



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA TIERRA Y LA
CONSTRUCCIÓN**

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

TESIS PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL

**TEMA: CARACTERIZACIÓN EXPERIEMNTAL DEL HORMIGÓN DE
ALTO DESEMPEÑO CON ÉNSASIS EN ADITIVOS MINERALES**

AUTOR: MUÑOZ YUGCHA DIEGO FERNANDO

**DIRECTOR: ING. PABLO CAÍZA. PhD
CODIRECTOR: ING. RICARDO DURÁN.**

SANGOLQUÍ

2015

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue realizado en su totalidad por el Sr. DIEGO FERNANDO MUÑOZ YUGCHA como requerimiento parcial a la obtención del título de INGENIERO CIVIL.

Sangokuí, Marzo del 2015



ING. PABLO CAIZA, PhD.
DIRECTOR DE TESIS



ING. RICARDO DURÁN
CODIRECTOR DE TESIS

REVISADO POR



ING. PABLO CAIZA, PhD.

DIRECTOR DE LA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

Yo, DIEGO FERNANDO MUÑOZ YUGCHA

Declaro que:

El proyecto de grado denominado "Caracterización experimental del hormigón de alto desempeño con énfasis en aditivos minerales", ha sido desarrollado en base a una investigación apropiada, respetando derechos de terceros, conforme las referencias que constan en las páginas correspondientes, cuyas fuentes se incorporan en la bibliografía al final de esta investigación. Consecuentemente este trabajo es de mi autoría.

En virtud de esta declaración, me responsabilizo del contenido, veracidad y alcance científico del proyecto de grado en mención.

Sangolquí, Marzo del 2015.



DIEGO FERNANDO MUÑOZ YUGCHA

AUTORIZACIÓN

Yo, DIEGO FERNANDO MUÑOZ YUGCHA

Autorizo a la universidad de las fuerzas armadas la publicación, en la biblioteca virtual de la institución el proyecto titulado: "CARACTERIZACIÓN EXPERIMENTAL DEL HORMIGÓN DE ALTO DESEMPEÑO CON ÉNFASIS EN ADITIVOS MINERALES", cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y autoría.

Sangolquí, Marzo del 2015



DIEGO FERNANDO MUÑOZ YUGCHA

DEDICATORIA

Esta tesis va dedicada a mi familia, que con sabios consejos y animosas palabras, supieron guiar mi vida y mi carrera estudiantil, para no decaer en momentos difíciles, tomando esas dificultades como retos para sobresalir con perseverancia y esmero, aprendiendo con ello alcanzar el éxito.

A mi esposa por estar a mi lado apoyándome desde el instante que nos conocimos y por brindarme el regalo más grande que Dios nos dio para fortalecer este lazo de amor, nuestro querido hijo Matías, quien ha sido la inspiración de este gran logro alcanzado.

A mis amigos del ayer ahora y siempre, con los cuales he compartido conocimientos del diario vivir y académicos, haciendo de esta etapa de mi vida una inolvidable experiencia.

Al Ing. Pablo Caíza, por creer en mí, apoyándome y buscando soluciones en cada adversidad que durante la tesis me encontraba, ya sean personales o de investigación.

A todos quienes no he nombrado, pero sin duda fueron una ayuda durante mi formación académica. A mis compañeros, personal de laboratorio, personal de GEOSIL, profesores, etc.

Diego Fernando Muñoz Yugcha

AGRADECIMIENTO

El agradecimiento de esta tesis va en primer lugar para mi Dios, padre celestial quien me bendice en cada paso que doy, dándome las fuerzas necesarias para no desmayar en el camino, permitiéndome alcanzar un sueño más en mi formación académica.

Agradezco a mis padres, Elías Muñoz y Alicia Yugcha, quienes con su gran amor y consejos me han motivado para conseguir cada triunfo de mi vida, además han sido quienes me han brindado los recursos económicos necesarios para cumplir este gran sueño anhelado. A mi hermana, Nicole Muñoz, por siempre sentirse orgullosa de su hermano, motivándome con sus palabras para cumplir este gran reto.

A mi esposa, Mayra Cachago y mi querido hijo Matías Muñoz, quienes con su gran cariño han sido el aliento de superación para este gran logro.

A mis Tíos, los cuales me han enseñado sus grandes virtudes y consejos para surgir en mi vida, a mis primos, ya que he sido un ejemplo de superación a seguir.

A mis tutores de tesis, Ing. Pablo Caíza, Ing. Ricardo Durán, ya que con sus conocimientos supieron guiarme durante esta larga investigación, para alcanzar el objetivo planteado.

Diego Fernando Muñoz Yugcha

ÍNDICE DE CONTENIDO

CERTIFICACIÓN.....	¡Error! Marcador no definido.
DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD	¡Error! Marcador no definido.
AUTORIZACIÓN.....	¡Error! Marcador no definido.
DEDICATORIA.....	ii
AGRADECIMIENTO.....	v
ÍNDICE DE CONTENIDO.....	vi
LISTADO DE TABLAS	xii
LISTADO DE CUADROS	xv
LISTADO DE FIGURAS	xvii
RESUMEN	xxi
ABSTRACT	xxii
CAPÍTULO I.....	1
GENERALIDADES.....	1
1.1. Introducción	1
1.2. Antecedentes	2
1.3. Objetivos	5

1.3.1	Objetivo general.....	5
1.3.2	Objetivos específicos	5
CAPÍTULO II.....		7
HORMIGÓN DE ALTO DESEMPEÑO SIN ADITIVO QUÍMICO		7
2.1.	Introducción	7
2.2.	Cantidades de materiales necesarios	8
2.2.1	Agregado Grueso	8
2.2.2	Agregado Fino	9
2.2.3	Cemento portland.....	11
2.2.4	Agua de mezclado.....	12
2.2.5	Aditivos minerales	14
2.3.	Dosificación de hormigones de alto desempeño. Método ACI 211.4R	16
2.3.1	Resistencia especificada del hormigón	16
2.3.2	Resistencia requerida del hormigón.....	17
2.3.3	Procedimiento para la dosificación de HAD.	19
2.3.4	Tipos de dosificaciones para hormigones de alto desempeño	33

CAPÍTULO III	67
CARACTERIZACIÓN DE MATERIALES CONSTITUTIVOS DEL HORMIGÓN.....	67
3.1. Introducción	67
3.2. Características del cemento.....	67
3.2.1 Determinación del tiempo de fraguado.....	68
3.2.2 Determinación de finura del cemento	70
3.2.3 Tamizado del cemento vía húmeda, ASTM C 430 – 03.....	72
3.2.4 Densidad del cemento, Norma INE 156.	74
3.3. Propiedades físicas y mecánicas de los agregados pétreos	75
3.3.1 Peso específico y capacidad de absorción	76
3.3.2 Densidad suelta y compactada. ASTM C - 29.....	80
3.3.3 Granulometría de los agregados. ASTM C 33.....	82
3.3.4 Contenido de humedad. ASTM C 566.	85
3.3.5 Ensayo de abrasión. ASTM C 131.	86
3.4. Características del aditivo mineral.....	88
3.4.1 Determinación de la clase de ceniza	89
3.4.2 Determinación de la densidad de la ceniza	91
3.5. Resultados de la caracterización de los materiales del hormigón.....	92
3.5.1 Resultados agregado fino.....	92

