prueba de absorción del agregado fino

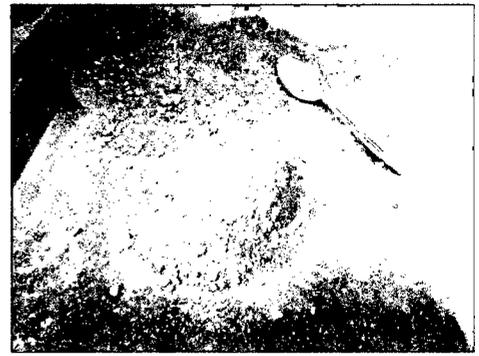


Figura 17. Arena con superficie seca

### Procedimiento de ensayo

- a) Se introdujo de inmediato en el frasco una muestra de 500g del material preparado, se llenó de agua cerca de la marca de 500 cm<sup>3</sup> a una temperatura aproximada de 23°C.
- b) En seguida se agitó el frasco hasta eliminar todas las burbujas de aire, después se colocó en un baño de agua a temperatura aproximada de 23°C.
- c) Después de una hora se llenó con agua hasta los 500 cm<sup>3</sup> y se determinó el peso total del agua introducida en el frasco con aproximación de 0,1gramos. (Fig 18)

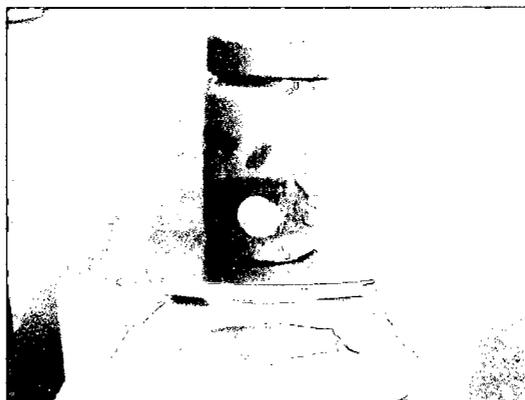


Figura 18. Peso del picnómetro + peso de la muestra + agua

- d) Se sacó el agregado fino del frasco, se secó en el horno a una temperatura de 110°C, luego se enfrió a temperatura ambiente durante una hora y se pesó.

### Cálculos:

- Peso específico de masa (Pem).

$$Pem = \frac{K}{L + N - M} \dots\dots\dots(11)$$

- Absorción (Ab).

$$Ab = \frac{N - K}{K} \times 100 \dots\dots\dots(12)$$

Dónde:

K=Peso de la muestra secada al horno, en gramos.

L=Peso del picnómetro y agua al ras, en gramos.

M=Peso del picnómetro, muestra y agua al ras en gramos.

N=Peso de la muestra saturada con superficie seca, en gramos.

### F. Método de ensayo para la medición del asentamiento del concreto de cemento Portland según la NTP 339.035 - 2009 y ASTM C 143.

#### Equipos

- Cono de Abrams: Molde de forma tronco cónica de 20 cm de diámetro en la base inferior y 10 cm en la base superior, con altura de 30 cm.
- Barra compactadora: De acero lisa de 5/8" (16 mm) de diámetro con punta semiesférica y de aproximadamente 60 cm de longitud.
- Wincha: Para medir el asentamiento.

#### Procedimiento

- a) Se humedeció el molde y se colocó sobre una placa de acero liso, no absorbente.
- b) Se apoyó firmemente el molde sobre la base colocando y presionando con los dos pies los estribos del molde. Se evitó mover los pies durante el llenado del molde, para no fallar el ensayo.

- c) Luego se llenó el molde en tres capas, de modo que cada capa ocupe la tercera parte del volumen del molde.
- d) Se compactó cada capa en toda su profundidad con 25 penetraciones de la varilla, distribuyendo las penetraciones en toda la superficie de cada capa.
- e) En la compactación de la segunda y tercera capa se buscó penetrar la capa anterior una pulgada y varillar desde cerca del perímetro y continuar progresivamente en forma espiral hacia el centro del molde.
- f) Cuando se compactó la última capa, se adicionó un excedente de concreto sobre el molde antes de comenzar el varillado.
- g) Luego se enrasó el concreto fresco, rodando la varilla de compactación sobre el borde superior del molde.
- h) Después se levantó el molde cuidadosamente en dirección vertical de un solo movimiento y sin giros. En un tiempo de 5 a 10 segundos.
- i) Finalmente se midió el asentamiento determinado por la diferencia entre la altura del molde y la del centro de la cara superior del cono de mezcla deformado. (Fig 19)



Figura 19. Medición del asentamiento

- j) Esta prueba se desarrolló sin interrupciones en no más de 2,5 minutos y cuando al levantar el cono se produjo una falla por corte, se descartó la prueba y realizó el ensayo con una nueva porción de mezcla.

## **G. Práctica para la elaboración y curado de especímenes de concreto en Laboratorio según la NTP 339.183 – 2009 y ASTM C 192.**

### **Equipos, materiales y herramientas**

- Recipiente de muestreo: No absorbente con suficiente capacidad para mezclar.
- Molde cilíndrico: De 15 cm de diámetro por 30 cm de altura.
- Varilla compactadora: De acero lisa de 5/8" (16 mm) de diámetro con punta semiesférica y de aproximadamente 60 cm de longitud.
- Martillo: Con cabeza de goma de 0,6 Kg de masa.
- Herramientas: Pala, cucharón, espátula, plancha y paleta de albañil.
- Aceite: Para evitar la adherencia entre el molde y la mezcla de concreto.

### **Procedimiento del mezclado manual del concreto**

- a) Se realizó el mezclado en un depósito resistente, utilizando una paleta despuntada de albañil.
- b) Se mezcló el cemento y el agregado fino sin adicionar agua hasta que estuvieron completamente mezclados.
- c) Luego se adicionó el agregado grueso y se mezcló la amasada completa, sin adición de agua hasta que el agregado grueso estuvo uniformemente distribuido en toda la amasada.
- d) Al final se agregó agua, y se mezcló la amasada hasta obtener un concreto homogéneo en apariencia y de la consistencia deseada.

### **Procedimiento para moldeo de especímenes**

- a) Se limpiaron las probetas y se untó ligeramente el interior con aceite quemado para que el concreto no se adhiriera a las paredes del molde, luego se colocó en una superficie limpia, nivelada y firme.
- b) Luego con la ayuda de un cucharón se coló el concreto en los moldes. Se cuidó en distribuir el material uniformemente alrededor del perímetro del molde.

- c) Se llenaron las probetas en tres capas y cada una de estas con 1/3 de volumen, se compactó 25 veces en todo su espesor en la primera capa, mientras que en la segunda y tercera capa se varilló el tercio correspondiente más una pulgada de la capa subyacente. Cabe señalar que en cada capa se distribuyó uniformemente el varillado en toda la sección transversal del molde. ( Fig 20)



Figura 20. Compactado de los especímenes de concreto

- d) Una vez llenadas las probetas fueron golpeados ligeramente el exterior del molde de 10 a 15 veces con el mazo de hule para cerrar los huecos dejados por la varilla de compactación. (Fig 21)



Figura 21. Eliminación de aire en el espécimen

- e) Se retiró el exceso de concreto con la varilla de compactar (Fig 22) y se enrasó la parte superior con una plancha de albañil para producir una superficie plana.



Figura 22. Retiro del exceso de mezcla

- f) Luego se realizó el acabado final de la superficie expuesta del espécimen con la mínima manipulación necesaria a fin de lograr una superficie plana y a nivel con el borde del molde.

**Desencofrado de testigos:** El desencofrado se realizó a las 24 horas después de la elaboración de testigos y luego se procedió a colocar su identificación, considerando fecha de elaboración, resistencia del concreto, y código de identificación.

**Curado de testigos:** Los testigos de esta investigación se curaron con agua potable hasta un día antes de su ruptura. El curado fue bajo sombra y se mantuvo en una temperatura promedio del agua de 20,5 °C.

**H. Método de ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a la compresión del concreto, en muestras cilíndricas según la NTP 339.034 - 2008 y ASTM C 39.**

#### **Máquina de ensayo**

La máquina compresora para determinar la carga de ruptura de los testigos de concreto de esta investigación, trata de un equipo mecánico que dispone el laboratorio de EMS de la facultad de ingeniería de la Universidad Nacional de Cajamarca sede Jaén. Cabe mencionar que la máquina al tiempo de la prueba estuvo calibrada y en condiciones de buena funcionalidad.

## **Procedimiento**

- a) Todos los testigos de concreto para una determinada edad de ensayo fueron puestos a prueba dentro del tiempo permisible de tolerancias.
- b) Antes de ensayarlos se realizó la medición del diámetro de los especímenes de concreto en dos direcciones perpendiculares y en ambas cabezas, y luego se sacó un diámetro promedio.
- c) Colocación: Para realizar las pruebas se utilizaron dos placas o bloques adaptados con neoprenos. Se limpiaron las superficies dichas placas superior e inferior y las cabezas del espécimen de prueba, luego se colocó el neopreno inferior en el eje de aplicación de carga de la compresora y sobre éste el testigo de prueba, luego se colocó el neopreno superior y se aplicó la carga axial.
- d) Verificación del cero: Antes de ensayar la probeta, se verificó que el indicador de carga esté en cero.
- e) Velocidad de carga: Luego se aplicó la carga continuamente y sin detenimiento. Tratando de mantener una velocidad de esfuerzo sobre la probeta de 0,25 MPa/s.
- f) Se aplicó la carga hasta que se produjo la falla de ruptura del testigo de concreto. No se tuvo en cuenta en cuenta la deformación de los mismos.
- g) Se registró la carga máxima alcanzada por el espécimen durante el ensayo.

## **Cálculos**

- Se calculó la resistencia a la compresión del espécimen dividiendo la carga máxima alcanzada por el espécimen durante el ensayo entre el área promedio de la sección del cilindro. (Fórmula 13)
- Para efectos de esta investigación las pruebas se rompieron a edades de 7, 14, 21 y 28 días, para los diseños de mezclas de  $f'c=175$  y  $210 \text{ Kg/cm}^2$  y para las dos

perfiles más utilizadas de agregado grueso (grava redondeada de río y piedra chancada).

$$f'c = \frac{P}{A} = \frac{AG}{\pi D^2} \dots\dots\dots(13)$$

Donde:

$f'c$  = Resistencia de ruptura a la compresión, en Kg/cm<sup>2</sup>.

P = Carga máxima axial aplicada al espécimen en el momento de la falla, en Kg.

A = Área de la sección transversal del espécimen, en cm<sup>2</sup>.

D= Diámetro promedio del espécimen, en cm.

### I. Pasos para Diseños de Mezclas - Método Del ACI 211.

El Instituto Americano del Concreto (ACI 211), recomienda nueve pasos para diseñar una mezcla de concreto, los cuales se describen a continuación:

**Paso 1. Elección del revenimiento para cumplir los requisitos de trabajo:** Para esta investigación se escogió trabajar con revenimiento de 7,5 a 10 cm (3” a 4”) que corresponde a una consistencia plástica de la mezcla. La elección se hizo según la tabla 7.

Tabla 7. Revenimientos recomendados para varios tipos de construcción

Tipos de Construcción	Revenimiento (cm)	
	Máximo*	Mínimo
Muros de cimentación y zapatas	7,5	2,5
Zapatas, cajones de cimentación y muros de sub-estructuras sencillos	7,5	2,5
Vigas y muros reforzados	10,0	2,5
Columnas para edificios	10,0	2,5
Pavimentos y losas	7,5	2,5
Concreto masivo	7,5	2,5

Fuente. ACI 211

\*También se puede incrementar 2,5 cm, cuando los métodos de compactación no sean por vibrado.

**Paso 2. Elección del tamaño máximo del agregado:** Cuando se desea un concreto de alta resistencia los mejores resultados se obtienen reduciendo el tamaño máximo del agregado, ya que estos producen resistencias altas con una relación Agua/Cemento determinada. El tamaño máximo elegido para esta investigación fue de 3/4" para ambos diseños de mezcla ( $f'c=175$  y  $210 \text{ Kg/cm}^2$ ).

**Paso 3. Determinación del agua de mezclado y contenido de aire:** La cantidad estimada de agua y porcentaje de aire en kilogramos para un metro cúbico de concreto se estimaron en la tabla 8, considerando un concreto sin aire incluido, utilizando los datos seleccionados en el paso 1 y paso 2.

Tabla 8. Agua,  $\text{Kg/m}^3$  de concreto para TM nominal de agregado indicado y % de aire estimado

Revenimiento		3/8"	1/2"	3/4"	1"	1 1/2"	2"	3"	6"
cm	pulgadas	Concreto sin aire incluido							
2,5 - 5	1" - 2"	207	199	190	179	166	154	130	113
7,5 - 10	3" - 4"	228	216	205	193	181	169	145	124
15 - 17,5	6" - 7"	243	228	216	202	190	178	160	...
% Aire atrapado		3,0	2,5	2,0	1,5	1,0	0,5	0,3	0,2

Fuente: ACI 211

**Paso 4. Selección de la relación Agua/Cemento:** Antes de la selección de la relación agua /cemento, se encontró la resistencia promedio o esfuerzo crítico de diseño  $f'cr$ , según la tabla 9 y fórmula 14.

$$f'cr = f'c + k \dots\dots\dots(14)$$

Donde

$f'cr$  = Esfuerzo crítico de diseño o resistencia promedio a la compresión requerida.

$f'c$  = Esfuerzo a la compresión especificado.

$k$  = Coeficiente.

Con la ayuda de la tabla 9, se encontró la resistencia promedio a la compresión requerida, que se recomienda utilizarla cuando no se dispone de datos de campo y no se cuenta con desviaciones estándares conocidas.

Tabla 9. Resistencia promedio a la compresión requerida

Resistencia especificada a la compresión		Resistencia promedio requerida a la compresión	
Mpa	Kgf/cm <sup>2</sup>	Mpa	Kgf/cm <sup>2</sup>
$f_c < 21$	$f_c < 210$	$f_{cr} = f_c + 7.0$	$f_{cr} = f_c + 70$
$21 \leq f_c \leq 35$	$210 \leq f_c \leq 350$	$f_{cr} = f_c + 8.5$	$f_{cr} = f_c + 85$
$f_c > 35$	$f_c > 350$	$f_{cr} = 1.10 f_c + 5.0$	$f_{cr} = 1.10 f_c + 50$

Fuente: ACI 318 y norma E.060 del RNE

Los valores de la tabla 10 son aproximados y relativamente conservadores para concretos que contengan cemento Portland. La elección de la relación agua /cemento se basó en el criterio de buscar una cantidad mayor de cemento.

Tabla 10. Relación agua/cemento y la resistencia a la compresión del concreto

Resistencia a la compresión a los 28 días *	Relación agua/cemento (por peso)	
	Concreto sin incluir aire	Concreto con aire incluido
Kg/cm <sup>2</sup>		
450	0,38	---
400	0,43	---
350	0,48	0,40
300	0,55	0,46
250	0,62	0,53
200	0,7	0,61
150	0,8	0,71

Fuente: ACI 211

\* La resistencia está basada en cilindros de 15 x30 cm.

**NOTA:** Para resistencias no especificadas es válida la interpolación lineal.

**Paso 5. Cálculo del Contenido de Cemento:** La cantidad de cemento por volumen unitario de concreto se encontró por las determinaciones expuestas en el paso 3 y 4. El cemento requerido fue igual al contenido estimado de agua de mezclado (paso 3), dividido entre la relación Agua/Cemento (paso 4).

**Paso 6. Estimación del contenido de agregado grueso:**

En la tabla 11, con el tamaño máximo nominal del agregado y el módulo de finura de la arena, se encontró el volumen de agregado grueso varillado en seco por volumen unitario de concreto. El volumen seleccionado, se convirtió a peso seco del agregado grueso requerido en un metro cúbico de concreto, multiplicándolo por el peso unitario de varillado en seco.

Tabla 11. Volumen de agregado grueso por unidad de volumen del concreto

Tamaño máximo nominal del agregado	Volumen de agregado varillado en seco, por volumen unitario de concreto para diferentes módulos de finura de la arena			
	2,4	2,6	2,8	3
Pulgadas				
3/8"	0,50	0,48	0,46	0,44
1/2"	0,59	0,57	0,55	0,53
3/4"	0,66	0,64	0,62	0,60
1"	0,71	0,69	0,67	0,65
1 1/2"	0,75	0,73	0,71	0,69
2"	0,78	0,76	0,74	0,72
3"	0,82	0,80	0,78	0,76
6"	0,87	0,85	0,83	0,81

Fuente: ACI211

**Paso 7. Estimación del contenido de agregado fino:** Al término del paso 6, todos los ingredientes del concreto fueron estimados excepto el agregado fino, cuya cantidad se determinó por diferencia. Para calcular esto se utilizó el método del volumen absoluto, el cual implica el empleo de volúmenes desplazados por los componentes. En este caso, el volumen total desplazado por los componentes conocidos (agua, aire, cemento y agregado grueso) se restaron del volumen unitario de concreto para obtener el volumen requerido de agregado fino. El

volumen ocupado por cualquier componente en el concreto se determinó dividiendo su masa entre la densidad de ese material.