3.5.2	Resultados del agregado grueso.....	100
3.5.3	Resultados del material cementante.....	109
3.6.	ENSAYOS DEL HORMIGÓN EN SU ESTADO FRESCO	114
3.6.1	Muestreo del concreto recién mezclado. ASTM C 172.....	114
3.6.2	Temperatura del concreto fresco. ASTM C 1064.....	115
3.6.3	Revenimiento del concreto recién mezclado. ASTM C 143	116
3.6.4	Peso unitario y volumen producido. ASTM C 138	119
3.6.5	Contenido de aire, método de presión, ASTM C 231.....	120
3.6.6	Contenido de aire, método volumétrico, ASTM C 173.....	123
3.6.7	Elaboración y curado de especímenes de hormigón para pruebas de compresión, ASTM C 31.....	127
3.7.	Ensayos del hormigón en estado de endurecimiento	129
3.7.1	Refrendado de probetas cilíndricas de hormigón, ASTM C 617- 98.	129
3.7.2	Uso de almohadillas de neopreno ASTM C 1231	131
3.7.3	Resistencia a la compresión del hormigón. NTE IENE 1 573.....	133
3.7.4	Módulo de elasticidad en cilindros sometidos a compresión.	134
3.8.	Materiales necesarios para la elaboración de HAD	141
3.9.	Proceso de mezcla manual de hormigones de alto desempeño HAD.	144

3.10.	Procedimiento, toma de muestra hasta su rotura a la compresión.....	147
3.11.	Tipos de falla que se presentan en los especímenes de hormigón.....	158
3.12.	Fallas en las probetas de hormigón.	163
3.13.	Resultados.	173
3.1.	Resultados de los especímenes de hormigón sometidos a compresión....	173
3.2.	Resultados del módulo de elasticidad del H.A.D.....	175
3.3.	Gráficas encontradas de los ensayos.	178
CAPÍTULO IV		182
COMPARACIÓN DE RESISTENCIA Y MÓDULO DE ELASTICIDAD EN HORMIGONES COMUNES Y DE ALTA RESISTENCIA		182
4.1.	Introducción	182
4.2.	Resistencia y módulo de elasticidad en cilindros Comunes.....	182
4.3.	Comparación de resultados	202
CAPÍTULO V		206
ANÁLISIS DE COSTOS		206
5.1.	Introducción	206

5.2. Costo de producción de 1m ³ de hormigón estándar y de alto desempeño sin aditivos químicos.	206
5.3. Comparación de costos entre hormigones convencionales y hormigones de alto desempeño sin aditivos químicos.	211
CAPÍTULO VI	214
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	214
6.1. Conclusiones	214
6.2. Recomendaciones.....	216
6.3. Bibliografía	218

LISTADO DE TABLAS

Tabla 1. Resistencia promedio a la compresión requerida cuando hay datos.	18
Tabla 2. Asentamiento recomendado para hormigones con y sin aditivo HRWR ...	20
Tabla 3. Tamaño máximo sugerido para el agregado grueso.	21
Tabla 4. Volumen recomendado de agregados gruesos por volumen de hormigón.	22
Tabla 5. Estimación del agua de mezclado.	24
Tabla 6. Relación agua-cemento recomendada para hormigones elaborados sin HRWR.	26
Tabla 7. Relación agua/cemento recomendada para hormigones elaborados con HRWR.	27
Tabla 8. Valores recomendados para el reemplazo del cemento portland con ceniza volante.	30
Tabla 9. Propiedades físicas del agregado grueso de Macas y agregado fino del volcán Guagua Pichincha.	35
Tabla 10. Dosificación del hormigón. Método ACI 211.	36
Tabla 11. Propiedades físicas del agregado de Disensa.	37
Tabla 12. Dosificación. Método ACI 211.	38
Tabla 13. Propiedades físicas del agregado de Disensa.	39
Tabla 14. Dosificación al peso por metro cúbico de hormigón.	40
Tabla 15. Dosificación al peso por metro cúbico de hormigón.	41
Tabla 16. Dosificación al peso por metro cúbico de hormigón.	42

Tabla 17. Propiedades físicas del agregado de Pintag.	43
Tabla 18. Dosificación del hormigón. Método ACI 211.	44
Tabla 19. Dosificación al peso por metro cúbico de hormigón.	45
Tabla 20. Dosificación del hormigón, método ACI 211.	47
Tabla 21. Dosificación al peso por metro cúbico de hormigón.	48
Tabla 22. Dosificación al peso por metro cúbico de hormigón.	49
Tabla 23. Relación agua/cemento.	50
Tabla 24. Estimación del agua de mezclado.	51
Tabla 25. Módulo de finura máximo y mínimo.	52
Tabla 26. Propiedades físicas del agregado.	54
Tabla 27. Dosificación al peso por metro cúbico de hormigón, método F K antia ..	54
Tabla 28. Dosificación al peso por metro cúbico de hormigón, método F K antia ..	55
Tabla 29. Dosificación al peso por metro cúbico de hormigón, método F K antia. .	56
Tabla 30. Dosificación al peso por metro cúbico de hormigón, método Empírico ..	57
Tabla 31. Dosificación al peso por metro cúbico de hormigón por el método empírico.	58
Tabla 32. Dosificación al peso por metro cúbico de hormigón por el método empírico	59
Tabla 33. Propiedades físicas del agregado utilizado de la Franquicia Disensa	61
Tabla 34. Dosificación en peso de concreto solo con cemento.	64
Tabla 35. Dosificación al peso por metro cúbico de hormigón.	65
Tabla 36. Dosificación al peso por metro cúbico de hormigón, con ceniza muy fina.	66