**Paso 8. Ajustes por humedad del agregado:** Debido a que los agregados se utilizaron en estado húmedo se hizo la corrección por humedad de los mismos, multiplicando el peso seco por la sumatoria de la unidad más la humedad respectiva.

Así mismo para mantener la misma relación agua/cemento seleccionada en el paso 4, se hizo la corrección de la misma, utilizando la fórmula 15.

$$Ac = A + (Dif1 * WG) + (Dif2 * WA) \dots\dots\dots(15)$$

Donde

Ac=Agua corregida en Kg

A= Agua inicial de diseño Kg

Dif 1= Diferencia del % de absorción menos el % de humedad de la grava.

Dif 2= Diferencia del % de absorción menos el % de humedad de la arena.

WG= Peso seco de la grava en un metro cubico de concreto en Kg.

WA= Peso seco de la arena en un metro cubico de concreto en Kg.

**J. Procedimiento para hacer coincidir la granulometría de la piedra chancada con la grava redondeada.**

Cuando se realizó la granulometría de la piedra chancada se obtuvo que para una muestra de 6,328 Kg se retuvo cierto peso de agregado en cada tamiz (3/4", 1/2", 3/8", N°04 y N°08), entonces para hacer coincidir las granulometrías, se tamizó la grava redondeada con los mismos tamices y se guardaron por separado las cantidades retenidas por cada malla (sin importar los pesos). Luego, conociendo el peso total del agregado grueso por tanda (según los diseños de mezcla), se hizo un cálculo con regla de tres simple con los pesos parciales retenidos por cada tamiz mencionado. Luego de haber encontrado los resultados se procedió a pesar la grava redondeada, determinando de esta manera los pesos requeridos (por tanda) para cada tamaño de partícula. Este proceso se detalla en la tabla 38 – Anexo A.

### **3.3. Tratamiento y análisis de datos y presentación de resultados**

La forma y textura de la piedra chancada y grava redondeada se determinó utilizando el criterio de la norma británica BS-812. Para estos dos perfiles de agregado grueso, no fue necesario realizar una prueba de laboratorio para determinar su forma y textura, porque están bien definidos a simple vista y además están considerados en las tablas de clasificación (tabla 1 y tabla 2) que han sido aceptadas como válidas por el Instituto del Concreto de 1997.

Para los diseños de mezcla de referencia de  $f'c=175$  y  $210 \text{ Kg/cm}^2$ , primero se determinaron las propiedades de los agregados fino y grueso, tales como: La granulometría, humedad natural, peso unitario suelto y compactado, peso específico de masa y absorción. Los datos fueron recopilados con ayuda de instrumentos de recolección de datos, luego procesados en el programa Excel usando tablas para determinar los valores finales haciendo los cálculos respectivos y, posteriormente los resultados se compararon en gráficos estadísticos. Los únicos valores que se expresaron en porcentajes son la humedad y absorción de los agregados.

Los diseños de mezcla se desarrollaron a detalle en el Anexo B. El resultado de dichos diseños se analizó con graficas porcentuales y descripción textual de las proporciones resultantes en peso (para un metro cúbico de concreto). También se sacó el proporcionamiento por cada mezcla (tanda) considerando que cada una de éstas debería de llenar tres probetas cilíndricas de 15 por 30 cm más el troco cónico de Abrams, con diámetro superior de 10 cm, diámetro inferior de 20cm y, altura de 30 cm, así como se muestra en el Anexo B.

Los diseños de referencia fueron hechos para piedra chancada y aplicada luego a las mezclas de grava redondeada bajo las siguientes condiciones: El factor agua/cemento inicial (peso por tanda) fue el mismo para cada resistencia diseñada, el mismo peso de arena de la Cantera Olano, el mismo peso de agregado grueso (solo reemplazando el peso de grava redondeada por el de piedra chancada o viceversa), pero además se hicieron coincidir las granulometrías de éstos (ver tabla 38 – Anexo A) y por ende el tamaño máximo nominal de los agregados.

Si bien los resultados de diseño de mezclas son importantes, se le da mayor interés a los resultados finales de la investigación, de consistencia y resistencia a la compresión del concreto, porque son estos los que verificaron la veracidad de la hipótesis de la investigación.

La recolección de datos de asentamiento o pruebas slump que determinaron la consistencia del concreto fresco se realizaron por cada tanda o mezcla, es decir, por cada tres probetas de concreto. Para cada concreto se realizaron en total 8 mezclas y para cada mezcla una prueba slump, así como lo indican las tablas 12.

Los resultados de consistencia se analizaron de acuerdo a los asentamientos con la ayuda de tablas y gráficos (figuras) expresadas en centímetros, y fueron comparadas textualmente con las consistencias y/o asentamientos expresados en la tabla 3 del marco teórico. Esta propiedad del concreto fresco también se expresó en pulgadas en parte del análisis y en las conclusiones.

Para cada resistencia de concreto estudiadas ( $f'c=175$  y  $210 \text{ Kg/cm}^2$ ) se elaboraron 24 testigos: 12 hechos a base de piedra chancada y 12 hechos a base de grava redondeada. De estos 12 cilindros, 3 se rompieron a 7 días, 3 a 14 días, 3 a 21 días y los 3 a los 28 días de edad. Para cada concreto se realizaron en total 8 mezclas y para cada mezcla tres testigos de concreto (T.C.), así como lo indica la tabla 12.

Tabla 12. Cantidad de pruebas slump y testigos de concreto por cada mezcla y perfil de agregado grueso

Mezclas por cada agregado de cada resistencia	$f'c=175 \text{ Kg/cm}^2$				$f'c=210 \text{ Kg/cm}^2$			
	Piedra Chancada		Grava Redondeada		Piedra Chancada		Grava Redondeada	
	Slump	T.C.	Slump	T.C.	Slump	T.C.	Slump	T.C.
Mezcla 1	1	3	1	3	1	3	1	3
Mezcla 2	1	3	1	3	1	3	1	3
Mezcla 3	1	3	1	3	1	3	1	3
Mezcla 4	1	3	1	3	1	3	1	3

La relación de las pruebas slump con los códigos de testigos de concreto, se detalla en las tablas 35 y 36 - Anexo A.

Las resistencias a la compresión de los concretos a edades de 7, 14, 21 y 28 días de edad, resultaron del promedio de tres resistencias (de los tres testigos de concreto que se asignó para cada edad). Las resistencias a la compresión se encontraron para cada testigo usando tablas y luego se sacó el promedio para obtener un resultado confiable, así como lo sugiere el ACI 318.08, y con estos resultados finales se hizo el análisis mediante tablas y gráficos elaborados en el programa excel y discutidos con resultados de otras investigaciones mencionadas en antecedentes y marco teórico.

Se hizo comparación entre las resistencias alcanzadas por el concreto con piedra chancada y el concreto hecho con grava redondeada, a fin de determinar cuál es la variación en resistencia que se llevan ambos concretos, para este análisis se usaron tablas. También las resistencias se analizaron con gráficos expresados en porcentajes, para determinar la diferencia porcentual entre resistencias y si compararlas con otras investigaciones.

Generalmente el tratamiento y procesamiento de datos se realizaron utilizando tablas y para el análisis en algunos casos tablas, en otros usando gráficos y en algunos haciendo uso de ambos.

## **CAPÍTULO IV. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS**

Las dos formas de agregado grueso escogidos para esta investigación son los más comunes y utilizados en la construcción en el distrito de Jaén, de formas y texturas bien definidos. Según tablas de la norma británica BS-812 que han sido adoptadas como ciertas por el Instituto del Concreto de 1997, la piedra chancada o triturada tiene forma angular porque tiene bordes bien definidos en las intersecciones de caras que a la vez son aproximadamente planas, y según su textura lo clasifica como ásperas porque sus caras tienen fracturas rugosas. Así mismo clasifica a las gravas de río como agregado de forma redondeada y textura lisa porque son completamente desgastadas por el agua o totalmente formadas por fricción. Estas clasificaciones se pueden constatar en las tablas 1 y 2 del marco teórico.

Estos resultados de la forma y textura de los agregados gruesos son respaldados por Shetty, citado por Alvarado (2010), afirman que generalmente, los agregados redondeados tienen una textura lisa y los agregados angulares tienen una textura rugosa. También respaldan esta posición Fernández (2005), quien afirma que son redondeados los agregados extraídos de ríos y generalmente angulosos los obtenidos del proceso de trituración. También concluye lo mismo Estrada y Páez (2014).

En la tabla 13 se presentan los datos y resultados granulométricos de la arena, obtenidos en laboratorio, donde podemos notar que su módulo de finura es 2,69 y es considerado como buen agregado fino para la elaboración de concretos, ya que está entre los rangos de 2,2 y 3,1. Según Uribe, citado por Chan (2003), a módulos de finura mayores de 3,1 menciona que las mezclas pueden reducir su manejabilidad y a valores menores de 2,2 los concretos pueden ser muy pastosos y pueden provocar agrietamientos de tipo contracción por secado.

También se puede apreciar en la tabla 13, que el porcentaje de finos que pasan la malla N° 200 es de 1,68% del peso inicial de la muestra, y este valor está dentro del límite permitido para la elaboración de concretos, puesto que el límite máximo es del 5% para concretos sometidos a la abrasión.

Tabla 13. Análisis granulométrico del agregado fino

Abertura de malla		Peso Retenido	% Retenido Parcial	% Retenido Acumulado	% Que Pasa	Límites ASTM C 33
Pulg	mm					
3/8"	9,53				100	100
N°04	4,76	21,96	4,39	4,39	95,61	95 - 100
N°08	2,38	20,78	4,16	8,55	91,45	80 - 100
N°16	1,19	110,50	22,10	30,65	69,35	50 - 85
N°30	0,59	127,47	25,49	56,14	43,86	25 - 60
N°50	0,3	100,45	20,09	76,23	23,77	10 - 30
N°100	0,15	82,43	16,49	92,72	7,28	2 - 10
N°200	0,07	28,01	5,60	98,32	1,68	
<N°200		8,40	1,68	100,00	0,00	
Peso Inicial (g)		500,00				
Módulo de finura		2,69				

La Fig 23 muestra la curva granulométrica del agregado fino de la Cantera Olano, donde se puede apreciar que tiene una buena distribución de sus partículas, es decir, es una arena bien graduada, puesto que se encuentra en su totalidad dentro de los límites granulométricos dispuestos por la ASTM C 33.

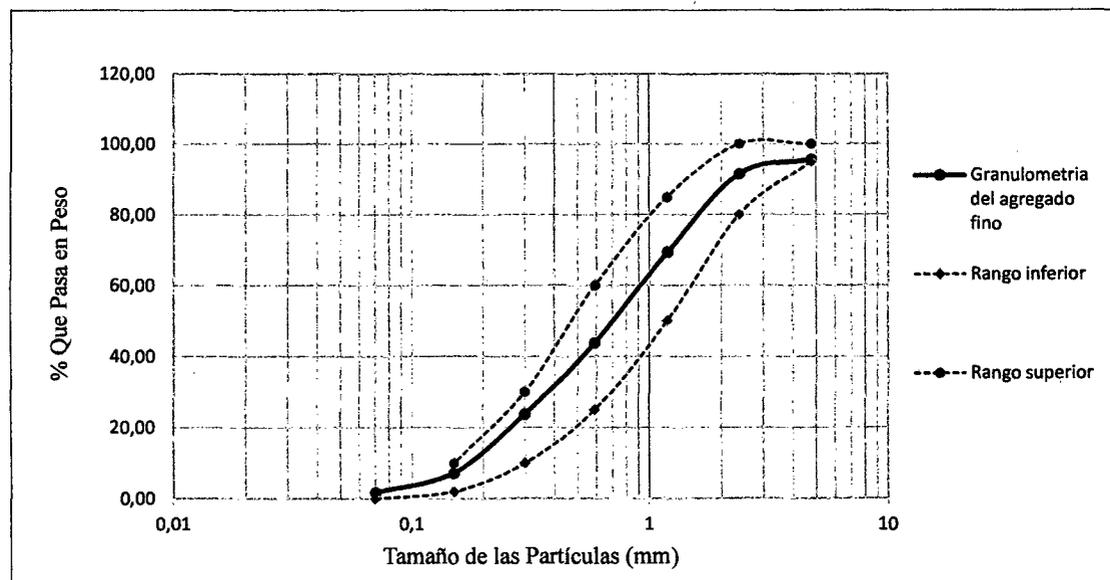


Figura 23. Análisis granulométrico del agregado fino

La arena fue utilizada en todas las mezclas de concreto. Tuvo la participación en 32% en el peso de todas las tandas de concreto de  $f'c=175 \text{ Kg/cm}^2$  y 30% en todas las tandas de concreto de  $f'c=210 \text{ Kg/cm}^2$ , por esta razón, se intuye que sus características influyeron de igual manera en todas las mezclas y por ende no alteraron los resultados de la investigación.

El análisis granulométrico del agregado grueso se realizó para piedra chancada (tabla 14), pero a la vez se consideró el mismo para la grava redondeada, dado que se hicieron coincidir la distribución de partículas (tabla 38 –Anexo A). Por tanto, la piedra chancada y grava redondeada tuvieron igual participación granulométrica en las mezclas de esta investigación y esto no permitió variación en los resultados de la misma, donde solo se investigó la influencia de la forma y textura del agregado grueso.

La tabla 14 muestra los datos, su procesamiento y resultados de la granulometría del agregado grueso y también el tamaño máximo nominal de los agregados (3/4”), el cual permite determinar el agua y aire atrapado en los dos diseños de mezcla de referencia utilizando el método del ACI-211.

Tabla 14. Análisis granulométrico del agregado grueso

Abertura de malla		Peso Retenido	% Retenido Parcial	% Retenido Acumulado	% Que Pasa	Huso Granulométrico 6
Pulg	mm					
1"	25,40				100	100
3/4"	19,05	605	9,56	9,56	90,44	90 -100
1/2"	12,70	3086	48,77	58,33	41,67	20 -55
3/8"	9,53	1480	23,39	81,72	18,28	0 - 15
N°04	4,76	1125	17,78	99,49	0,51	0 -5
N°08	2,38	32	0,51	100,00	0,00	
Peso Inicial (g)		6328				

En la Fig 24, se observa la distribución granulométrica del agregado grueso comparado con los requisitos granulométricos del huso 6, establecido por la norma ASTM C 33, presentada en la tabla 34 –Anexo A. Esta granulometría no tiene una distribución ideal pero si es apta para la elaboración de mezclas de concreto porque la mayor parte de su curva se encuentra dentro de los rangos normados.

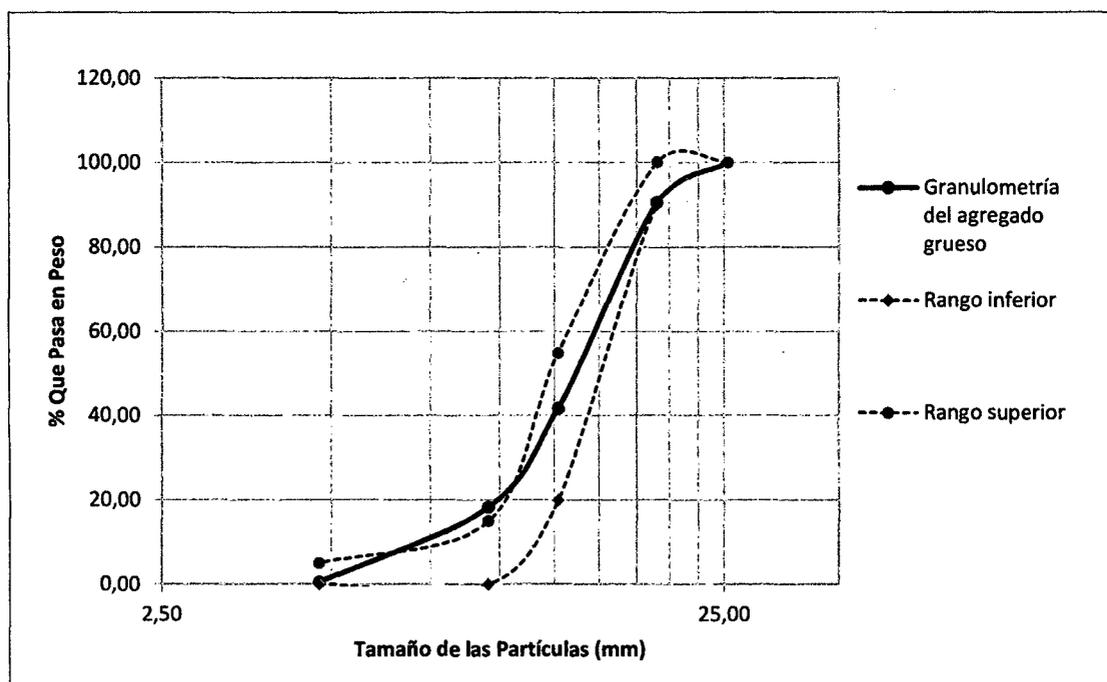


Figura 24. Análisis Granulométrico del agregado grueso

En la tabla 15 se muestran los datos, el procesamiento de los mismos y los resultados finales de la humedad de los agregados, obtenidos del promedio de la elaboración de dos ensayos por muestra de agregado, a fin que los resultados sean confiables.