Tabla 37. Módulo de elasticidad del hormigón con: $f'c = 435 \text{ Kg/cm}^2$	175
Tabla 38. Módulo de elasticidad del hormigón con: $f'c = 505 \text{ Kg/cm}^2$	176
Tabla 39. Módulo de elasticidad del hormigón con: $f'c = 645 \text{ Kg/cm}^2$	177
Tabla 40. Dosificación del hormigón por el método de la densidad óptima, para 1m ³ de hormigón con $f'c = 300\text{MPa}$	184
Tabla 41. Tabla de resistencias obtenidas en el ensayo a la compresión simple con este método.	184
Tabla 42. Datos del cilindro sometido a carga, medición de su deformación.	185
Tabla 43. Datos del cilindro sometido a carga. Medición de su deformación.	188
Tabla 44. Datos del cilindro sometido a carga. Medición de su deformación	190
Tabla 45. Dosificación del hormigón ACI, para 1m ³ de hormigón con $f'c= 21\text{MPa}$	193
Tabla 46. Resultados obtenidos a la compresión $f'c= 21 \text{ Mpa}$	194
Tabla 47. Dosificación método ACI, para 1m ³ de hormigón con $f'c = 30\text{MPa}$	194
Tabla 48. Ensayo a la compresión simple de la dosificación de 30 MPa	195
Tabla 49. Módulos de elasticidad mina de la provincia de Cotopaxi.....	195
Tabla 50. Módulo de elasticidad, agregado de Pifo.....	202
Tabla 51. Tipo de mezclas para diferentes resistencias.....	203
Tabla 52. Resistencia a la compresión según su dosificación.	204
Tabla 53. Comparación de módulos de elasticidad.	205

LISTADO DE CUADROS

Cuadro 1. Granulometría del agregado fino. Muestra 1	93
Cuadro 2. Granulometría del agregado fino. Muestra 2	94
Cuadro 3. Granulometría del agregado fino. Muestra 3	95
Cuadro 4. Peso específico y absorción del agua. Muestra 1-2	96
Cuadro 5. Gravedad específica y absorción	97
Cuadro 6. Peso unitario del agregado fino	98
Cuadro 7. Humedad del agregado fino	99
Cuadro 8. Granulometría del agregado grueso. Muestra 1	101
Cuadro 9. Granulometría del agregado grueso. Muestra 2	102
Cuadro 10. Granulometría del agregado grueso. Muestra 3	103
Cuadro 11. Peso específico y absorción del agregado grueso.....	104
Cuadro 12. Gravedad específica y absorción del agregado grueso.....	105
Cuadro 13. Peso unitario del agregado grueso.....	106
Cuadro 14. Porcentaje de desgaste del agregado grueso	107
Cuadro 15. Humedad natural del agregado grueso.....	108
Cuadro 16. Finura de cemento vía seca	110
Cuadro 17. Finura del cemento vía húmeda	111
Cuadro 18. Densidad del cemento	112
Cuadro 19. Tiempo de fraguado del cemento.....	113
Cuadro 20. Costo de realizar 1m^3 de hormigón $f'c = 210 \text{ Kg/cm}^2$	207

Cuadro 21. Precios unitarios hormigón $f'c = 210 \text{ Kg/cm}^2$	208
Cuadro 22. Costo de realizar 1m^3 de hormigón $f'c = 600 \text{ Kg/cm}^2$	209
Cuadro 23. Precios unitarios hormigón $f'c = 600 \text{ Kg/cm}^2$	210

LISTADO DE FIGURAS

Figura 1. Machacado del mineral	89
Figura 2. Tamizado del mineral.....	89
Figura 3. Ceniza Clase C	91
Figura 4. Ensayo de densidad del material mineral	91
Figura 5. Compresómetro.	136
Figura 6. Cemento portland.	142
Figura 7. Imbrita machacada, molida y pasante del Tamiz N° 200.	142
Figura 8. Arena con $MF = 2.71$	143
Figura 9. Ripio con $TMN = 1/2''$	143
Figura 10. Agua potable.	144
Figura 11. Cemento hidráulico y aditivo mineral.....	144
Figura 12. Cemento, imbrita y arena.	145
Figura 13. Cemento, imbrita, arena y ripio.	145
Figura 14. Cemento, imbrita, arena, ripio y agua.	146
Figura 15. Mezcla aparentemente seca.	146
Figura 16. Temperatura de la mezcla 22.1°C	147

Figura 17. Selección de moldes metálicos.	148
Figura 18. Ajuste de los cilindros metálicos.	148
Figura 19. Asentamiento del HAD sin aditivos químicos.	149
Figura 20. Mezcla previa antes de colocación en los moldes.	149
Figura 21. Colocación de mezcla de hormigón en los moldes.	150
Figura 22. Compactación de la mezcla de hormigón.	150
Figura 23. Golpes con el martillo de goma.	150
Figura 24. Compactación utilizando el martillo de Proctor Modificado de 2".	151
Figura 25. Compactación utilizando el martillo de Proctor Modificado de 12". ...	152
Figura 26. Enrasado del cilindro metálico.	152
Figura 27. Lugar de reposo del HAD durante más de 24 horas.	153
Figura 28. Desencofrado del HAD.	153
Figura 29. Cámara de curado rápido.	153
Figura 30. Colocación del espécimen en la piscina de curado.	154
Figura 31. Medición de altura del espécimen de HAD.	154
Figura 32. Medición del diámetro del espécimen de HAD.	155
Figura 33. Medición del peso del espécimen de HAD.	155
Figura 34. Introducción de la información de la probeta de HAD en la máquina de compresión simple.	156
Figura 35. Colocación de la probeta HAD con capping en la máquina de compresión simple.	156
Figura 36. Colocación de la probeta AHD con almohadillas de neopreno en la máquina de compresión simple.	157

Figura 37. Aplicación de carga en la probeta de HAD.	157
Figura 38. Probeta de HAD después del ensayo a compresión.	158
Figura 39. Tipos de falla del hormigón.....	160
Figura 40. Fallas en 3D	162
Figura 41. Refrendado con capping, falla tipo transversal	163
Figura 42. Fallas tipo Columnar	163
Figura 43. Falla tipo 2.....	164
Figura 44. Refrendado con capping falla tipo cónica y transversal.	164
Figura 45. Falla tipo transversal.	164
Figura 46. Falla tipo a.	165
Figura 47. Falla tipo columnar.	165
Figura 48. Falla tipo cónica y transversal.	165
Figura 49. Falla tipo columnar.	166
Figura 50. Resistencia a la compresión 618 Kg/cm ² falla tipo cónica dividida. ...	166
Figura 51. Falla tipo cónica dividida.	167
Figura 52. Falla tipo transversal.	167
Figura 53. Falla tipo columnar.	167
Figura 54. Falla tipo transversal.	168
Figura 55. Falla tipo cónica dividida.	168
Figura 56. Falla tipo columnar.	168
Figura 57. Falla tipo 2.....	169
Figura 58. Falla tipo 2.....	169
Figura 59. Falla tipo transversal.	169

Figura 60. Falla tipo 1.	170
Figura 61. Falla transversal.....	170
Figura 62. Falla tipo transversal.	171
Figura 63. Fallas tipo (transversal, cónica, columnar y cónica transversal.	171
Figura 64. Tipos de falla transversal, cónica dividida, cónica transversal.	171
Figura 65. Falla tipo transversal.	172
Figura 66. Módulo de elasticidad del hormigón con falla tipo transversal y resistencia a la compresión de 645 Kg/cm ²	172
Figura 67. Gráfica esfuerzo deformación del 50% de $f'c = 435$ Kg/cm ²	178
Figura 68. Gráfica esfuerzo deformación del 50% de $f'c = 505$ Kg/cm ²	178
Figura 69. Gráfica esfuerzo deformación del 50% de $f'c = 645$ Kg/cm ²	179
Figura 70. Resistencia alcanzada mientras se disminuye la arena.	179
Figura 71. Resistencia alcanzada si disminuye o aumenta el material cementante.	180
Figura 72. Resistencia alcanzada si disminuye o aumenta el agua de mezclado. ...	180
Figura 73. La influencia del cemento para ganar resistencia.	181
Figura 74. Diagrama esfuerzo – deformación para 252 Kg/cm ²	187
Figura 75. Esfuerzo – deformación para una resistencia de 284 Kg/cm ²	189
Figura 77. Diagrama esfuerzo – deformación para 273 Kg/cm ²	191
Figura 78. Diagrama esfuerzo – deformación para 21Mpa, probeta 21-16.....	196
Figura 79. Diagrama esfuerzo – deformación, resistencia de 21Mpa	197
Figura 80. Diagrama esfuerzo – deformación para 21Mpa, probeta 21-21	198
Figura 81. Diagrama esfuerzo – deformación para 30Mpa, probeta 30-16.....	199
Figura 82. Diagrama esfuerzo – deformación, resistencia 30Mpa.....	200

Figura 83. Diagrama esfuerzo – deformación para 30Mpa, probeta 3	201
Figura 84. Resistencia y peso unitario según el tipo de mezcla.	203
Figura 85. Resistencia a la compresión del hormigón según su dosificación	204
Figura 86. Módulos de elasticidad del hormigón según método de cálculo.....	205
Figura 87. Cantidad de materiales necesarios para cumplir con el requerimiento de la elaboración de hormigón de $f'c = 600 \text{ Kg/cm}^2$	211
Figura 88. Costo de cada material para la elaboración de 1m^3 de hormigón de $f'c = 600 \text{ Kg/cm}^2$	212
Figura 89. Cantidades de materiales necesarios para cumplir con el requerimiento de la elaboración de hormigón de $f'c = 210 \text{ Kg/cm}^2$	212
Figura 90. Costo de cada material para la elaboración de 1m^3 de hormigón de $f'c = 210 \text{ Kg/cm}^2$	213
Figura 91. Comparación de costo que demanda la elaboración de hormigones según su resistencia a la compresión simple a los 28 días.....	213

RESUMEN

Con la salida del antiguo aeropuerto y el rápido crecimiento poblacional, se prevé la necesidad de la construcción de edificios de gran altura en la zona norte de la ciudad de Quito. Para éste y casos similares se requiere optimizar las dimensiones de los elementos estructurales de hormigón, de ahí la necesidad de elaborar hormigones de alto desempeño con énfasis en aditivos minerales. El uso de aditivos químicos en hormigones es reciente y sus efectos a largo plazo son desconocidos. En esta investigación se muestra la caracterización de los materiales de la Franquicia Disensa, con los cuales se elaboraron hormigones mezclados a mano. Adicionalmente se aplica un método no convencional para su compactación. En este tipo de mezclas el agua desempeña un papel muy importante, ya que es el causante del aumento o disminución de la resistencia del hormigón. El aditivo mineral se incorpora para reducir la cantidad de cemento, ya que este material es el de mayor costo en la elaboración de hormigones. De manera adicional se presenta en este estudio la comparación de módulos de elasticidad del hormigón así como costos de elaboración de hormigones tradicionales y hormigones de alto desempeño.

Palabras claves:

- HORMIGONES
- ALTO DESEMPEÑO
- ADITIVOS MINERALES
- CARACTERIZACIÓN
- RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN

ABSTRACT

The new International Airport localization and Quito's population growth has determined the necessity of building higher buildings on the north of the city. For this one and similar cases is required to optimize concrete structural elements, its dimensions as well as to obtain high performance concretes with emphasis on mineral additives. The use of chemical additives in concretes is recent and long-term effects are unknown. This research shows the characterization of materials from Disensa franchise with which hand mixed concretes were reproduced. Additionally a non-conventional method for compaction is applied. Mixing Water has a very important role on concrete's production because it is the cause of increase or decrease of its strength. Mineral additive is incorporated to reduce cement amount, because this material is more expensive in concretes preparation. Further, traditional concrete and high performance concretes moduli of elasticity comparisons and its processing costs are presented on this research.

Keywords:

- CONCRETE
- HIGH PERFORMANCE
- ADDITIVES MINERALS
- CHARACTERIZATION
- COMPRESSIVE STRENGTH

CAPÍTULO I

GENERALIDADES

1.1. Introducción

Esta tesis se escribe debido a las necesidades constructivas apremiantes que existen en la actualidad en la ciudad de Quito y en el Ecuador en general.

Debido a la reciente salida del aeropuerto de los límites de la ciudad de Quito, se va a autorizar la construcción de edificios de hormigón armado de hasta 30 pisos. Esto sin duda provocará esfuerzos relativamente importantes en los elementos estructurales, principalmente de los primeros pisos.

En el futuro se prevé que la población crecerá muy rápidamente necesitándose mucho espacio adicional para la construcción de edificios. Esto conducirá a la construcción de edificios de gran altura.

En casos como estos es necesario optimizar las dimensiones de los elementos, por ejemplo con hormigones de alto desempeño. Ya se han realizado tesis sobre hormigones de alta resistencia, pero usando aditivos químicos. Igualmente en las hormigoneras del país se pueden alcanzar resistencia alrededor de 600 kg/cm², pero con aditivos químicos. Entonces interesa obtener altas resistencias pero sin el uso de aditivos químicos, con el fin de determinar sus ventajas y desventajas. Igualmente es importante determinar su comportamiento estructural a futuro.

Esta investigación tiene como finalidad alcanzar hormigones de resistencia a la compresión alrededor de 600 Kg/cm². Lo particular de esta propuesta es la no utilización de aditivos químicos, sino determinar una buena dosificación de los materiales constitutivos del hormigón para alcanzar este objetivo.

La dosificación es complicada por la poca cantidad de agua que se utiliza. Esto se nota en la elaboración de los cilindros de prueba, donde es difícil hidratar completamente el cemento. Por este motivo, se improvisará una técnica de compactación con la cual se obliga que el agua atrapada en los materiales se distribuya de mejor en la hidratación de los agregados y el cemento.

En los diferentes capítulos de esta tesis se dará a conocer el procedimiento que se realizó hasta alcanzar la dosificación patrón, para obtener hormigones de alto desempeño sin el uso de aditivos químicos.