Tabla 15. Humedad de los agregados pétreos

Material	Arena		Piedra chancada		Grava redondeada	
	1	2	1	2	1	2
Nº Ensayo						
Peso húmedo + tara (g)	127,36	131,76	180,38	210,58	1093,88	1008,40
Peso seco + tara (g)	125,67	130,27	179,98	210,16	1091,26	1006,38
Peso de la tara (g)	18,17	18,17	31,25	31,25	63,40	63,40
Contenido de agua (g)	1,69	1,49	0,40	0,42	2,62	2,02
Peso suelto seco (g)	107,50	112,10	148,73	178,91	1027,86	942,98
Humedad %	1,57	1,33	0,27	0,23	0,25	0,21
Humedad promedio %	1,45		0,25		0,23	

La humedad natural de la Piedra chancada y Grava redondeada resultaron ser idénticas como lo muestra la (Fig 25), esto favoreció a la investigación, dado que por esta característica de los agregados gruesos no hubo una variación significativa en el factor agua/cemento durante el mezclado, tomando en cuenta que los diseños están hechos para piedra chancada mas no para grava redondeada.

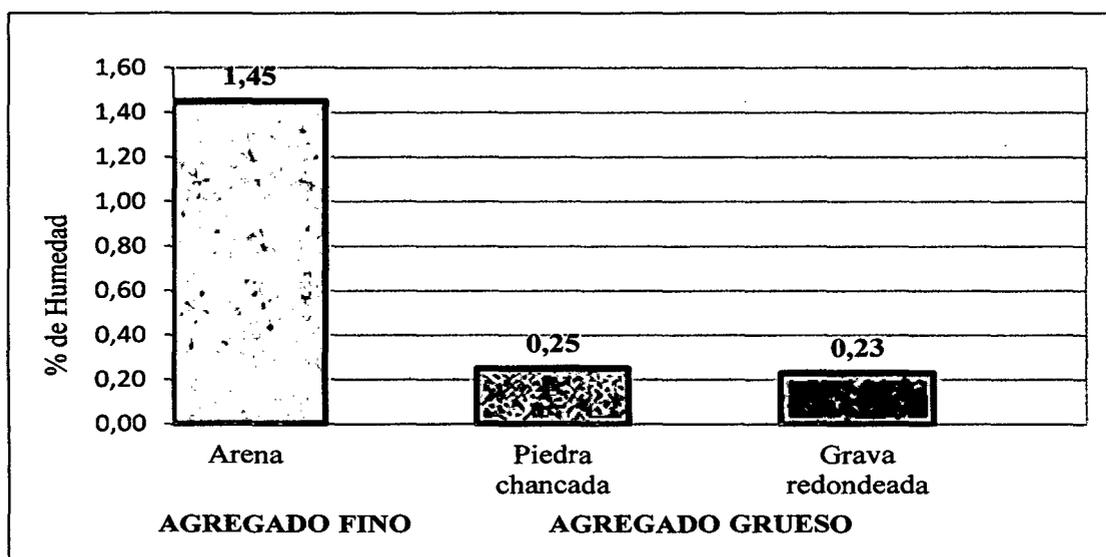


Figura 25. Humedad de los agregados pétreos

En las tablas 16, 17, 18 y 19, aparecen los datos, su procesamiento y los resultados del peso unitario suelto de los agregados, peso unitario compactado, peso específico de masa del agregado fino y el peso específico de masa del agregado grueso, respectivamente.

En las Fig 26, 27 y 28, se observan los resultados del peso unitario suelto, peso unitario compactado y el peso específico de masa, respectivamente. En todas las figuras se aprecia la ventaja en peso que tiene la grava redondeada respecto a la piedra chancada, esta característica indica que los especímenes hechos a base de grava redondeada obtuvieron mayor peso y, se intuye que esta característica favoreció en cierta medida a la resistencia a compresión del concreto endurecido elaborado con dicha grava.

Tabla 16. Peso unitario suelto de los agregados pétreos

Material	Arena		Piedra chancada		Grava redondeada		
	Nº Ensayo	1	2	1	2	1	2
Peso del molde + Peso de la muestra (g)		9506	9454	9079	9165	9521	9489
Peso del molde (g)		6080	6080	6080	6080	6080	6080
Peso de la muestra (g)		3426	3374	2999	3085	3441	3409
Volumen del molde (cm <sup>3</sup> )		2159	2159	2159	2159	2159	2159
Peso unitario suelto (g/cm <sup>3</sup> )		1,587	1,563	1,389	1,429	1,594	1,579
Peso Unitario suelto Promedio (g/cm <sup>3</sup> )		1,575		1,409		1,587	

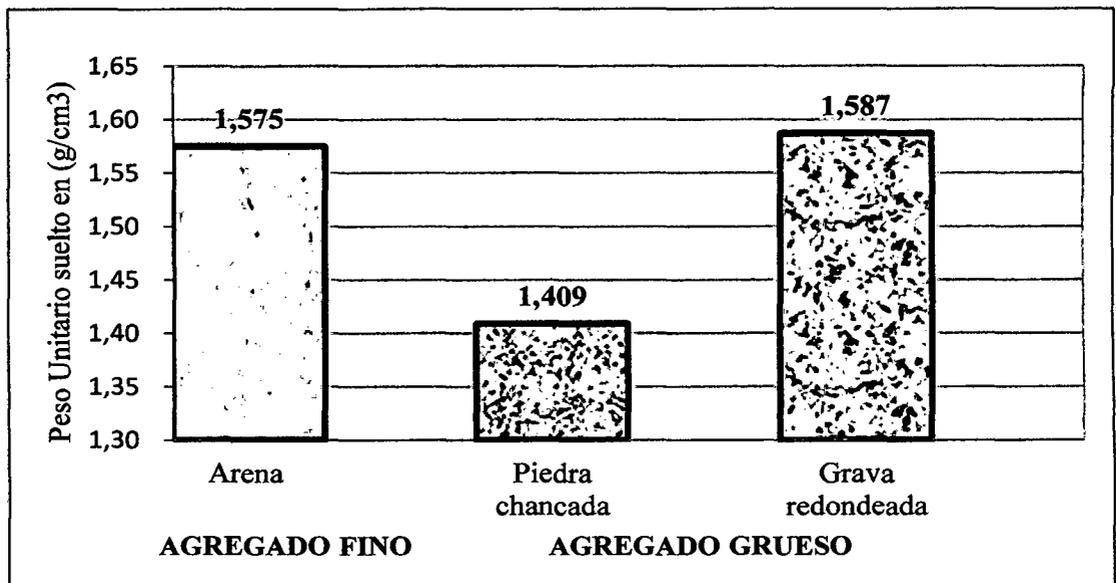


Figura 26. Peso unitario suelto de los agregados pétreos

Tabla 17. Peso unitario compactado de los agregados pétreos

Material	Arena		Piedra chancada		Grava redondeada		
	Nº Ensayo	1	2	1	2	1	2
Peso del molde + Peso de la muestra (g)		9862	9824	9387	9495	9806	9748
Peso del molde (g)		6080	6080	6080	6080	6080	6080
Peso de la muestra (g)		3782	3744	3307	3415	3726	3668
Volumen del molde (cm³)		2159	2159	2159	2159	2159	2159
Peso unitario compactado (g/cm³)		1,752	1,734	1,532	1,582	1,726	1,699
Peso unitario compactado promedio (g/cm³)		1,743		1,557		1,713	

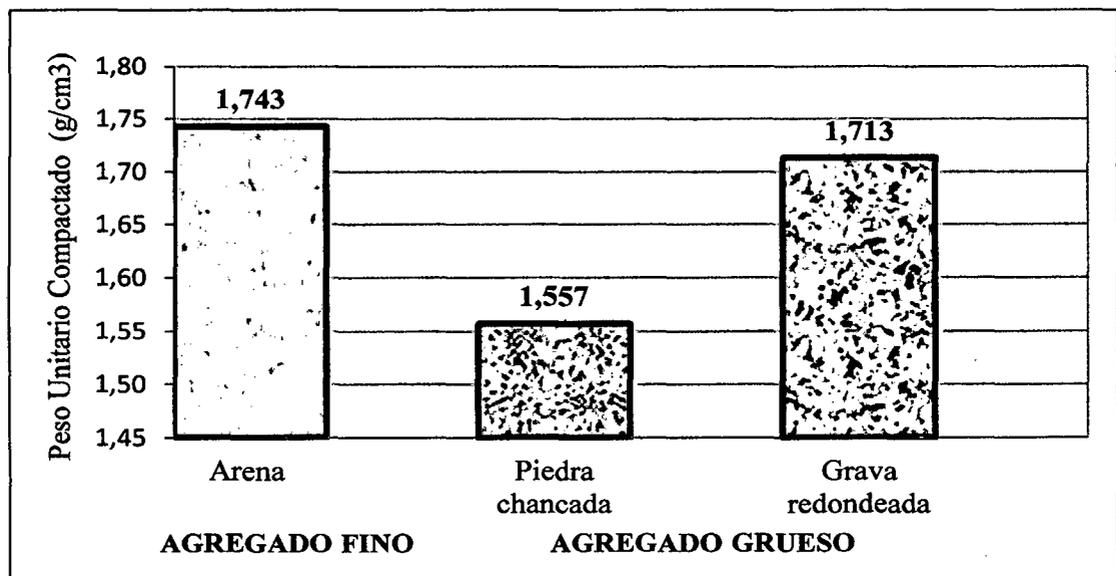


Figura 27. Peso unitario compactado

Tabla 18. Peso específico de masa del agregado fino

Material	Arena	
	1	2
Nº Ensayo		
Peso de la muestra secada al horno (g)	483,4	483,8
Peso del picnómetro y agua al ras (g)	859,7	862,3
Peso del picnómetro, muestra y agua al ras (g)	1160,5	1164,9
Peso de la muestra saturada con superficie seca (g)	500	500
Peso específico de masa	2,43	2,45
Peso específico de masa promedio	2,44	

Tabla 19. Peso específico de masa del agregado grueso

Material	Piedra chancada		Grava redondeada	
	1	2	1	2
Nº Ensayo				
Peso de la muestra secada al horno (g)	3763,0	3785,0	4493,0	4467,2
Peso de la muestra saturada con superficie seca (g)	3801,6	3824,8	4519,1	4494,0
Peso de la muestra sumergida en agua (g)	2337,0	2362,2	2840,0	2803,4
Peso específico de masa	2,57	2,59	2,68	2,64
Peso específico de masa promedio	2,58		2,66	

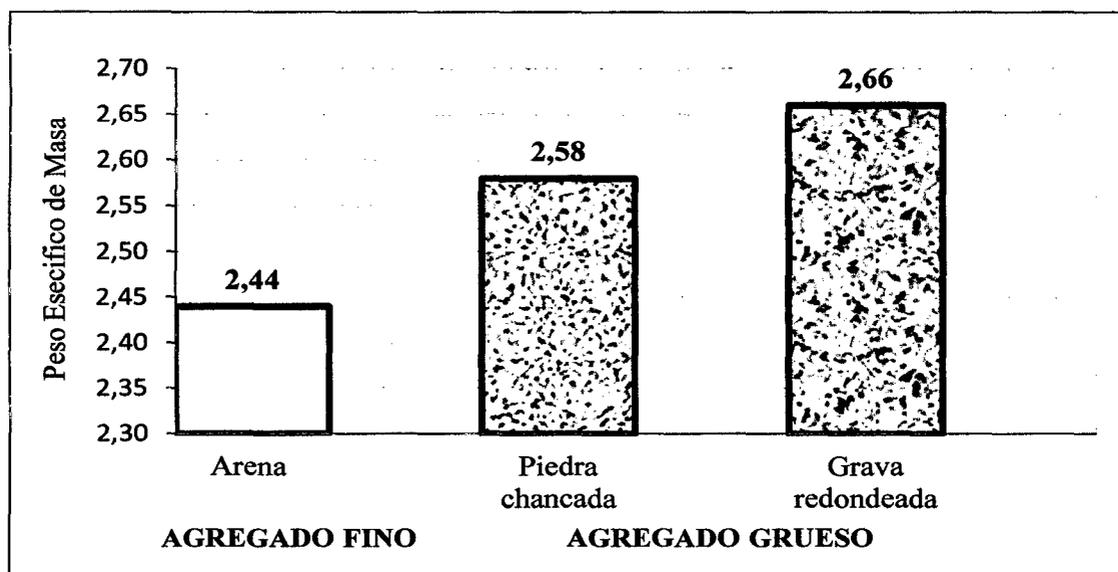


Figura 28. Peso específico de masa de los agregados pétreos

En las tablas 20 y 21, aparecen los datos, su procesamiento y los resultados de la absorción del agregado fino y absorción del agregado grueso respectivamente (para piedra chancada y grava).

Tabla 20. Absorción del agregado fino

Material	Arena	
N° Ensayo	1	2
Peso de la muestra secada al horno (g)	483,42	483,78
Peso de la muestra saturada con superficie seca (g)	500	500
% Absorción	3,43	3,35
% Absorción promedio	3,39	

Tabla 21. Absorción del agregado grueso

Material	Piedra chancada		Grava redondeada	
N° Ensayo	1	2	1	2
Peso de la muestra secada al horno (g)	3763,0	3785,0	4493,0	4467,2
Peso de la muestra saturada con superficie seca (g)	3801,6	3824,8	4519,1	4494,0
% Absorción	1,03	1,05	0,58	0,6
% Absorción promedio	1,04		0,59	

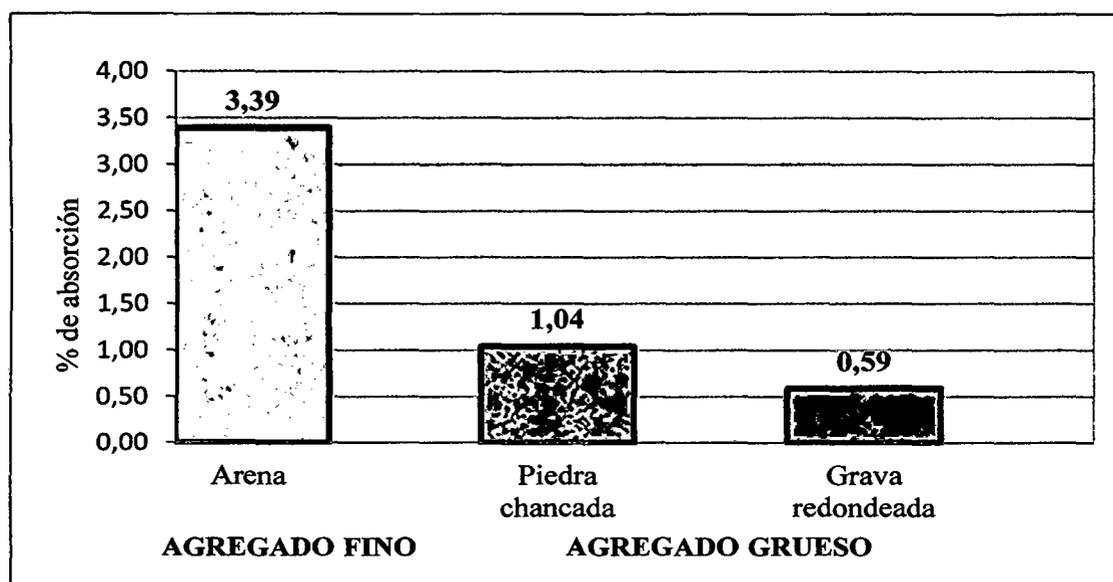


Figura 29. Absorción del agregado grueso

Según Alejos y Fernández, que se cita en antecedentes, afirma que otra de las propiedades de los agregados que puede alterar el factor agua/cemento y por ende hace variar la consistencia del concreto es la absorción. Pero en esta investigación, la absorción para estas dos formas de agregados estudiados depende de la textura de los mismos, las rocas trituradas absorben más agua porque su textura es áspera y tiene porosidades abiertas por el mismo proceso mecánico que han sufrido, en cambio las

gravas de río como lo manifiesta la literatura, son lisas por el desgaste superficial del agua y la fricción que ha tenido con otras rocas en el lecho del río, que ha cerrado de cierta forma su porosidad, esto hace que absorban menor cantidad de agua. Como se puede apreciar en la Fig 29, la piedra chancada tiene una absorción de 1,04% y la Grava redondeada de 0,59%, y son agregados de la misma cantera, esto indica que a diferente textura se obtiene diferente absorción.

Los diseños de mezcla de referencia de  $f'c=175$  y  $210 \text{ Kg/cm}^2$ , se hicieron considerando las propiedades de la piedra chancada como agregado grueso, y a fin que solo la forma y textura influya en esta investigación, se mantuvieron iguales las granulometrías y los tamaños máximos nominales de los dos perfiles de agregado grueso (piedra chancada y grava redondeada), sus humedades naturales resultaron similares por ser agregados de la misma procedencia y favoreció a la investigación, sus absorciones resultaron distintas pero esto dependió de sus texturas (el agregado triturado de textura áspera absorbe mayor agua que las gravas de río que tienen textura lisa) y por último el peso de la grava resultó mayor que el peso de la piedra chancada, esto es por la estrecha relación con las formas y texturas de los mismos, es decir, la piedra chancada pesó menos porque su formas angulosas no le permite acomodarse con facilidad en un molde de volumen determinado, a diferencia de la grava que por su textura lisa y forma redondeada tubo un mejor acomodo de sus partículas. Por lo tanto, esta investigación solo midió la influencia de la forma y textura del agregado grueso en la consistencia y resistencia a la compresión del concreto.