1.2. Antecedentes

Para crear el hormigón de alta resistencia, se considera necesario describir brevemente al hormigón regular. Este hormigón está constituido de agregados finos, agregados gruesos, cemento y agua de mezclado en proporciones diferentes de acuerdo a normas como las ACI y ASTM. Estas normas brindan información y pautas con las cuales se pueden realizar caracterizaciones de cada uno de los materiales constitutivos del hormigón. De esta manera se obtienen mezclas homogéneas y apropiadas.

Sin embargo, como ya se pudo observar previamente, la exigencia de las nuevas características de la construcción de edificios exige hormigones de mejor desempeño. Por ejemplo, es necesario estudiar con más detalle a los materiales que componen el hormigón para obtener mejores dosificaciones.

Con este fin se ha realizado una revisión de tesis elaboradas en la Universidad Central, Universidad Católica y Universidad San Francisco. Además se ha revisado el repositorio digital de la ESPE, encontrándose las siguientes tesis relacionadas con el proyecto de Hormigones de Alto Desempeño.

De estos trabajos se escogen los más significativos para hacer una breve descripción de ellos:

Tesis “Módulo Estático de Elasticidad del Hormigón en Base a su Resistencia a la compresión $f'_c = 21$ y 24 MPa”; Enríquez Pinos Carlos Gabriel, Fuentala Guzmán Verónica Alexandra, Iles Muñoz Mabel Alexandra, Ramires Barahona Rodrigo Santiago. Año 2011 (UCE).

Para el desarrollo de esta tesis los autores optan por los materiales de la Provincia del Carchi. Su objetivo es realizar una dosificación de hormigón que alcance una resistencia de 24 MPa. El método de dosificación fue el ACI 211.

Tesis “Investigación y Determinación del Módulo de Elasticidad del Hormigón en Base a la Resistencia a la compresión (2da Parte). Módulos Complementarios Diseño de Estructuras Metálicas Avanzadas Cimentaciones Especiales”; Borja León Libio Patricio, Chávez Vaca Davidson Arturo, Rea Mena Edwin Rolando. Año 2010 (UCE).

Con materiales de San Antonio de Pichincha y aplicando el método ASTM 469, los autores de este tema determinan el Módulo de Elasticidad, para después hacer una comparación con los comités del ACI 318 y ACI 363 y así conseguir valores propios para materiales de nuestro medio.

El método de dosificación para la elaboración de sus especímenes de prueba está basado en el ACI 211.

Tesis “Elaboración de Hormigones de Alta Resistencia Inicial”; Jiménez Déleg Juan Carlos, Ortiz Mancero José Roberto. Año 2002 (PUCE).

Los autores manifiestan que debido al acelerado crecimiento poblacional, es importante la utilización de edificaciones de gran altura que superen los 30 pisos. Por ello el interés de buscar un hormigón con características altas, con agregado de Guayllabamba y añadiendo a la mezcla aditivos químicos para llegar a un hormigón de alto desempeño.

Tesis “Diseño de Hormigones de Alto Desempeño”; Andrea Jacqueline Imbaquingo Chamorro. Año 2012 (ESPE).

Esta tesis manifiesta que hormigones de alto desempeño fueron logrados con materiales de la Provincia de Carchi e Imbabura. También manifiesta que no existe un método directo para dosificaciones de hormigones de alto desempeño, ya que para conseguir este tipo de hormigón se debe añadir un mínimo de agua para conseguir la hidratación de la mezcla y micro sílice para reducir el calor de hidratación.

En la presente investigación se toma en cuenta la guía para seleccionar las proporciones para hormigones de alta resistencia con cemento Portland y cenizas volantes que se basa en la norma ACI 211.4R. Esta norma recomienda tablas y parámetros a seguir para alcanzar hormigones de alta resistencia. Se sugiere la producción del concreto con materiales tradicionales, y define como concretos de alta resistencia aquellos que superan resistencias a la compresión de 450 Kg/cm^2 .

1.3. Objetivos

1.3.1 Objetivo general

Realizar la caracterización experimental de hormigones de alto desempeño con énfasis en aditivos minerales. El interés se centra en la utilización de aditivos minerales naturales. Cuando se encuentre la resistencia a la compresión esperada, se realizará una dosificación con ceniza muy fina la cual servirá como parte del material cementante. Se espera que al igual que la dosificación patrón, alcance una resistencia igual o mayor a los 600 Kg/cm².

1.3.2 Objetivos específicos

Ensayar los materiales a utilizar para la elaboración de hormigón de alta resistencia. Se procederá a realizar cuidadosamente la caracterización de los materiales habituales de un hormigón común. Por ejemplo, los ensayos antes, durante y después del fraguado.

Desarrollar una hoja electrónica para la obtención de hormigones de alta resistencia sin aditivos químicos. Se indicarán los pasos a seguir para encontrar las proporciones adecuadas de cemento, arena, ripio, agua y aditivo mineral natural para lograr alcanzar altas resistencias a la compresión.

Diseñar un hormigón con resistencia de 600 Kg/cm² con materiales del país y sin el uso de aditivos químicos. Para este objetivo se abastecerá de material triturado con tamaño máximo no mayor a 20 mm (¾ pulgada), provenientes de la Franquicia Disensa.

Se dosificará primeramente con materiales comunes del hormigón hasta alcanzar dicho objetivo y luego se adicionará ceniza volante.

Comparar las características físicas en hormigones estándar o comunes con hormigones de alto desempeño. Se comparará las características como la relación agua/cemento, tipo de falla que suelen tener.

Analizar los costos que surgen en la obtención de hormigones de alto desempeño. Aquí se hace mención a la inversión que se debe realizar y cuál es el material de mayor demanda frente a los demás componentes para alcanzar hormigones de alta resistencia.

CAPÍTULO II

HORMIGÓN DE ALTO DESEMPEÑO SIN ADITIVO QUÍMICO

2.1. Introducción

En este tipo de hormigón es necesaria una adecuada selección de los agregados con los cuales se van a ensayar para conformar una dosificación patrón. El agregado grueso deberá ser triturado con un tamaño nominal máximo de $\frac{3}{4}$ de pulgada. El agregado fino debe tener un módulo de finura no menor a 2.4. El cemento será el que se encuentre disponible en la zona y el agua utilizada en lo posible deberá ser potable.

Después de realizar varios ensayos con diferentes dosificaciones, en agosto del 2014 se obtienen dosificaciones que alcanzaron resistencias considerables. Las cantidades exactas de materiales empleadas en estas dosificaciones se lo mencionará más adelante.

Antes de avanzar con este capítulo, hablaremos brevemente acerca de los hormigones de alto desempeño.

El término alto desempeño indica que la mezcla del concreto se la realizó bajo estrictas normas de control de calidad, con materiales de primera. Cuando este concreto haya endurecido y sea sometido a cargas de compresión a los 28 días, debe darnos una resistencia mayor a 450 Kg/cm².

La relación agua/cemento, juega un papel muy importante en este tipo de hormigones. Esta relación debe ser menor a 0.40. Debido a la baja relación

agua/cemento, este tipo de hormigón presenta una alta resistencia a la compresión y buena impermeabilidad.

2.2. Cantidades de materiales necesarios

Las cantidades o proporciones de los materiales empleados en dicha dosificación, son fundamentales para obtener un hormigón con características a la compresión altas. La cantidad insuficiente de los compuestos tradicionales de un hormigón podría ser la causa de la disminución de su resistencia.

2.2.1 Agregado Grueso

Se denominan agregados gruesos a los materiales que son retenidos por el tamiz número 4. Estos materiales son extraídos por explotación o arrastres fluviales en las diferentes minas. Se obtienen por trituración, pasan por diferentes tamices para ser almacenados según su tamaño nominal.

2.2.1.1 Introducción

En esta tesis se realizará el lavado de ripio a utilizar, ya que la dosificación con agregado grueso tal cual viene de la mina para realizar hormigones de alta resistencia no es el adecuado. Debido a la excesiva cantidad de polvo o limo que se encuentre en este material, lo cual hace que su resistencia disminuya notablemente. Este agregado tiene un tamaño máximo de $\frac{3}{4}$ de pulgada y un tamaño máximo nominal de $\frac{1}{2}$ pulgada.

2.2.1.2 Cantidad de material a utilizar

El porcentaje de agregado grueso que se utiliza para este tipo de hormigones será mayor que los otros materiales. Mientras mayor es la cantidad de agregado grueso y menor tamaño nominal tiene, se producirán resistencias más altas. Esto se debe a la buena adecuación de la mezcla al momento de su vaciado.

Siguiendo las instrucciones de la Guía ACI 211.4R “CONCRETO DE ALTA RESISTENCIA”, esta recomienda usar la Tabla 4.3.3 para encontrar el volumen fraccionado de agregado grueso varillado y secado al horno de 0.68. Con este valor y el tamaño máximo nominal del agregado grueso de 13mm, encontramos el peso del agregado grueso necesario.

El peso del agregado grueso encontrado es de 974 Kg por cada metro cúbico de hormigón de alta resistencia. Este valor cambiará cuando en la dosificación de mezcla se realice un reajuste por humedades naturales de los agregados.

2.2.2 Agregado Fino

El agregado fino o también conocido como arena, tiene una gran incidencia en las mezclas de hormigones de alta resistencia. Debido a que su superficie específica es mayor y la función de la pasta es cubrir en su totalidad la superficie de los agregados o materiales a utilizar. El módulo de finura en este tipo de hormigones marca la diferencia, ya que la utilización de arena muy fina hace difícil su compactación. Una mezcla pegajosa, disminuye su resistencia a la compresión.

Por eso es recomendable utilizar arena que tenga un módulo de finura dentro de 2.5 a 3.5, por lo que un exceso del pasante del tamiz No. 50 y No. 100 incrementaría la pasta y aumentaría el agua de mezclado, quedando un hormigón con una resistencia a la compresión baja.

2.2.2.1 Introducción

Para esta tesis se utilizaron agregados finos procedentes de la Franquicia Disensa, cuya mina está ubicada en el sector de Pifo. Esta arena tiene un módulo de finura de 2.71, la cual está dentro de los rangos recomendados anteriormente.

2.2.2.2 Cantidad de material a utilizar

Para buscar la cantidad adecuada de agregado fino que se deberá colocar en la mezcla para alcanzar resistencias altas, se siguen los pasos de la Guía del ACI 211.4R, método de dosificación F K antia, con las cuales no se consigue llegar a la proporción adecuada, que necesita para obtener hormigones de alta resistencia.

Se opta por reunir las mejores resistencias obtenidas hasta el momento con los diferentes métodos de prueba, teniendo como punto de partida la dosificación de 22 de agosto del 2014. Con esta dosificación de comienza a realizar ensayos empíricos, dándonos como resultado final una proporción de arena mínima de 11.9 Kg para cada metro cúbico de hormigón de alta resistencia. Este valor ya es el definitivo considerando la corrección por humedades de los agregados a la mezcla.

2.2.3 Cemento portland

Para que un cemento portland sea elegido como aglomerante de un diseño de hormigones de alta resistencia, es importante brindar atención antes, durante y después de su fraguado. Dependiendo de su casa comercial este conglomerante tendrá distintas características, dependiendo el porcentaje de puzolanas empleadas en su fabricación. Esto hará que la pasta de cemento tenga mejor adherencia con sus materiales complementarios para la formación de hormigones de alta resistencia.

2.2.3.1 Introducción

En la búsqueda de conseguir los objetivos específicos se procederá a calcular dosificaciones con materiales cementantes de distintas marcas comerciales, como son cemento Holcim y cemento Selva Alegre.

Al realizar los ensayos de dosificación, se determina que el mejor material cementante para dosificaciones de hormigones de alta resistencia, es el cemento Holcim ya que con cemento Selva Alegre se consiguen resultados que bordean los 500 Kg/cm², mientras que con cemento Holcim se consiguen resultados que sobrepasan los 500 Kg/cm².

2.2.3.2 Cantidad de material a utilizar

Con el material cementante determinado se procede a determinar la cantidad de cemento por metro cúbico siguiendo los pasos del ACI 211.4R, que se resumen en la revista(GUÍA ACI 211.4R), pero no se consigue resultados satisfactorios. Luego se

realiza la dosificación por el método F K antia, pero este tampoco satisface las necesidades de dicho objetivo.

Conociendo que el material cementante es uno de los más importantes para ganar resistencia, se realizan ensayos empíricos, siguiendo como dosificación base la dosificación del 22 de agosto del 2014.

Se incrementa el cemento en cada dosificación de prueba, determinando que al aumentar el doble del material cementante, se logra obtener resistencia a la compresión mayor a 600 Kg/cm^2 . Esta cantidad determinada de cemento es de 1205 Kg/cm^2 .

Teniendo en cuenta las cantidades resultantes de las dosificaciones empíricas, y analizando la forma de verter y compactar el hormigón. A los especímenes de prueba se les realiza una corrección por exceso de humedades de los agregados y ajuste de cantidad de agua añadida en el programa utilizado. Considerando al cemento únicamente como material cementante, tenemos como resultado la cantidad de 1156 kg para cada metro cúbico de hormigón de alto desempeño. Esta cantidad cambia cuando se implemente como material cementante al aditivo mineral natural, que en este caso es la imbrita.