En el diseño de mezcla para concreto  $f'c=175 \text{ Kg/cm}^2$ , la dosificación encontrada fue la siguiente: Por cada Kg de cemento, correspondió 2,2 Kg de agregado fino, 3 Kg de agregado grueso y 0,7 Lt o Kg de agua. La Fig 30 muestra los porcentajes de participación en peso de cada componente de la mezcla, para un metro cúbico de concreto.

En el diseño de mezcla para concreto  $f'c=210 \text{ Kg/cm}^2$ , la dosificación encontrada en peso fue la siguiente: Por cada Kg de cemento, correspondió 1,8 Kg de agregado fino, 2,6 Kg de agregado grueso y 0,6 Lt o Kg de agua. La Fig 31, muestra los porcentajes de participación de cada componente en la mezcla, para un metro cúbico de concreto.

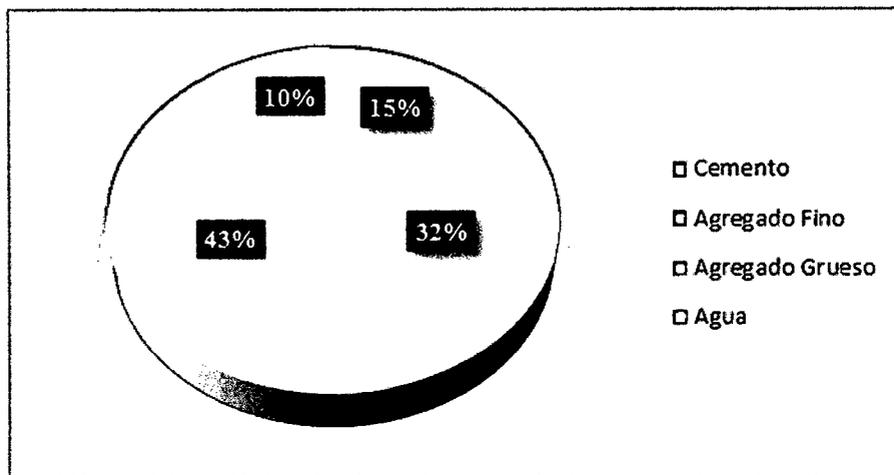


Figura 30. % de dosificación en peso para concreto  $f'c=175 \text{ Kg/cm}^2$

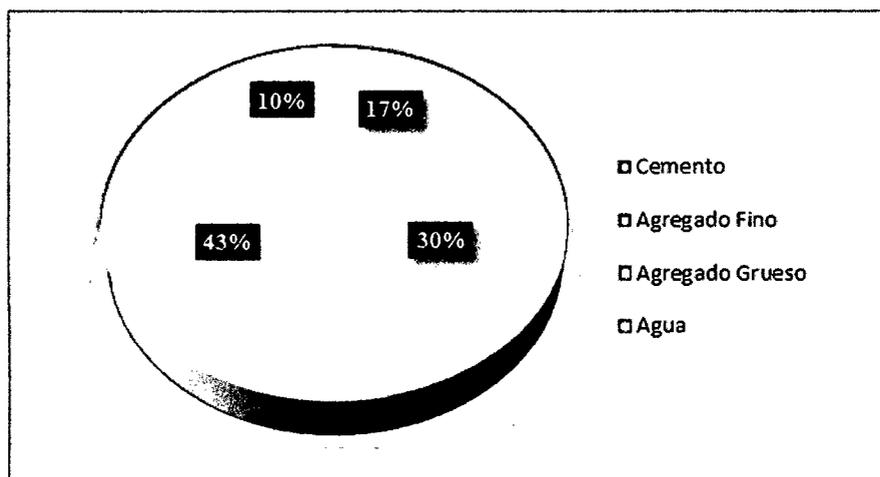


Figura 31. % de dosificación en peso para concreto  $f'c=210 \text{ Kg/cm}^2$

La tabla 22, presenta los resultados de la dosificación en peso de los materiales utilizados por tanda, para las dos resistencias de diseño estudiadas. Este proporcionamiento se detalla en el Anexo B.

Tabla 22. Proporcionamiento de materiales por tanda

Componente	$f'c=175\text{Kg/cm}^2$	$f'c=210\text{Kg/cm}^2$
Agua (Kg)	5,01	4,98
Cemento (Kg)	7,33	8,23
Agregado grueso (Kg)	21,80	21,72
Agregado fino (Kg)	15,86	15,07
Total (Kg)	50,00	50,00

Según la tabla 23, las mezclas hechas a base de piedra chancada dieron una consistencia plástica, cumpliendo así con la consistencia de diseño, pero para mezclas hechas a base de grava redondeada la consistencia cambió a húmeda (fluida) según el criterio de Gamero (2008) plasmado en la tabla 3, debido a que hubo mayor asentamiento, en algunos casos de hasta 8 cm (aproximadamente 3") en ambas resistencias de diseño. Esta variación ocurrida lo asignamos en su mayor parte a la influencia de la textura del agregado grueso, porque mientras más rugosa o áspera sea su textura mayor adherencia tiene a la pasta de cemento y, mientras más lisa sea su superficie menor es la adherencia a la pasta. Esta afirmación es respaldada por Scanferla (2010), Acosta et al. (2005), Fernández (2005), Chan et al. (2003), Rivva (2000), etc. También la forma del agregado grueso fue determinante, porque las formas angulosas de la piedra chancada no tuvieron buena movilidad en la mezcla en comparación con las formas redondeadas de la grava, quienes brindaron lo contrario, obteniéndose consistencias diferentes, esta afirmación lo respaldan Skalny y Mindess, citado por Acosta et al. (2005).

En las muestras de piedras trituradas con textura rugosa y canto rodado con textura lisa, el concreto fabricado con canto rodado tiene mayor asentamiento, lo que nos indica la influencia de la textura en la consistencia. (Acosta et al. 2005),

La forma angulosa y textura áspera o rugosa de la piedra chancada le permitió mayor enganche y menor movilidad con la pasta y por ello la mezcla fue más consistente en comparación con el poco enganche y buena movilidad que tuvo la grava por su forma redondeada y textura lisa.

Tabla 23. Asentamientos del concreto fresco para  $f'c=175$  y  $210 \text{ Kg/cm}^2$

N° de Mezclas por cada agregado y resistencia	$f'c=175 \text{ Kg/cm}^2$		$f'c=210 \text{ Kg/cm}^2$		Asentamiento de Diseño para Piedra Chancada en cm	
	Asentamiento en cm		Asentamiento en cm			
	Piedra Chancada	Grava Redondeada	Piedra Chancada	Grava Redondeada		
1	11,0	16,5	8,0	16,0	7,5	10
2	9,0	17,0	10,0	15,0	7,5	10
3	10,0	15,5	8,0	15,0	7,5	10
4	10,0	17,0	9,0	15,0	7,5	10

En las Fig 32 y 33, se observa la gran diferencia de asentamientos que existe entre mezclas elaboradas con piedra chancada y las hechas con grava redondeada, en ambas resistencias de diseño. El asentamiento asumido para los diseños de mezcla fue de 3'' a 4'' (de 7,5 cm a 10 cm) y se puede observar que las mezclas que cumplieron fueron las hechas con piedra chancada, las otras fueron más fluidas (húmedas). Este resultado permite decir que la forma y textura del agregado grueso influyen en gran medida en la consistencia del concreto.

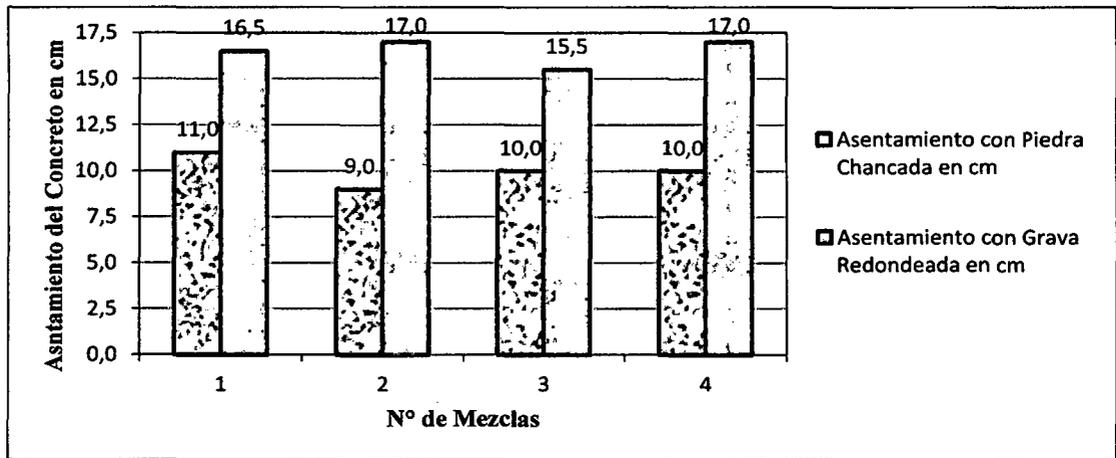


Figura 32. Asentamiento de mezclas de concreto  $f'c=175 \text{ Kg/cm}^2$

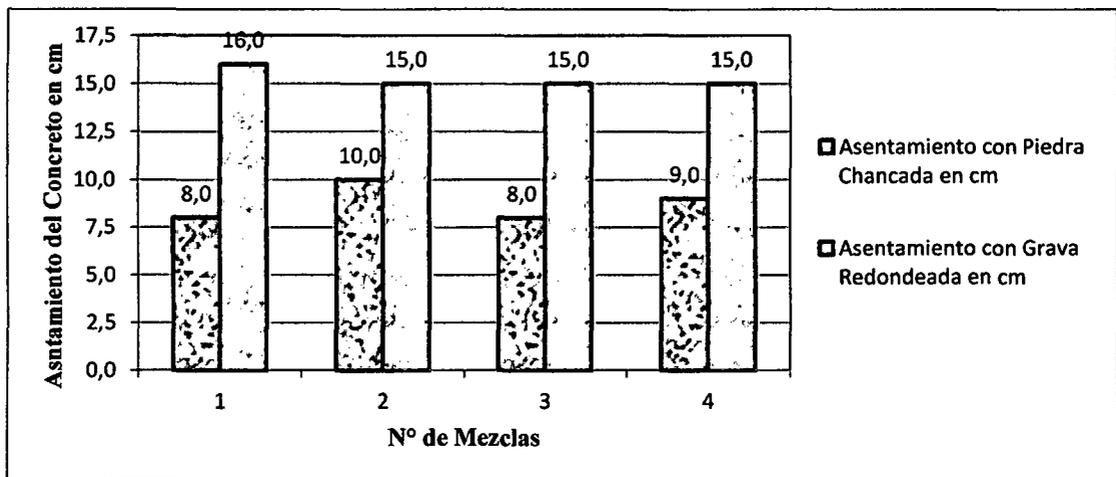


Figura 33. Asentamiento de mezclas de concreto  $f'c=210 \text{ Kg/cm}^2$

De acuerdo a las fórmulas 2 y 5 y a una temperatura promedio del agua de curado de los testigos de concreto de  $20,5 \text{ }^\circ\text{C}$ , se obtuvo que a la edad de 7 días el concreto debería alcanzar el 69% de la resistencia de diseño (de 28 días), a edad de 14 días el 86%, a edad de 21 días el 95% y a los 28 días el 100%. Estos porcentajes multiplicados por los  $f'c$  de diseño arrojaron las resistencias nominales del concreto a

diferentes edades, las cuales sirvieron para realizar parte del análisis de los resultados de resistencias a la compresión del concreto en esta investigación. El detalle de dicho cálculo se presenta en el Anexo B.

En la tabla 24, se muestran los resultados individuales obtenidos a la compresión de los testigos de concreto de  $f'c=175 \text{ Kg/cm}^2$  elaborados con piedra chancada donde se puede apreciar que diez de los doce especímenes superaron las resistencias nominales, siendo mayor la diferencia a edades maduras del concreto. Así también en la tabla 25, se muestran los resultados obtenidos a la compresión de los testigos de concreto de  $f'c=175 \text{ Kg/cm}^2$  elaborados con grava redondeada, donde se puede apreciar que ningún testigo alcanzó su resistencia nominal, siendo mayor la diferencia a edades tempranas del concreto.

En la tabla 26, se muestran los resultados individuales obtenidos a la compresión de los testigos de concreto de  $f'c=210 \text{ Kg/cm}^2$  elaborados con piedra chancada, donde se puede apreciar que los doce especímenes superaron con total comodidad las resistencias nominales. Así también en la tabla 27, se muestran los resultados obtenidos a la compresión de los testigos de concreto de  $f'c=210 \text{ Kg/cm}^2$  elaborados con grava redondeada donde se puede apreciar que los testigos a edad de 7 días fueron los únicos que no alcanzaron las resistencias nominales, el resto lo superaron.

Las resistencias a la compresión simple del concreto realizado a edades de 7, 14, 21 y 28 días, dieron un rango de diferencia significativo y favorable a la piedra chancada más que a la grava redondeada, con mayor diferencia a tempranas edades en ambas resistencias de diseño. Según las Fig 34 y 35 muestran un análisis comparativo de resistencias reales por testigo según sus edades, se compara con las resistencias nominales y claramente se puede afirmar que el concreto hecho a base de piedra chancada es más resistente que el concreto hecho con grava redondeada.

Tabla 24. Resultados obtenidos de piedra chancada  $f'c=175 \text{ Kg/cm}^2$

Ensayo N°	Edad en días	Código de especímenes	Diámetro (cm)	Area en (cm <sup>2</sup> )	Carga de ruptura (lb)	Carga de ruptura (Kg)	f'c real (Kg/cm <sup>2</sup> )	f'c nominal (Kg/cm <sup>2</sup> )	% de resistencia real	% de resistencia nominal
1	7	PC12(175)	15,20	181,46	48000	21772,66	119,99	120,75	69	69
2	7	PC11(175)	15,00	176,71	45000	20411,87	115,51	120,75	66	69
3	7	PC10(175)	15,10	179,08	48000	21772,66	121,58	120,75	69	69
4	14	PC9(175)	15,30	183,85	66000	29937,40	162,83	150,50	93	86
5	14	PC8(175)	15,00	176,71	60000	27215,82	154,01	150,50	88	86
6	14	PC7(175)	15,30	183,85	69000	31298,19	170,23	150,50	97	86
7	21	PC6(175)	15,10	179,08	67000	30391,00	169,71	166,25	97	95
8	21	PC5(175)	15,25	182,65	70000	31751,79	173,84	166,25	99	95
9	21	PC4(175)	15,20	181,46	74000	33566,18	184,98	166,25	106	95
10	28	PC3(175)	15,00	176,71	70000	31751,79	179,68	175,00	103	100
11	28	PC2(175)	15,10	179,08	74500	33792,98	188,70	175,00	108	100
12	28	PC1(175)	15,20	181,46	74000	33566,18	184,98	175,00	106	100

Tabla 25. Resultados obtenidos de grava redondeada  $f'c=175 \text{ Kg/cm}^2$

Ensayo N°	Edad en días	Código de especímenes	Diámetro (cm)	Area en (cm <sup>2</sup> )	Carga de ruptura (lb)	Carga de ruptura (Kg)	f'c real (Kg/cm <sup>2</sup> )	f'c nominal (Kg/cm <sup>2</sup> )	% de resistencia real	% de resistencia nominal
1	7	GR12(175)	15,15	180,27	38000	17236,69	95,62	120,75	55	69
2	7	GR11(175)	15,00	176,71	39000	17690,28	100,11	120,75	57	69
3	7	GR10(175)	15,20	181,46	39500	17917,08	98,74	120,75	56	69
4	14	GR9(175)	15,10	179,08	53000	24040,64	134,25	150,50	77	86
5	14	GR8(175)	15,00	176,71	52500	23813,84	134,76	150,50	77	86
6	14	GR7(175)	15,00	176,71	52000	23587,05	133,48	150,50	76	86
7	21	GR6(175)	15,00	176,71	64000	29030,21	164,28	166,25	94	95
8	21	GR5(175)	15,00	176,71	63000	28576,61	161,71	166,25	92	95
9	21	GR4(175)	15,00	176,71	62500	28349,81	160,43	166,25	92	95
10	28	GR3(175)	15,00	176,71	64000	29030,21	164,28	175,00	94	100
11	28	GR2(175)	15,20	181,46	65000	29483,81	162,48	175,00	93	100
12	28	GR1(175)	15,30	183,85	68000	30844,60	167,77	175,00	96	100