2.2.4 Agua de mezclado

Según (Carrasco, 2009). El agua de mezclado está compuesta por el agua agregada al elaborar un hormigón, más la proveniente de la humedad superficial de los agregados, siendo sus principales funciones:

- ❖ Reaccionar con el cemento, produciendo su hidratación.
- ❖ Actuar como un lubricante, contribuyendo a la trabajabilidad de la mezcla fresca.
- ❖ Asegurar el espacio necesario en la pasta, para el desarrollo de los productos de hidratación.

La cantidad de agua necesaria para una adecuada trabajabilidad del hormigón, siempre es mayor a la cantidad necesaria para la hidratación completa del cemento.

2.2.4.1 Introducción

El agua utilizada en mezclas de hormigón es de preferencia potable, sin embargo se puede usar aguas de río o de esteros cercanos al sitio donde se realicen actividades de mezclas de hormigón. Las condiciones para que estas aguas sean adecuadas en una mezcla de hormigón, es que no debe tener color, olor ni sabor. De tener alguna de estas impurezas, pueden conllevar a perjudicar al hormigón, debilitando su resistencia considerablemente.

2.2.4.2 Cantidad de material a utilizar

La cantidad de agua que se usará será la mínima necesaria para producir la hidratación del cemento y para que la mezcla de hormigón se homogenice. Produciendo que las partículas de los agregados utilizados logren juntarse de manera distribuida en toda la mezcla. Aunque esta mezcla visualmente será seca, sin embargo al incorporar un método de compactación no habitual en la toma de muestra, el agua de los agregados es liberada, aportando más agua hidratando de mejor manera la mezcla.

Basándonos en métodos empíricos se llega a encontrar la cantidad necesaria de agua de mezclado de 300.6 Kg por cada metro cúbico de hormigón, la misma que mantiene la relación agua / cemento, considerada en la dosificación.

2.2.5 Aditivos minerales

Son todos los materiales adicionales a los materiales comunes que se utilizan para producir hormigones, pero estos están clasificados según la norma ASTM 618.

Clase N:

“Puzolanas naturales crudas o calcinadas, tal como las diatomitas, tufos y cenizas volcánicas, calcinadas o sin calcinar y materiales que requieren de calcinaciones para inducir propiedades satisfactorias.” (Vásquez).

Clase F:

“Cenizas volante, producida por la calcinación de carbón antracítico o bituminoso. Cenizas que poseen propiedades puzolánicas.” (Vásquez).

Clase C:

“Ceniza volante producida por la calcinación de carbón sub-bituminoso o lignito. Esta clase de ceniza, además de tener propiedades puzolánicas, también tiene propiedades cementante”. (Vásquez).

2.2.5.1 Introducción

Al querer conseguir hormigones de alta resistencia es necesario la cenizas volantes, el humo de sílice o microsíllice, escoria de altos hornos y cenizas de cascara de arroz.

La proporción de ceniza volante, en relación al peso del cemento, está por lo general de 5% al 20%, ya que después de esto es probable que en lugar de ganar resistencia ocurra lo contrario. El porcentaje también depende de la clase de ceniza con la que se trabaje.

La cuantificación de la relación agua/material cementante ($w/c+p$) se realiza en función de la suma de los pesos del cemento más los materiales cementantes suplementarios. Cabe recalcar que es necesario conocer la relación agua/cemento (a/c), para tener una mejor idea de las condiciones en que se desarrollará el fraguado de la mezcla. Ya que las adiciones no tienen las mismas propiedades cementantes y no reaccionarán de la misma forma que el cemento portland, presentando resultados inadecuados en el momento de ser ensayados a diferentes edades.

2.2.5.2 Cantidad de material a utilizar

Los aditivos minerales sirven para mejorar la resistencia de los hormigones, ya que este polvo es de la finura de un talco. Esto hace que llene los espacios vacíos que se deja con los materiales comunes al hacer hormigones. Otros en cambio sirven para mejorar la composición del cemento mejorando su pasta haciéndolo más resistente a la compresión.

Este aditivo mineral sirve para conseguir uno de los objetivos específicos que es el obtener hormigones con resistencias mayores o iguales a 600 Kg/cm² pero sin la utilización de aditivos químicos.

En la búsqueda de conseguir dosificaciones de mezclas para hormigones de alto desempeño, se llega a concluir que no es necesario adicionar la ceniza volante para obtener resistencias altas. Sin embargo en esta investigación se adiciona el 5% de ceniza muy fina basada en el peso del cemento, teniendo como resultado final 57.8 Kg por cada metro cúbico de hormigones de alto desempeño. Esta adición en la dosificación mantiene la relación agua/material cementante (w/c+p) de 0.26. La ceniza volante incorporada en esta dosificación, es la imbrita, la cual fue molida y tamizada por el tamiz N° 200.

2.3. Dosificación de hormigones de alto desempeño. Método ACI 211.4R

En esta parte se establecerá los pasos a seguir para diseñar hormigones de alto desempeño. Se desarrollará un procedimiento teórico para lo cual se elabora una hoja electrónica siguiendo cada uno de los pasos de la GUÍA DEL ACI 211.4R. La misma que hace referencia a este tipo de hormigones que alcanzan resistencias altas. Luego se debe verificar los resultados alcanzados con pruebas en el laboratorio de hormigones para encontrar la dosificación definitiva.

2.3.1 Resistencia especificada del hormigón

Para cada obra civil se especifica la resistencia que se desea utilizar. Esta resistencia será la esperada al momento de ser sometidos al ensayo de compresión del hormigón.

Este valor requerido se lo denomina Resistencia a la compresión especificada a los 28 días, que en nuestro caso es $f'_c = 600 \text{ Kg/cm}^2$.

2.3.2 Resistencia requerida del hormigón

El ACI 318, permite que las mezclas de concreto sean proporcionadas con base en la experiencia de campo o en revolturas de prueba en el laboratorio. Para reunir los requisitos de resistencia especificadas el hormigón debe proporcionarse de tal manera que la resistencia a la compresión promedio resultante de pruebas del campo exceda la resistencia a la compresión de diseño especificada (f'_c) por una cantidad suficientemente alta para hacer la probabilidad bajo pruebas pequeñas. Cuando el productor del hormigón escoge seleccionar proporciones de mezcla de hormigón de alta resistencia basado en la experiencia de campo, se recomienda, que la resistencia promedio requerida (f'_{cr}) usada como la base para la selección de las proporciones de hormigón se tome como el valor más grande calculado de la ecuación (2.1) y (2.2), además de las ecuaciones mostradas en la Tabla 1.

$$f'_{cr} = f'_{cr} + 1.34 s \quad \text{Ec. (2.1)}$$

$$f'_{cr} = 0.90 f'_c + 2.33 s \quad \text{Ec. (2.2)}$$

Tabla 1. Resistencia promedio a la compresión requerida cuando hay datos.