Tabla 26. Resultados obtenidos de piedra chancada  $f'c=210 \text{ Kg/cm}^2$

Ensayo N°	Edad en días	Código de especímenes	Diámetro (cm)	Area en (cm <sup>2</sup> )	Carga de ruptura (lb)	Carga de ruptura (Kg)	f'c real (Kg/cm <sup>2</sup> )	f'c nominal (Kg/cm <sup>2</sup> )	% de resistencia Real	% de resistencia Nominal
1	7	PC12(210)	15,20	181,46	61500	27896,22	153,73	144,90	73	69
2	7	PC11(210)	15,25	182,65	62000	28123,02	153,97	144,90	73	69
3	7	PC10(210)	15,30	183,85	63000	28576,61	155,43	144,90	74	69
4	14	PC9(210)	15,20	181,46	78500	35607,37	196,23	180,60	93	86
5	14	PC8(210)	15,30	183,85	80500	36514,56	198,61	180,60	95	86
6	14	PC7(210)	15,25	182,65	83000	37648,55	206,12	180,60	98	86
7	21	PC6(210)	15,30	183,85	85500	38782,55	210,94	199,50	100	95
8	21	PC5(210)	15,00	176,71	89000	40370,14	228,45	199,50	109	95
9	21	PC4(210)	15,30	183,85	89000	40370,14	219,58	199,50	105	95
10	28	PC3(210)	15,30	183,85	93000	42184,52	229,45	210,00	109	100
11	28	PC2(210)	15,20	181,46	88500	40143,34	221,23	210,00	105	100
12	28	PC1(210)	15,20	181,46	93000	42184,52	232,47	210,00	111	100

Tabla 27. Resultados obtenidos de grava redondeada  $f'c=210 \text{ Kg/cm}^2$

Ensayo N°	Edad en días	Código de especímenes	Diámetro (cm)	Area en (cm <sup>2</sup> )	Carga de ruptura (lb)	Carga de ruptura (Kg)	f'c real (Kg/cm <sup>2</sup> )	f'c nominal (Kg/cm <sup>2</sup> )	% de resistencia Real	% de resistencia Nominal
1	7	GR12(210)	15,00	176,71	49000	22226,25	125,77	144,90	60	69
2	7	GR11(210)	15,00	176,71	49000	22226,25	125,77	144,90	60	69
3	7	GR10(210)	15,00	176,71	46000	20865,46	118,07	144,90	56	69
4	14	GR7(210)	15,20	181,46	75000	34019,78	187,48	180,60	89	86
5	14	GR8(210)	15,10	179,08	72500	32885,78	183,64	180,60	87	86
6	14	GR9(210)	15,20	181,46	72500	32885,78	181,23	180,60	86	86
7	21	GR6(210)	15,30	183,85	79000	35834,16	194,91	199,50	93	95
8	21	GR5(210)	15,20	181,46	84000	38102,15	209,98	199,50	100	95
9	21	GR4(210)	15,10	179,08	81500	36968,16	206,44	199,50	98	95
10	28	GR1(210)	15,20	181,46	83000	37648,55	207,48	210,00	99	100
11	28	GR3(210)	15,10	179,08	85500	38782,55	216,57	210,00	103	100
12	28	GR2(210)	15,20	181,46	85500	38782,55	213,73	210,00	102	100

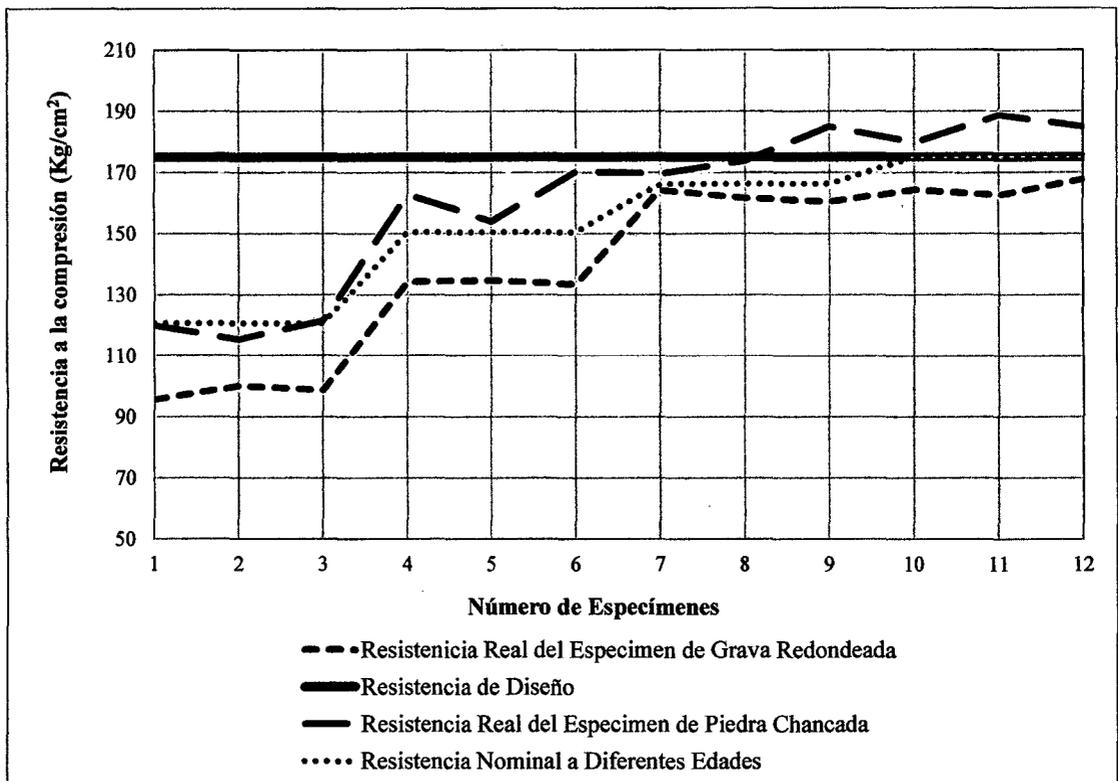


Figura 34. Resistencia a la compresión a los 7, 14, 21 y 28 días (piedra chancada y grava redondeada  $f'c=175 \text{ Kg/cm}^2$ )

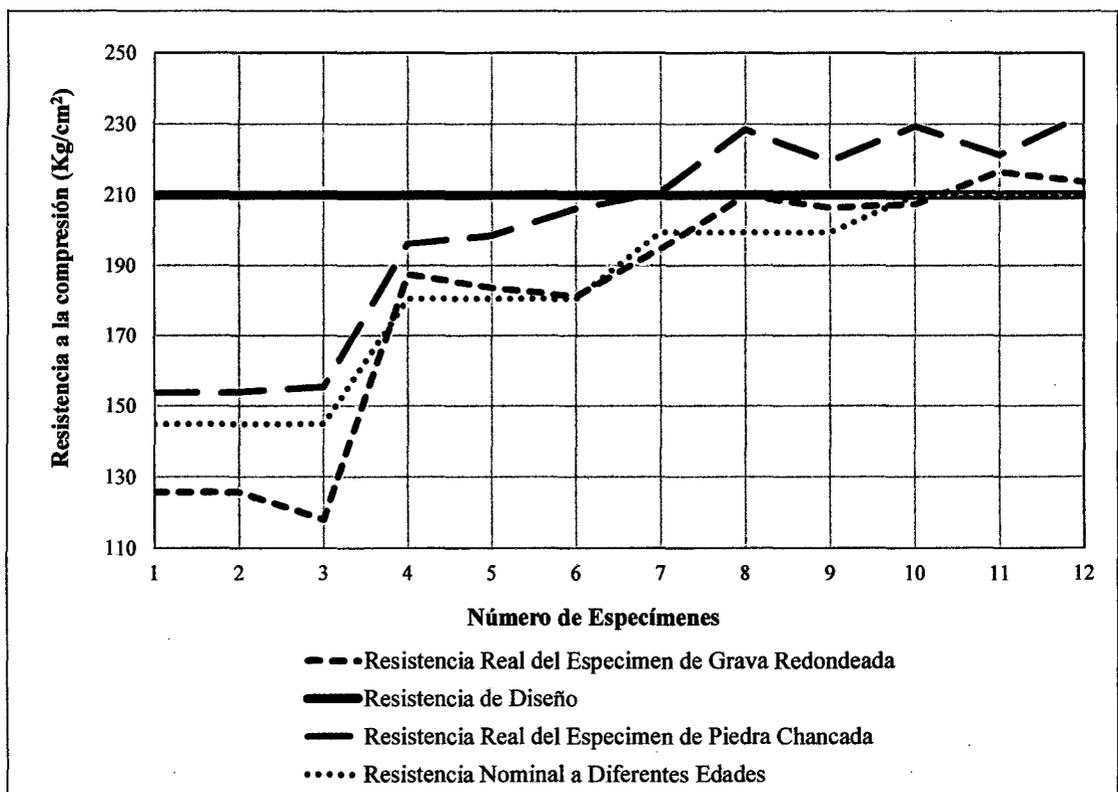


Figura 35. Resistencia a la compresión a los 7, 14, 21 y 28 días (piedra chancada y grava redondeada  $f'c=210 \text{ Kg/cm}^2$ )

Para realizar la comparación con otras investigaciones se usan los promedios de los tres testigos asignados por edad del concreto (según el ACI 318.08), para cada perfil de agregado estudiado y para ambas resistencias de diseño elaboradas, así como lo indica la tabla 12.

En la tabla 28 se presentan las resistencias promedio de los testigos de concreto de  $f'_c=175 \text{ Kg/cm}^2$ , así como también las resistencias nominales y la diferencias de resistencias reales entre el concreto hecho con piedra chancada y el de grava redondeada (PC-GR), para las edades de 7, 14, 21 y 28 días; donde la piedra chancada se interpuso aproximadamente en un rango de 14 a 28  $\text{Kg/cm}^2$  sobre las resistencias promedio de los especímenes de concreto hechas a base de grava redondeada. Estas resistencias se pueden apreciar con mayor claridad en la Fig 36 donde claramente se observa la ventajosa diferencia entre ellas. Para este concreto según la indica la Fig 37, la diferencia porcentual está en el rango de 8% a 16%, que en términos de resistencia significa una diferencia amplia o de gran medida.

Tabla 28. Resistencias promedio de especímenes  $f'_c= 175 \text{ Kg/cm}^2$

Edad en días	Resistencias nominales en $\text{Kg/cm}^2$	$f'_c= 175 \text{ Kg/cm}^2$		Diferencia de resistencias en $\text{Kg/cm}^2$ (PC-GR)
		Resistencias reales promedio en $\text{Kg/cm}^2$		
		Piedra Chancada	Grava Redondeada	
7	120,75	119,03	98,15	20,87
14	150,50	162,36	134,16	28,20
21	166,25	176,17	162,14	14,04
28	175,00	184,45	164,84	19,61

No existe un rango determinado, que permita calificar la influencia de la forma y textura del agregado grueso como baja o alta en la consistencia o en la resistencia del concreto, por tal motivo es que simplemente menciono que influyen en gran medida en dichas propiedades del concreto, para dar a entender que la diferencias de resultados es amplia, tanto como cambiar una consistencia de plástica a húmeda o hacer variar la resistencia a la compresión del concreto hasta en un 16% (según la tabla 39- Anexo A).

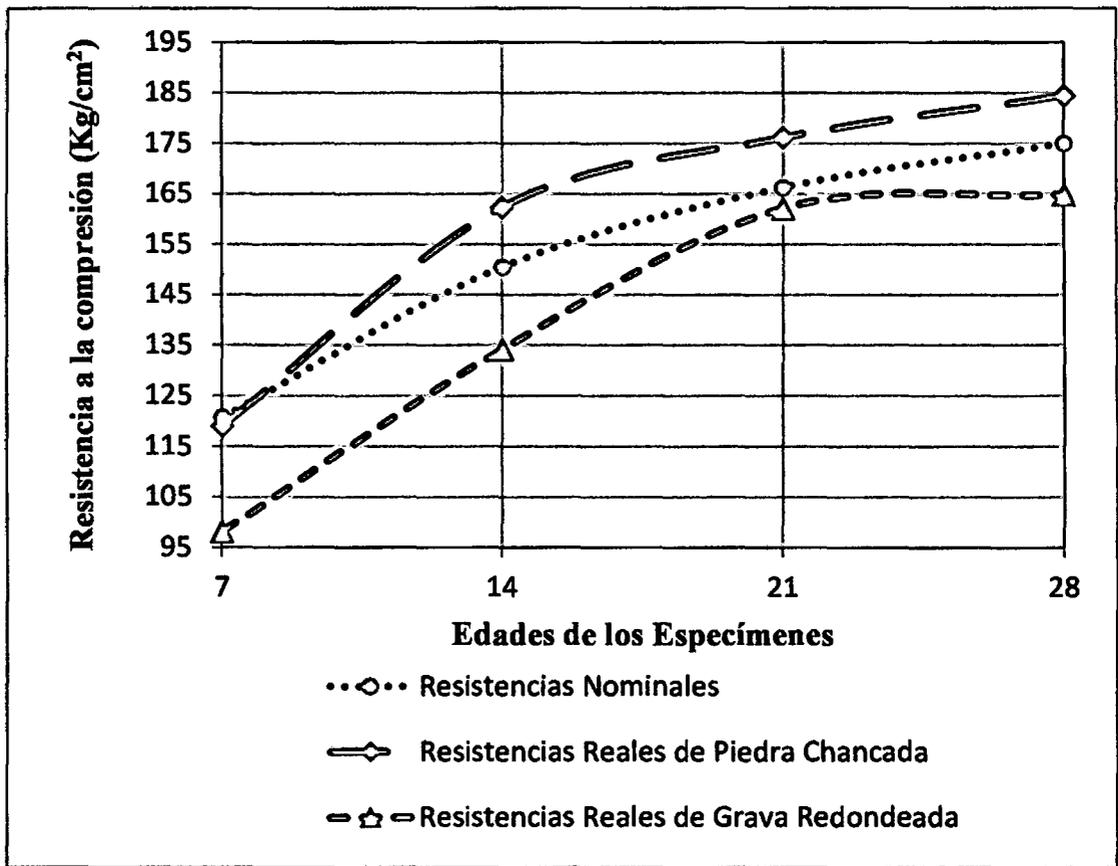


Figura 36. Resistencias promedio de especímenes de  $f'c = 175 \text{ Kg/cm}^2$

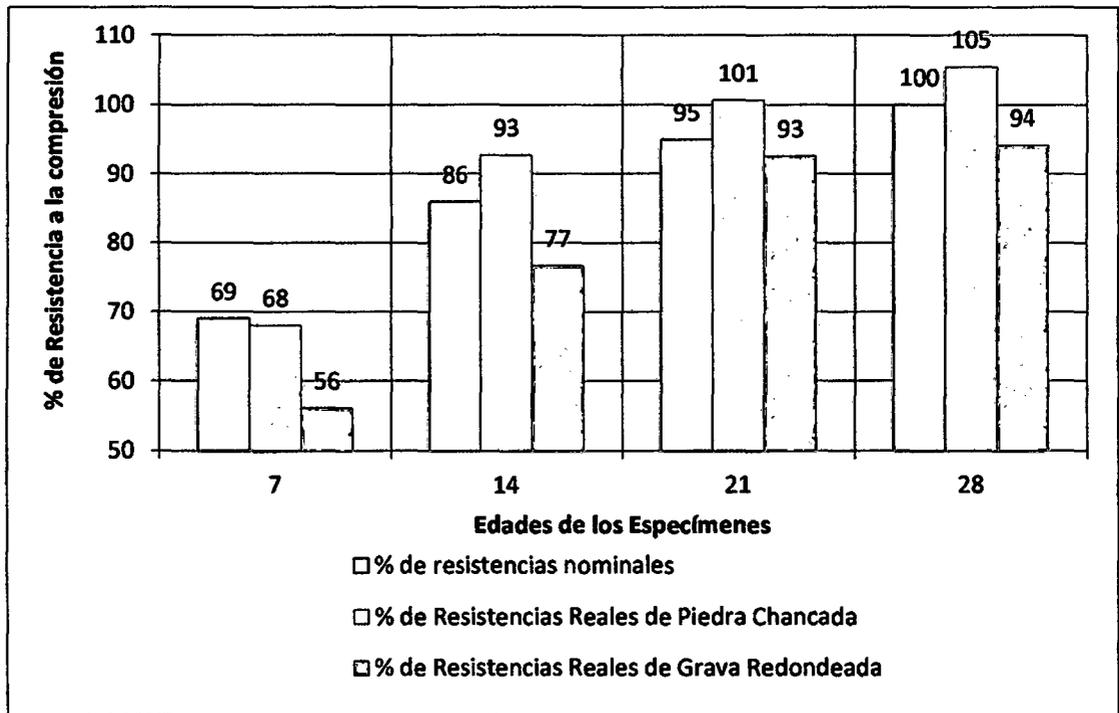


Figura 37. % de resistencias promedio de especímenes de  $f'c = 175 \text{ Kg/cm}^2$

Para  $f'c=210 \text{ Kg/cm}^2$ , los testigos de grava redondeada alcanzaron en edades maduras (14, 21 y 28 días de edad) a las resistencia nominales (según tabla 29 y Fig 38), sin embargo, la diferencia de resistencias de testigos hechos con piedra chancada siguieron siendo mayores en un rango de 15 a 31  $\text{Kg/cm}^2$  (tabla 29), que en porcentaje equivale entre 8% a 15% más (según Fig 39) comparado con las resistencias de los testigos hechos con grava redondeada. La diferencia entre resistencias (PC – GR) es más amplia a tempranas edades, alcanzando un máximo valor de 31,17  $\text{Kg/cm}^2$ . Estos resultados han demostrado que tanto la forma como la textura de los agregados gruesos influyen en gran medida en la resistencia a compresión del concreto.

Tabla 29. Resistencias promedio de especímenes  $f'c = 210 \text{ Kg/cm}^2$

Edad en días	$f'c = 210 \text{ Kg/cm}^2$			Diferencia de resistencias en $\text{Kg/cm}^2$ (PC-GR)
	Resistencias nominales en $\text{Kg/cm}^2$	Resistencias reales promedio en $\text{Kg/cm}^2$		
		Piedra Chancada	Grava Redondeada	
7	144,90	154,38	123,21	31,17
14	180,60	200,32	184,12	16,20
21	199,50	219,66	203,77	15,88
28	210,00	227,72	212,59	15,13

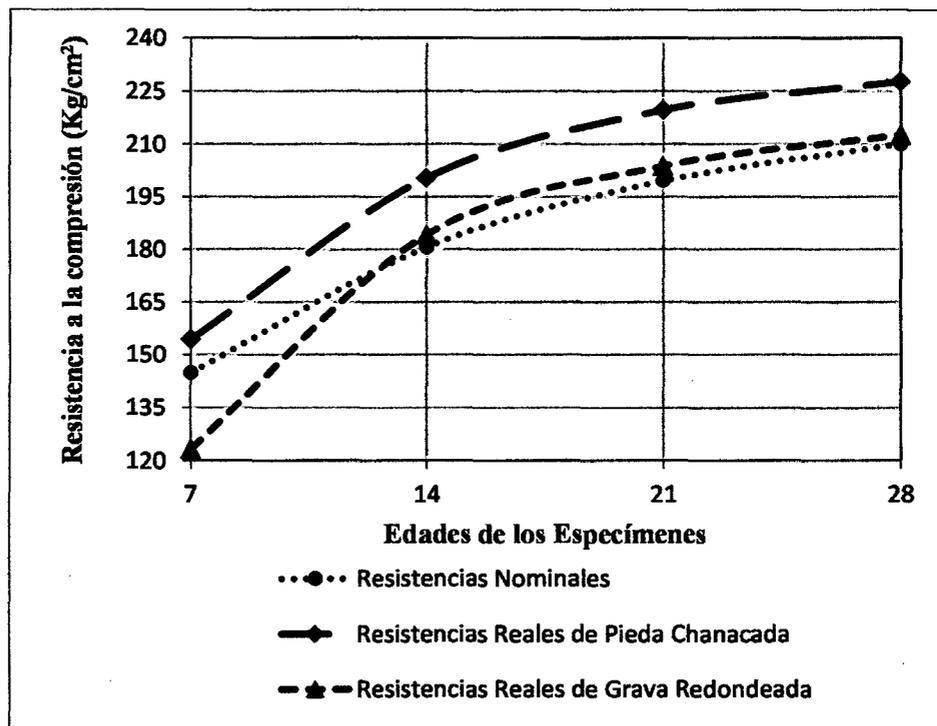


Figura 38. Resistencias promedio de especímenes de  $f'c = 210 \text{ Kg/cm}^2$

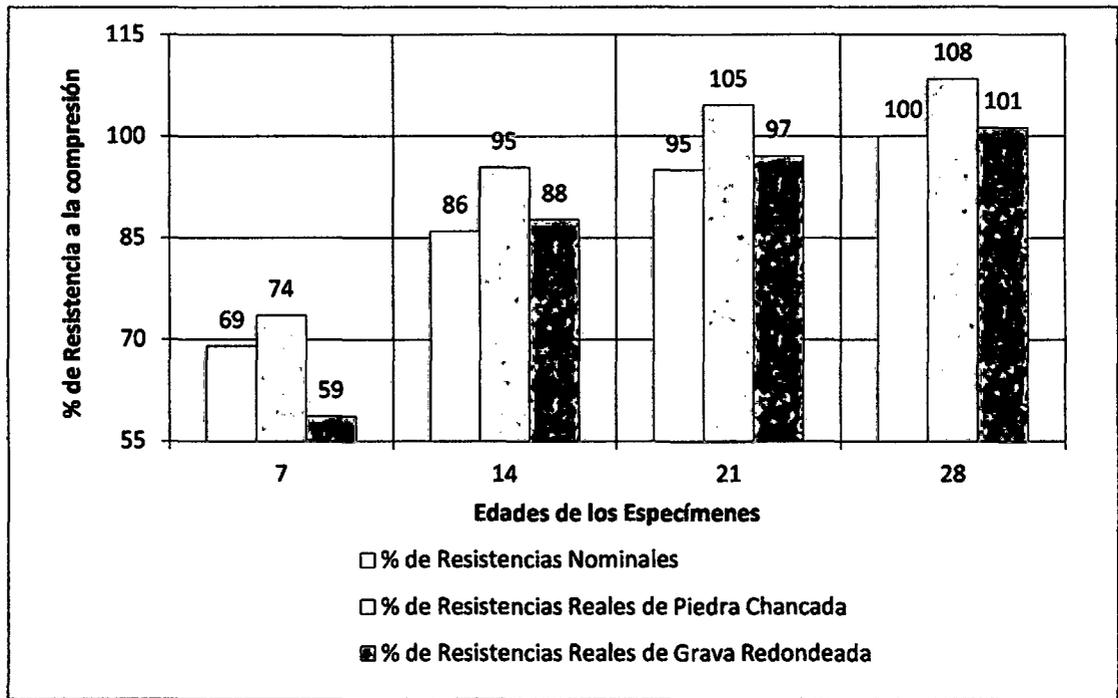


Figura 39. % de resistencias promedio de especímenes de  $f'c = 210 \text{ Kg/cm}^2$

La mayor resistencia que se dio en los testigos de piedra chancada, se debió a la influencia de su textura áspera que permitió una buena adherencia mecánica, que es mayor cuanto más rugosa es la superficie, y así, los agregados triturados proporcionaron mayor resistencia del concreto a diferencia de las gravas que por su textura lisa lograron una mínima adherencia. También influyó la forma de los agregados, ya que mientras más angulosos son mayor trabazón o enganche mecánico tendrán y por ende logran mejores resistencias. Estas afirmaciones son respaldadas en su totalidad por Fernández (2005) y Rivva (2000), así como otros autores citados en el marco teórico.

El concreto elaborado con piedra chancada resistió más que el elaborado con grava redondeada en un porcentaje que varía entre 8% y 16% más, similar a los valores obtenidos por Özturan y Çeçen (citado por Chan et al. 2003) en su investigación, cuyos valores variaron entre 10% y 20 % más.

La consistencia ha demostrado ser un indicador temprano de la resistencia a compresión del concreto, ya que a mezclas menos consistentes menor es su resistencia. La relación entre consistencias y especímenes de concreto se presentan en las tablas 35 y 36 - Anexo A.

Que la grava redondeada haya alcanzado la resistencia nominal a edades de 14, 21 y 28 días (según Fig 38 y 39) para concretos de  $f'c=210 \text{ Kg/cm}^2$ , aun sin ser su diseño; implica al criterio de elección del factor agua/cemento en las tablas del diseño de mezclas, ya que para la piedra triturada arrojó valores más elevados aun. Pero también puede sumarse una propiedad de los agregados que resulta ser de suma importancia, que es la densidad o peso específico, ya que si se emplea un material con una buena densidad ( $\geq 2,25$ ) el concreto resultante podría ser mayor o igualmente denso, lo cual tiene una influencia directa sobre el peso volumétrico y la resistencia a la compresión del mismo, y como podremos notar en los resultados el peso específico de masa o densidad de la grava redondeada es mayor que el de piedra chancada.

Según Cetin y Carrasquillo, citado por Chan et al. (2003), afirman que concretos con bajo contenido de agregados redondeados resisten altos esfuerzos a la edad de un día, excepto los hechos con piedra triturada. En contraparte, los concretos con alto contenido de agregados redondeados presentan bajas resistencias de compresión a edades tempranas, fallando probablemente por la concentración de esfuerzos alrededor de los agregados, ya que en éstos sus propiedades físicas no varían con el tiempo, mientras que la resistencia y el módulo de elasticidad de la pasta de cemento están todavía por debajo de su valor final.

Los diseños de mezclas con el método ACI 211, arroja por lo general una mezcla más pedrosa en comparación con otros diseños de mezclas, esto sumado a la descripción anterior permite deducir que a edades tempranas las resistencias de los especímenes de grava redondeada tendrán bajas resistencias como lo ocurrido en esta investigación.

Para Estrada y Páez (2014), el concreto hecho con los agregados redondeados en su investigación obtuvo bajas resistencias en comparación que el agregado triturado. Afirman que esto no significa que el agregado redondeado sea de baja calidad, puesto que los especímenes elaborados con este agregado alcanzaron su resistencia óptima; pero el agregado triturado superó dichos resultados.

Comparto la anterior opinión con los investigadores, el hecho que los testigos de concreto elaborados con agregado redondeado no hayan llegado en algunos casos a las resistencias nominales, no implica que se deje de utilizar como material de

construcción, sino que para cada tipo de agregado debe realizarse el estudio de sus propiedades antes de elaborar mezclas improvisadas (sin realizar un diseño de mezcla), además no se debe reemplazar un material que arroja menor resistencia por uno que logra lo contrario, es decir, para diseños de mezclas realizados para piedra chancada no se debe utilizar agregado redondeado, porque se estaría disminuyendo la resistencia y durabilidad del concreto. Por lo contrario, si el diseño de mezclas está hecha para grava redondeada y existe la posibilidad y disponibilidad de acceder a la piedra chancada para reemplazarlo como agregado grueso, significaría una mejora en cuestión de resistencia, pero puede resultar en desventaja cuando conlleve a mayores gastos. Por tanto, se puede utilizar cualquier forma y textura de agregado que esté apta para concreto a criterio de los ingenieros civiles, de acuerdo a la cercanía, disponibilidad, economía y el tipo de construcción.

Scanferla (2010) afirma que con la granulometría satisfactoria, tanto los agregados triturados como los no triturados (de un mismo tipo de roca), generalmente, producen concretos con la misma resistencia, si se mantiene el contenido de cemento. Ante esta afirmación, debo limitarme a darle el valor de la duda, puesto que los diseños de mezcla para esta investigación se realizaron solo para piedra chancada más no para grava redondeada, puesto que los objetivos así lo requieren. Este estudio demostró que no se deben reemplazar a los agregados para una mezcla establecida como tal, sin analizarlos previamente, ya que tanto la forma como la textura de éstos hacen variar las propiedades del concreto fresco y endurecido en valores considerables. Puede ser que realizando para cada perfil de agregado su diseño de mezclas, los resultados de consistencias y resistencias a compresión del concreto arrojen valores similares así como lo menciona Gamarra (2008) en su investigación.

Farran, citado por Fernández (2005), mediante el examen de partículas de contacto pasta-agregado observó que, para ciertos agregados se produce una adherencia del tipo epitáxico, es decir, se forman cristales en la pasta de cemento en contacto con el agregado en los que, su orientación, sistema cristalino y dimensiones, son tales que es posible una superposición malla sobre malla con la red propia del agregado, y mejora la resistencia del concreto.

Lo dicho por Farran, es un tema donde intervienen las propiedades químicas de los agregados, que para esta investigación se consideraron neutras porque todos los

agregados fueron de la misma cantera, y por ello se intuyó que tendrían propiedades químicas similares, pero sin embargo, podría ser un tema de otra investigación.

Las propiedades del concreto varían entre otros factores por el manejo de los agregados (frentes de extracción, forma de extracción, forma de acopio, carguío, descarga de material, condiciones climatológicas, entre otros), por ello no es válido generalizar los resultados de esta tesis para todos las canteras del distrito de Jaén, y aun así aunque fuesen agregados extraídos de la Cantera Olano a la que se dirigió esta investigación, se recomienda tomar los resultados con cautela.

Del análisis y discusión de resultados, queda demostrado que la forma y textura del agregado grueso de la Cantera Olano influyen en gran medida en la consistencia y resistencia a la compresión del concreto en el distrito de Jaén – Cajamarca.

## **CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

### **5.1. Conclusiones**

- En la cantera Olano, las piedras chancadas o trituradas tienen forma angular y textura áspera (rugosa), mientras que las gravas de río son de forma redondeada y de textura lisa.
- El agregado grueso es uno de los componentes del concreto que más porcentaje de intervención en peso tiene en las mezclas (43% en ambos diseños de esta investigación), seguido por el agregado fino, luego el cemento y finalmente el agua. Los diseños de mezclas de concreto dependen en gran parte de las características y propiedades de los agregados (grueso y fino), que pueden verse afectados por el manejo que reciben desde su explotación hasta su empleo en obra.
- La forma angular y textura áspera de la piedra chancada, permiten en el concreto fresco una buena adhesión del agregado con la pasta de cemento y le brinda a la mezcla menor asentamiento (de 3" a 4" en esta investigación), es decir mayor consistencia (plásticas para esta investigación). Ocurre en menor medida con la grava de río, que por su forma redondeada y textura lisa la unión con la pasta de cemento es débil, y sumada a la poca agua de mezcla que absorbe por sus características de superficie, da un incremento de fluidez en el mortero, obteniéndose mezclas con mayores asentamientos (de 6" a 7" en esta investigación), es decir menos consistentes (húmedas para ésta investigación).

- Para el mismo diseño de mezclas, los concretos elaborados a base de piedra chancada de forma angular y textura áspera tienen mayor resistencia a la compresión que los concretos hechos con grava de río de forma redondeada y textura lisa (en porcentajes que varían entre 8% y 16% para esta investigación), debido al mejor enganche y adherencia mecánica que logran la forma y textura de la piedra chancada con la pasta de cemento y que se da en menor medida con la grava redondeada.
- La forma y textura del agregado grueso influyen en gran medida en la consistencia y resistencia a la compresión del concreto, y, queda demostrado con la diferencia de asentamientos de hasta 3", que hizo variar la consistencia de las mezclas de plástica a húmeda, sumada a la diferencia de hasta 31 Kg/cm<sup>2</sup> en las resistencias a la compresión entre concretos elaborados con piedra chancada y grava redondeada.

## **5.2. Recomendaciones**

- Se recomienda que en otras investigaciones en un tema similar, se determine en qué medida influyen las propiedades químicas de los agregados pétreos en el concreto fresco y endurecido. Así también ampliar esta investigación y probar con más formas y texturas de agregado y medir su influencia en el concreto.
- Se recomienda tomar los métodos de diseño de mezclas con cautela y mucho criterio, puesto que algunos de estos no toman en cuenta la forma y textura del agregado (como el Método ACI 211), pero que sin embargo en esta investigación se ha determinado que son muy influyentes en las propiedades del concreto fresco y endurecido.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Absalón, VM; Salas, RA. 2008. Influencia en el diseño de mezcla de agregados de diferente procedencia en el estado Mérida. Tesis Ing. Civil. Venezuela, Universidad de los Andes, Facultad de Ingeniería. 115 p.
- Acosta, A; Cabrera, RD; Medina A. 2005. Influencia de la forma y la textura de los agregados gruesos en las propiedades del hormigón: Laboratorio de materiales de construcción. San Lorenzo, Paraguay, Universidad Nacional de Asunción, Facultad de Ingeniería. s.p.
- Alvarado, NJ. 2010. Influencia de la morfología de pétreos: volcánicos, triturados y cantos rodados; correlacionando matemáticamente los módulos de elasticidad, estático y dinámico, en cilindros de concreto de 10cm x 20cm. Tesis Ing. Civil. México, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Facultad de Ingeniería. 173 p.
- ACI 318S (American Concrete Institute). 2008. Requisitos de Reglamento para Concreto Estructural y Comentario, (Versión en español y en sistema métrico), Comité ACI 318.
- ACI 211 (American Concrete Institute). 1991. Standard Practice for Selecting Proportions for Normal, Heavyweight, and Mass Concrete, reapproved 2002, ACI Committee 211.
- Aranda, JR; Silva, HA. 2006. Evaluación del tamaño del agregado grueso para la determinación de la resistencia de la compresión del concreto. Tesis Ing. Civil. Chimbote, Perú, Universidad Nacional del Santa. Facultad de Ingeniería. s.p.
- Chan, JL; Solis, R; Moreno, EI. 2003. Influencia de los agregados pétreos en las características del concreto. Yucatán, México. Ingeniería 7(2): 39-46.

- Estrada, CG; Páez, R. 2014. Influencia de la morfología de los agregados en la resistencia del concreto. Tesis Ing. Civil. México, Universidad Veracruzana, Facultad de Ingeniería. 201 p.
- Fernandez Canovas, M. 2005. Hormigón. Madrid. Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. 543 p.
- Gamarra, R. 2008. Influencia del perfil de agregado grueso sobre las propiedades del concreto de baja resistencia empleando portland tipo I. Tesis Ing. Civil. Lima, Perú, Universidad Nacional de Ingeniería, Facultad de Ingeniería. s.p.
- Gamero, O. 2008. Análisis comparativo del comportamiento del concreto simple con el concreto reforzado con fibras de acero wirand. Tesis Ing. Civil. Lima, Perú, Universidad Ricardo Palma, Facultad de Ingeniería. 53 p.
- Instituto del Concreto, 1997. Manual Tecnología y Propiedades, Asociación colombiana de productores de concreto - ASOCRETO. D Sánchez. 2 ed. Sexta impresión, Colombia. 215 p.
- León, MP; Ramírez, F. 2010. Caracterización morfológica de agregados para concreto mediante el análisis de imágenes. Bogotá, Colombia. Ingeniería de Construcción 25(2): 215-240.
- Lezama Leiva, J. (s.f.). Tecnología del concreto. Cajamarca, Perú. Universidad Nacional de Cajamarca. 82 p.
- NTP 400.012. 2013. Análisis granulométrico del agregado fino, grueso y global. Lima, INDECOPI.
- NTP 400.022. 2013. Método de ensayo normalizado para peso específico y porcentaje absorción del agregado fino. Lima, INDECOPI.
- NTP 400.017. 2011. Método de ensayo para determinar pesos volumétricos secos, sueltos y compactados. Lima, INDECOPI.
- NTP 339.035. 2009. Método de ensayo para la medición del asentamiento del concreto de cemento Portland. Lima, INDECOPI.
- NTP 339.183. 2009. Práctica para la elaboración y curado de especímenes de concreto en laboratorio. Lima, INDECOPI.

- NTP 339.034. 2008. Método de ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a la compresión del concreto, en muestras cilíndricas. Lima, INDECOPI.
- NTP 339.185. 2002. Método de ensayo normalizado para contenido de humedad total evaporable de agregados por secado. Lima, INDECOPI.
- NTP 400.021. 2002. Método de ensayo normalizado para peso específico y porcentaje de absorción del agregado grueso. Lima, INDECOPI.
- NTP 339.114. 1999. Concreto premezclado. Lima, INDECOPI.
- Ottazzi, G. 2004. Material de Apoyo para la Enseñanza de los Cursos de Diseño y Comportamiento del Concreto Armado. Tesis Mag. Ing. Civil. Lima, Perú: Pontificia Universidad Católica del Perú, Facultad de Ingeniería. s.p.
- RNE (Reglamento Nacional de Edificaciones). 2014. Norma E.060: Concreto Armado. p. 408-425
- Rivva López, E. 2000. Naturaleza y materiales del concreto. A Gómez. ACI Perú. Lima, Perú. 390 p.
- Rivva López, E; Harman, J; Pasquel, E; Badoino, D; Romero, A. 1998. Tecnología del concreto: ACI capítulo peruano. A Gómez. Lima, Perú. 172 p.
- Rivva López, E. 1992. Tecnología del concreto: Diseño de mezclas. Editorial Hozlo S.C.R.L. Lima, Perú. 284 p.
- Scanferla, LJ. 2010. Evaluación de los Agregados Localmente Disponibles para ser Empleados en Hormigones de Pavimentos. LEMaC: Centro de Investigación Vial. Tesis de Becarios. Argentina, Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional la Plata. s.p.
- Speicher, MB. 2007. Pérdida de la consistencia del concreto en el tiempo. Tesis Ing. Civil. Lima, Perú, Universidad Ricardo Palma, Facultad de Ingeniería. 44 p.
- Valcuende, M; Marco, E; Jardón, R; Gil, A. 2009. Código modelo CEB-FIP 1990: Evolución de la resistencia del hormigón con la edad y la temperatura. España. Universidad Politécnica de Valencia. s.p.

## ANEXO A

### TABLAS

Tabla 30. Tipos de cemento Portland

Tipos	Características
Tipos I	Portland normal
Tipos II	Portland moderada resistencia a los sulfatos
Tipos III	Portland fraguado rápido, alta resistencia inicial.
Tipos IV	Portland bajo calor de hidratación
Tipos V	Portland alta resistencia a los sulfatos

Fuente: Norma ASTM C 150, citado por Alvarado 2010

Tabla 31. Clasificación de agregados según el tamaño

Tamaño de las partículas (mm)	Denominación corriente	Clasificación como agregado para concreto
< 0,002	Arcilla	Fracción muy fina
0,002 – 0,074 (No. 200)	Limo	
0,074 (No.200) – 4,76 (No.4)	Arena	Agregado fino
4,76 (No.4) – 19,1 (3/4")	Gravilla	Agregado grueso
19,1 (3/4") – 50,8 (2")	Grava	
50,8 (2") – 152,4 (6")	Piedra	
> 152,4 (6")	Rajón, Piedra bola	

Fuente: Instituto del concreto de 1997

Tabla 32. Clasificación de los agregados según su densidad

Clasificación del agregado	Masa unitaria aproximada (Kg/m <sup>3</sup> )		Variedades más comunes de agregados	Ejemplo de uso
	Del agregado	Del Concreto		
Liviano	480 – 1 300	500 – 2 000	Pizarras expandidas, esquistos, escoria, arcilla	Concretos livianos estructurales
Normal	1 300 – 2 000	2 000 – 2 500	Arena, grava, piedra triturada, clínker, escoria de fundición	Obras en concreto en general arena, grava, piedra
pesado	2 000 – 5 600	> 2 500	Barrita, limonita, magnetita, limadura de acero, hematita	Concreto para macizos de anclaje, para protección contra radiaciones, etc

Fuente: Instituto del concreto 1997

Tabla 33. Requisitos granulométricos de la ASTM C 33 para agregado fino

Tamiz	% que pasa	
3/8"	100	
N°4	95	a 100
N°8	80	a 100
N°16	50	a 85
N°30	25	a 60
N°50	10	a 30
N°100	2	a 10

Fuente: ASTM C 33, citado por Rivva et al. 1998

Tabla 34. Requisitos granulométricos de la ASTM C 33 para agregado grueso

N° ASTM (HUSO)	Tamaños nominales en pulgadas (Abertura Cuadrada)			Porcentajes pasantes en peso para cada tamiz standard												
				4"	3 1/2"	3"	2 1/2"	2"	1 1/2"	1"	3/4"	1/2"	3/8"	N°4	N°8	N°16
1	3 1/2"	a	1 1/2"	100	90 a 100	...	25 a 60	...	0 a 15	...	0 a 5	...	...	...	...	...
2	2 1/2"	a	1 1/2"	...	...	100	90 a 100	35 a 70	0 a 15	...	0 a 15	...	...	...	...	...
3	2"	a	1"	...	...	...	100	90 a 100	35 a 70	0 a 15	...	0 a 5	...	...	...	...
357	2"	a	N°4	...	...	...	100	95 a 100	...	35 a 70	...	10 a 30	...	0 a 5	...	...
4	1 1/2"	a	3/4"	...	...	...	...	100	90 a 100	20 a 55	0 a 15	...	0 a 5	...	...	...
467	1 1/2"	a	N°4	...	...	...	...	100	95 a 100	...	35 a 70	...	10 a 30	0 a 5	...	...
5	1"	a	1/2"	...	...	...	...	...	100	90 a 100	20 a 55	0 a 10	0 a 5	...	...	...
56	1"	a	3/8"	...	...	...	...	...	100	90 a 100	40 a 85	10 a 40	0 a 15	0 a 5	...	...
57	1"	a	N°4	...	...	...	...	...	100	95 a 100	...	25 a 60	...	0 a 10	0 a 5	...
6	3/4"	a	3/8"	...	...	...	...	...	...	100	90 a 100	20 a 55	0 a 15	0 a 5	...	...
67	3/4"	a	N°4	...	...	...	...	...	...	100	90 a 100	...	20 a 55	0 a 10	0 a 5	...
7	1/2"	a	N°4	...	...	...	...	...	...	...	100	90 a 100	40 a 70	0 a 15	0 a 5	...
8	3/8"	a	N°8	...	...	...	...	...	...	...	...	...	85 a 100	0 a 30	0 a 10	0 a 5

Fuente: ASTM C 33, citado por Rivva et al. 1998

Tabla 35. Control de pruebas slump por perfil de agregado grueso, edad y códigos de testigos de concreto  $f'c=175 \text{ Kg/cm}^2$

Nº de Mezcla	Tipo de agregado grueso	Edad a romper en días	código de testigo	Fecha de elaboración	Fecha de rotura	Hora de elaboración	Asentamiento (cm)
1	G. R.	28	GR1 (175)	16/09/2014	14/10/2014	7:30pm	16,5
			GR2(175)				
			GR3(175)				
2	P.C.	28	PC1(175)	16/09/2014	14/10/2014	6:30pm	11
			PC2(175)				
			PC3(175)				
3	G. R.	21	GR4(175)	19/09/2014	10/10/2014	10:00pm	17
			GR5(175)				
			GR6(175)				
4	P.C.	21	PC4(175)	19/09/2014	10/10/2014	12:00pm	9
			PC5(175)				
			PC6(175)				
5	G. R.	14	GR7(175)	22/09/2014	06/10/2014	4:30pm	15,5
			GR8(175)				
			GR9(175)				
6	P.C.	14	PC7(175)	22/09/2014	06/10/2014	2:30pm	10
			PC8(175)				
			PC9(175)				
7	G. R.	7	GR10(175)	24/09/2014	01/10/2014	10:00pm	17
			GR11(175)				
			GR12(175)				
8	P.C.	7	PC10(175)	24/09/2014	01/10/2014	11:00am	10
			PC11(175)				
			PC12(175)				

Nota: P.C.=Piedra Chancada y G.R.=Grava Redondeada

Tabla 36. Control de pruebas slump por perfil de agregado grueso, edad y códigos de testigos de concreto  $f'c=210 \text{ Kg/cm}^2$

Nº de Mezcla	Tipo de agregado grueso	Edad a romper en días	código de testigo	Fecha de elaboración	Fecha de rotura	Hora de elaboración	Asentamiento (cm)
1	G. R.	28	GR1(210)	17/09/2014	15/10/2014	8:00pm	16
			GR2(210)				
			GR3(210)				
2	P.C.	28	PC1(210)	17/09/2014	15/10/2014	7:00pm	8
			PC2(210)				
			PC3(210)				
3	G. R.	21	GR4(210)	19/09/2014	10/10/2014	2:30pm	15
			GR5(210)				
			GR6(210)				
4	P.C.	21	PC4(210)	19/09/2014	10/10/2014	10:50am	10
			PC5(210)				
			PC6(210)				
5	G. R.	14	GR7(210)	22/09/2014	06/10/2014	3:30pm	15
			GR8(210)				
			GR9(210)				
6	P.C.	14	PC7(210)	22/09/2014	06/10/2014	1:00pm	8
			PC8(210)				
			PC9(210)				
7	G. R.	7	GR10(210)	24/09/2014	01/10/2014	9:00pm	15
			GR11(210)				
			GR12(210)				
8	P.C.	7	PC10(210)	24/09/2014	01/10/2014	1:00pm	9
			PC11(210)				
			PC12(210)				

Nota: P.C.=Piedra Chancada y G.R.=Grava Redondeada

Tabla 37. Cantidad total de materiales utilizados en la investigación

Componente	$f'c=175\text{Kg/cm}^2$	$f'c=210\text{Kg/cm}^2$
Agua (Kg)	40,11	39,86
Cemento (Kg)	58,63	65,84
Agregado grueso(Kg)	174,38	173,78
Agregado fino(Kg)	126,87	120,52
Total(Kg)	400,00	400,00

Tabla 38. Distribución de partículas de la grava redondeada y piedra chancada para cada tanda

Abertura de malla		Peso retenido, en el análisis granulométrico de la piedra chancada	Peso retenido de grava redondeada en cada tamiz (para una tanda)	
Pulgadas	mm		Para $f_c=175$ Kg/cm <sup>2</sup>	Para $f_c=210$ Kg/cm <sup>2</sup>
3/4"	19,05	0,605	2,08	2,08
1/2"	12,70	3,086	10,63	10,59
3/8"	9,53	1,480	5,10	5,08
N°04	4,76	1,125	3,88	3,86
N°08	2,38	0,032	0,11	0,11
Peso del agregado grueso (Kg)		6,33	21,80	21,72

Tabla 39. % de Resistencias promedio de especímenes  $f_c = 175$  Kg/cm<sup>2</sup>.

Edad en días	$f_c = 175$ Kg/cm <sup>2</sup>			
	% de Resistencias nominales en Kg/cm <sup>2</sup>	% Resistencias reales promedio en Kg/cm <sup>2</sup>		Diferencia de resistencias en % (PC-GR)
		Piedra Chancada	Grava Redondeada	
7	69	68	56	12
14	86	93	77	16
21	95	101	93	8
28	100	105	94	11

Tabla 40. % de Resistencias promedio de especímenes  $f_c = 210$  Kg/cm<sup>2</sup>

Edad en días	$f_c = 210$ Kg/cm <sup>2</sup>			
	% de Resistencias nominales en Kg/cm <sup>2</sup>	% Resistencias reales promedio en Kg/cm <sup>2</sup>		Diferencia de resistencias en % (PC-GR)
		Piedra Chancada	Grava Redondeada	
7	69	74	59	15
14	86	95	88	8
21	95	105	97	8
28	100	108	101	7

## ANEXO B

### PROCEDIMIENTOS Y RESULTADOS COMPLEMENTARIOS

#### DISEÑOS DE MEZCLAS

Tabla 41. Resumen de propiedades de los agregados para diseños de mezclas

Características	Agregado fino	agregado grueso	Cemento
Humedad Natural (%)	1,45	0,25	...
Absorción (%)	3,39	1,03	...
Peso específico de masa	2,44	2,58	3,15
Módulo de fineza	2,69	...	...
Tamaño máximo nominal del agregado	...	3/4"	...
Peso unitario suelto (g/cm <sup>3</sup> )	1,575	1,409	...
Peso unitario varillado compactado (g/cm <sup>3</sup> )	1,743	1,557	...

#### DISEÑO DE MEZCLA $f'c=175 \text{ Kg/Cm}^2$ .

**Paso 1.** Elección del revenimiento: Se eligió de 3" a 4", según la tabla 7.

**Paso 2.** Elección del Tamaño Máximo del Agregado:  $TM = 3/4"$ .

**Paso 3.** Determinación del agua de mezclado y contenido de aire, según la tabla 8.

Agua = 205 Lt o Kg; % de aire atrapado = 2 %

**Paso 4.** Selección de la relación Agua/Cemento.

Primeramente se calculará el Esfuerzo Crítico de Diseño ( $f'cr$ ) según fórmula 14 y tabla 9.

$$f'cr = f'c + 70 = 175 + 70 = 245 \text{ Kg/cm}^2.$$

Entrando a la tabla 10, la relación A/C = 0,62 (a criterio del investigador)

**Paso 5. Cálculo del Contenido de Cemento.**

$A/C = 0,62$  y  $A = 205$  Lt o Kg, entonces  $C = 205/0,62 = 331$  Kg

**Paso 6. Estimación del contenido de agregado grueso.**

Con el módulo de finura (MF) de la arena = 2,69 y el tamaño máximo (TM) de la grava =  $\frac{3}{4}$ ", se entra a la tabla 11, se hace una interpolación y se obtiene el valor de volumen = 0,631. Si el  $PUV = W/V$  y  $V = 0,631$  y  $PUV = 1557$  Kg/m<sup>3</sup>  
 $\therefore W = 0,631 * 1557 = 982$  Kg de agregado grueso.

**Paso 7. Estimación del contenido de agregado fino:**

Materiales	Masa (Kg)	P.E.	Volumen (m <sup>3</sup> )
Cemento	331	3,15	0,105
Agua	205	1,00	0,205
Aire	0	0,00	0,020
Arena		2,44	
Grava	982	2,58	0,381
Total			<u>0,711</u>

Luego por diferencia se tiene  $1 - 0,711 = 0,289$  m<sup>3</sup>. El peso de arena =  $0,289 * 2440 = 706$  Kg

**Paso 8. Ajustes por humedad del agregado:**

	Arena	Piedra Chancada
Absorción	3,39%	1,04%
humedad	1,45%	0,25%
	<u>Dif 1 = 1,94%</u>	<u>Dif 2 = 0,79%</u>

- Peso de la piedra chancada húmeda =  $982 (1 + \text{humedad}) = 982 (1 + 0,0025) = 984$  Kg
- Peso de la arena húmeda =  $706 (1 + \text{humedad}) = 706 (1 + 0,0145) = 716$  Kg

Para no alterar la relación A/C, se modifica el contenido de agua, según fórmula 15.

- $A = 205 + (\text{Dif 1} * \text{Peso de la Piedra}) + (\text{Dif 2} * \text{Peso de la Arena}) = 205 + 7,76 + 13,70 = 226$  Kg

**Paso 9.** Peso de materiales para un metro cúbico de concreto.

Cemento	=	331	Kg
Agregado grueso (húmedo)	=	984	Kg
Agregado fino (húmedo)	=	716	Kg
Agua (total de mezclado)	=	226	Lt ó Kg

**Paso 10.** Proporción en peso redondeado a un decimal:

Cemento	:	1,0
Agregado fino	:	2,2
Agregado grueso	:	3,0
Agua	:	0,7
Aire	:	0,0

**DISEÑO DE MEZCLA  $f'c = 210 \text{ Kg/Cm}^2$ .**

**Paso 1.** Elección del revenimiento: Se eligió de 3" a 4", según la tabla 7.

**Paso 2.** Elección del Tamaño Máximo del Agregado:  $TM = 3/4"$ .

**Paso 3.** Determinación del agua de mezclado y contenido de aire, según la tabla 8.

Agua = 205 Lt o Kg; % de aire atrapado = 2 %

**Paso 4.** Selección de la relación Agua/Cemento.

Primeramente se calculará el Esfuerzo Crítico de Diseño ( $f'cr$ ) según fórmula 14 y tabla 9.

$$f'cr = f'c + 85 = 210 + 85 = 295 \text{ Kg/cm}^2.$$

Entrando a la tabla 10, la relación  $A/C = 0,55$  (a criterio del investigador)

**Paso 5.** Cálculo del Contenido de Cemento.

$$A/C = 0,55 \text{ y } A = 205 \text{ Lt, entonces } C = 205/0,55 = 373 \text{ Kg}$$

**Paso 6.** Estimación del contenido de agregado grueso.

Con el módulo de finura (MF) de la arena = 2,69 y el tamaño máximo (TM) de la grava =  $3/4"$ , se entra a la tabla 11, se hace una interpolación y se obtiene el valor de volumen = 0,631. Si el  $PUV = W/V$  y  $V = 0,631$  y  $PUV = 1557 \text{ Kg/m}^3$   
 $\therefore W = 0,631 * 1557 = 982 \text{ Kg}$  de agregado grueso.

**Paso 7. Estimación del contenido de agregado fino:**

Materiales	Masa (Kg)	P.E.	Volumen (m3)
Cemento	373	3,15	0,118
Agua	205	1,00	0,205
Aire	0	0,00	0,020
Arena		2,44	
Grava	982	2,58	0,381
Total			<u>0,724</u>

Luego por diferencia se tiene  $1 - 0,724 = 0,276 \text{ m}^3$ . El peso de arena =  $0,276 * 2440 = 673 \text{ Kg}$

**Paso 8. Ajustes por humedad del agregado:**

	Arena	Piedra Chancada
Absorción	3,39%	1,04%
humedad	1,45%	0,25%
	<u>Dif 1 = 1,94%</u>	<u>Dif 2 = 0,79%</u>

- Peso de la piedra chancada húmeda =  $982 (1 + \text{humedad}) = 982 (1 + 0,0025) = 984 \text{ Kg}$
- Peso de la arena húmeda =  $673 (1 + \text{humedad}) = 673 (1 + 0,0145) = 683 \text{ Kg}$

Para no alterar la relación A/C, se modifica el contenido de agua, según fórmula 15.

- $A = 205 + (\text{Dif 1} * \text{Peso de la Piedra}) + (\text{Dif 2} * \text{Peso de la Arena}) = 205 + 7,76 + 13,06 = 226 \text{ Kg}$

**Paso 9. Peso de materiales para un metro cúbico de concreto.**

Cemento	= 373 Kg
Agregado grueso (húmedo)	= 984 Kg
Agregado fino (húmedo)	= 683 Kg
Agua (total de mezclado)	= 226 Lt o Kg

**Paso 10. Proporción en peso redondeado a un decimal:**

Cemento	: 1,0
Agregado fino	: 1,8
Agregado grueso	: 2,6
Agua	: 0,6
Aire	: 0,0

## PESO DE MATERIALES POR TANDA

Primeramente se encontró el volumen de concreto por tanda, para tres testigos y una prueba slump.

Cantidad de testigos por tanda	A	=	3	Und
N° Pruebas slump por tanda	B	=	1	und
Volumen de concreto por testigo	C	=	0,005	m <sup>3</sup>
Volumen del cono de Abrams	D	=	0,005	m <sup>3</sup>
Volumen de concreto para testigos	E= A*C	=	0,015	m <sup>3</sup>
Volumen de concreto para slump	F=B*D	=	0,005	m <sup>3</sup>
VOLUMEN TOTAL DE C° POR TANDA	G=E+F	=	0,020	m <sup>3</sup>

El volumen de 0,02 m<sup>3</sup> encontrado, se multiplica por cada peso de los materiales determinados para un metro cúbico de concreto, en cada resistencia de diseño.

### Proporcionamiento por tanda para concreto $f'c=175 \text{ Kg/cm}^2$

Para 0,02 m<sup>3</sup> de concreto, se obtuvieron los siguientes pesos:

Agua	= 0,02	x 226	= 4,53	Kg
Cemento	= 0,02	x 331	= 6,62	Kg
Agregado grueso	= 0,02	x 984	= 19,69	Kg
Agregado fino	= 0,02	x 716	= 14,32	Kg
Sub total			45,16	Kg
Desperdicios	10,72%		4,84	Kg
TOTAL			50,00	Kg

Cada tanda se hizo de 50 Kg. A continuación se presenta la corrección del proporcionamiento en peso de los materiales.

Agua	= 5,01	Kg
Cemento	= 7,33	Kg
Agregado grueso	= 21,80	Kg
Agregado fino	= 15,86	Kg
TOTAL	50,00	Kg

### Proporcionamiento por tanda para concreto $f'c=210 \text{ Kg/cm}^2$

Para  $0,02 \text{ m}^3$  de concreto, se obtuvieron los siguientes pesos:

Agua	=	0,02	x	226	=	4,52	Kg
Cemento	=	0,02	x	373	=	7,46	Kg
Agregado grueso	=	0,02	x	984	=	19,69	Kg
Agregado fino	=	0,02	x	683	=	13,66	Kg
Sub total						45,32	Kg
Desperdicios		10,33%				4,68	Kg
TOTAL						50,00	Kg

Para cada tanda de 50 Kg, le correspondió el siguiente proporcionamiento en peso de los materiales:

Agua	=	4,98	Kg
Cemento	=	8,23	Kg
Agregado grueso	=	21,72	Kg
Agregado fino	=	15,07	Kg
TOTAL		50,00	Kg

## RESISTENCIAS NOMINALES DEL CONCRETO A DIFERENTES EDADES

Utilizando la fórmula 5 y la temperatura del agua de curado que resultó 20,5°C, se obtiene la edad teórica “d”.

$$d = \frac{(20.5 + 10)7}{30} = 7.12 \text{ días}$$

$$d = \frac{(20.5 + 10)14}{30} = 14.23 \text{ días}$$

$$d = \frac{(20.5 + 10)21}{30} = 21.35 \text{ días}$$

$$d = \frac{(20.5 + 10)28}{30} = 28.47 \text{ días}$$

Para utilizar la fórmula 2, plasmada en el marco teórico, considero el factor S=0,38 (para cemento de endurecimiento lento) y las edades teóricas “d” ya encontradas, para cada edad real (7, 14, 21 y 28 días)

$$K_{(7\text{días})} = e^{\left[0.38\left(1 - \sqrt{\frac{28}{7.12}}\right)\right]} = 0.688 \cong 0.69$$

$$K_{(14\text{días})} = e^{\left[0.38\left(1 - \sqrt{\frac{28}{14.23}}\right)\right]} = 0.858 \cong 0.86$$

$$K_{(21\text{días})} = e^{\left[0.38\left(1 - \sqrt{\frac{28}{21.35}}\right)\right]} = 0.946 \cong 0.95$$

$$K_{(28\text{días})} = e^{\left[0.38\left(1 - \sqrt{\frac{28}{28.47}}\right)\right]} = 1.003 \cong 1.00$$

Al reemplazar estos coeficientes en la fórmula 1, se obtiene los esfuerzos nominales.

Tabla 42. Resistencias nominales a diferentes edades de los concretos de  $f'c=175$  y 210 Kg/cm<sup>2</sup>

Edad en días	Coficiente K	$f'c=175$ Kg/cm <sup>2</sup>	$f'c=210$ Kg/cm <sup>2</sup>
7	0,69	120,75	144,90
14	0,86	150,50	180,60
21	0,95	166,25	199,50
28	1,00	175,00	210,00

**ANEXO C**

**PANEL FOTOGRÁFICO**

**AGREGADOS DE LA CANTERA OLANO UTILIZADOS EN LA INVESTIGACION**



**Figura 40. Piedra chancada**



**Figura 41. Grava redondeada**



**Figura 42. Arena de la Cantera Olano**

## PROCESO DE ELABORACIÓN DE MEZCLAS



Figura 43. Pesado de agregados

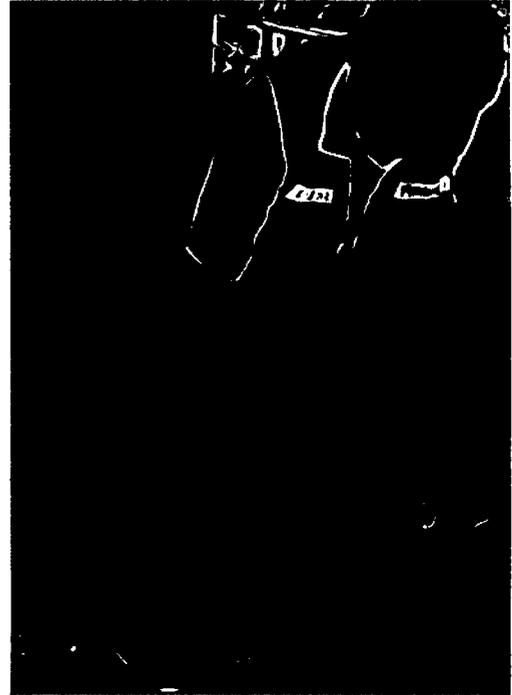


Figura 44. Mezclado manual (amasado)



Figura 45. Pesado de agua potable



Figura 46. Batido manual de la mezcla

PRUEBA SLUMP PARA DETERMINAR LA CONSISTENCIA DE LAS MEZCLAS



Figura 47. Compactado de la mezcla en el cono de Abrams

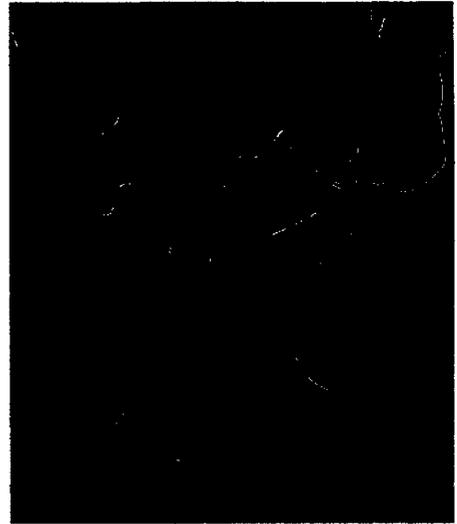


Figura 48. Enrasado de mezcla en el cono de Abrams



Figura 49. Medición del asentamiento de la mezcla de concreto

## ELABORACIÓN Y TRATAMIENTO DE LOS ESPECÍMENES DE CONCRETO



Figura 50. Colocación de aceite en las paredes de las probetas



Figura 51. Control de procedimientos por el asesor de tesis



Figura 52. Llenado de probetas

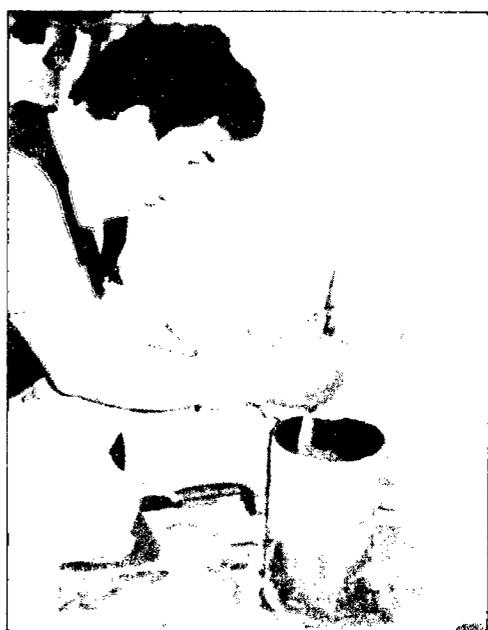


Figura 53. Compactado de mezcla en probeta



Figura 54. Eliminación de aire atrapado utilizando la comba de goma

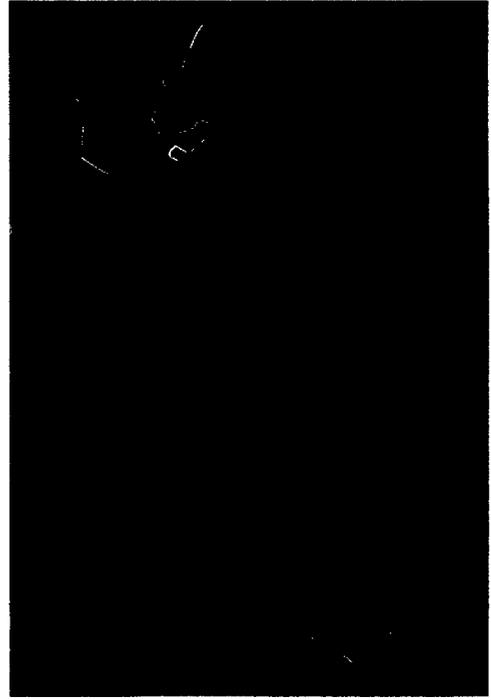


Figura 55. Enrasado de la superficie del espécimen de concreto



Figura 56. Probetas moldeadas



Figura 57. Codificación de testigos antes de ser llevadas al curado



Figura 58. Curado de testigos



Figura 59. Medición del diámetro de las probetas antes de su ruptura

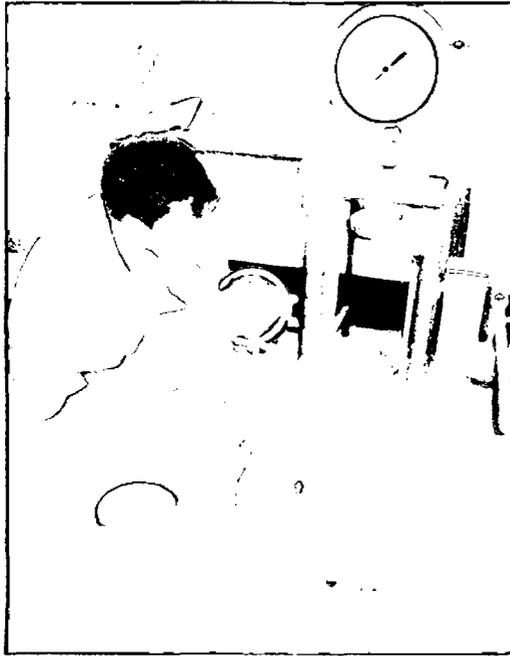


Figura 60. Limpieza de las placas de neopreno



Figura 61. Ubicación de testigo en la máquina compresora

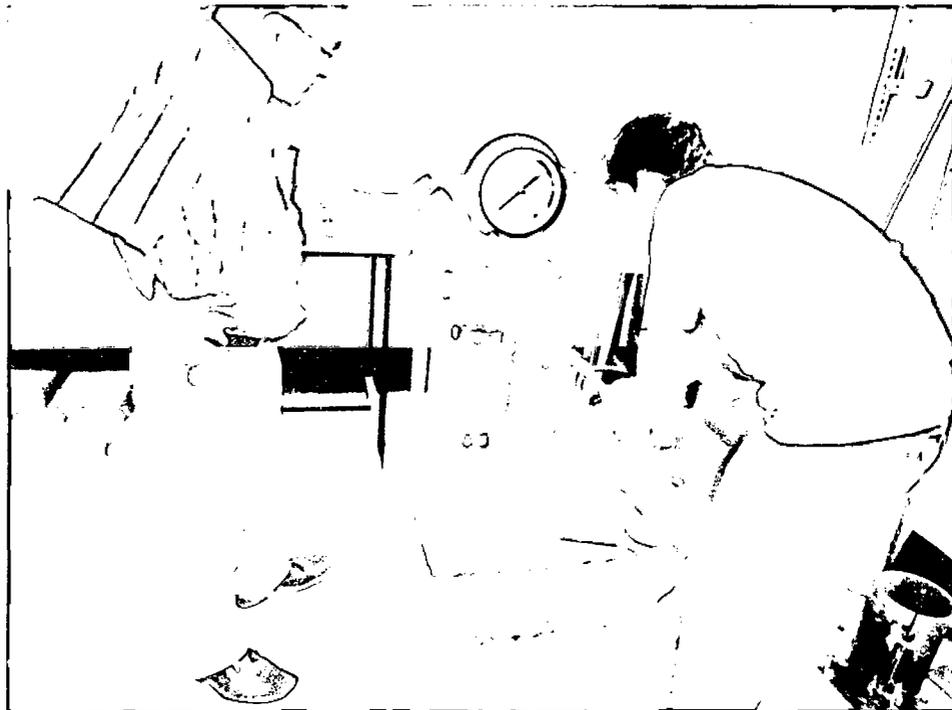


Figura 62. Ruptura de los testigos de concreto sometidos a carga axial