Resistencia especificada a la compresión, Mpa	Resistencia promedio requerida a la compresión, MPa
$f'c \leq 35$	Usar el mayor valor obtenido de las ecuaciones $f'cr = f'c + 1.34 S$ (5-1) $f'cr = f'cr + 2.33 S - 3.5$ (5-2)
$f'c > 35$	Usar el mayor valor obtenido con las ecuaciones $f'cr = f'c + 1.34 S$ (5-1) $f'cr = 0.90f'c + 2.33 S - 3.5$ (5-3)

Fuente: ACI 318-08 del Reglamento de construcción del ACI. Tabla 5.3.2.2.

En la guía ACI 211.4R, cuando el productor de premezclado no tiene una historia previa con concretos de alta resistencia seleccionará las proporciones basándose en mezclas de prueba en el laboratorio, la resistencia promedio requerida puede determinarse de la ecuación (2.3).

$$f'cr = \frac{f'c + 100}{0.90} \text{ Ec. (2.3)}$$

La ecuación 2.3, da un valor más alto que la resistencia promedio requerida exigida en la Tabla 5.3.2.2, del Reglamento del ACI 31. La experiencia ha demostrado que la resistencia obtenida bajo condiciones ideales de campo, alcanza únicamente el 90% de la resistencia resultante de las pruebas efectuadas bajo condiciones de laboratorio. Suponer que la resistencia promedio obtenida en el campo igualará la resistencia de una revoltura de prueba en el laboratorio no es realista, ya que hay muchos factores que pueden influir en la variabilidad de las resistencias y las mediciones de resistencia en el campo. (GUÍA ACI 211.4R).

2.3.3 Procedimiento para la dosificación de hormigones de alto desempeño.

El procedimiento descrito en el ACI 211.1 para el proporcionamiento de hormigón de resistencia normal, es similar al requerido para concreto de alta resistencia. El procedimiento consiste de una serie de pasos que al ser completados proporcionan una mezcla para satisfacer los requisitos de resistencia y trabajabilidad con base en las propiedades combinadas de los componentes individualmente seleccionados y proporcionados. (GUÍA ACI 211.4R).

2.3.3.1 Selección del asentamiento y resistencia del hormigón requerido

Los valores recomendados para el asentamiento del hormigón, están dados en la Tabla 4.3.1 del ACI 211.4R. Aunque el hormigón de alta resistencia con aditivo de alto rango reductor de agua (HRWR), se han producido con éxito sin un asentamiento inicial medible. Es recomendable un asentamiento de partida inicial de 25 a 50 mm, antes de

añadir HRWR. Esto asegurará una cantidad adecuada de agua para la mezcla y permitirá que el superplastificante sea eficaz.

Para hormigones de alta resistencia sin HRWR, un rango recomendado de asentamiento es de 50 a 100 mm. Se recomienda un valor mínimo de 50 mm de asentamiento para hormigones sin HRWR. Hormigones con menos de 50 mm de asentamiento son difíciles de consolidar debido al alto contenido de agregado grueso y material cementante.

La resistencia del hormigón requerido (f'_{cr}), para usarse en el procedimiento de la mezcla de prueba debe determinarse siguiendo la ecuación 2.3. (GUÍA ACI 211.4R).

Tabla 2. Asentamiento recomendado para hormigones con y sin aditivo HRWR

Concreto Usado HRWR*	
Revenimiento antes de añadir HRWR	25 a 50 mm
Concreto Sin HRWR	
Revenimiento	50 a 100 mm

Fuente: ACI 211-4R. Tabla 4.3.1.

Nota. Ajuste es el asentamiento al deseado en el campo por medio de la adición de HRWR.

2.3.3.2 Selección del tamaño máximo del agregado

Basado en los requisitos de resistencia, el tamaño máximo recomendado para los agregados gruesos están dados en la Tabla 4.3.2 del ACI 318. Se establece que el tamaño máximo de un agregado no debe exceder un quinto de la dimensión corta más estrecha entre los lados de las formas, un tercio de la profundidad de las losas, ni las tres cuartas partes del mínimo claro, espaciamiento entre barras individuales, paquetes de barras, o tendones de preferencia o de los conductos.

Tabla 3. Tamaño máximo sugerido para el agregado grueso.

Resistencia requerida del concreto. Kg/cm ²	Tamaño máximo sugerido para agregado grueso. Mm
< 650	20 a 25
> 650	9.5 a 12.5

Fuente: ACI 211.4R. Tabla 4.3.2

2.3.3.3 Selección del contenido óptimo de agregado

El contenido óptimo de árido grueso depende de sus características potenciales de resistencia y tamaño máximo. El contenido óptimo de agregado grueso recomendado se expresa como una fracción de la masa seca compactada (MV_{sc}). Estos valores están dados en la Tabla 4.3.3, como una función del tamaño nominal máximo. Una vez elegido el óptimo contenido de agregado grueso de la Tabla 4.3.3, se puede calcular el peso secado en horno (OD) del agregado grueso por m³ de hormigón, usando la ecuación(4.1).

Peso del agregado grueso:

$$W_{\text{dry}} = \text{Factor del agregado grueso} \times MV_{\text{sc}} \quad \text{Ec. (4.1)}$$

En dosificaciones de mezclas de hormigón de resistencia normal, el óptimo contenido de agregado grueso esta dado en función del tamaño máximo y módulo de finura del agregado fino. En mezclas de hormigón de alta resistencia se tienen un alto contenido de material cementante y por lo tanto no dependen tanto del agregado fino para proveer finos para lubricación y compactibilidad del hormigón fresco. Por consiguiente, los valores indicados en la Tabla 4.3.3, se recomiendan para uso con arenas que tienen valores de módulo de finura de 2.5 a 3.2.

Tabla 4. Volumen recomendado de agregados gruesos por volumen de hormigón.

Contenidos óptimos de agregado grueso para tamaños máximos nominales de agregados que han de ser usados con arena con un módulo de finura de 2.5 a 3.2				
Tamaño máximo nominal, mm	9,5	12,5	20	25
Volumen fraccionario * de agregado grueso varillado y secado al horno	0,65	0,68	0,72	0,75

Fuente: ACI 211.4R, Tabla 4.3.3.

Nota. Los volúmenes están basados en agregados en condiciones secas compactados, como se describe en la norma ASTM C 29 por unidad de peso de los agregados.

2.3.3.4 Estimación del contenido de agua y aire en la mezcla

La cantidad de agua por unidad de volumen de hormigón necesario para producir un asentamiento dado depende del tamaño máximo, forma de la partícula, granulometría del agregado, la cantidad de cemento y el tipo de aditivo reductor de agua usado.

Si se usa un HRWR, el contenido de agua se calcula generalmente a partir de la relación agua/material cemento (w/c+p). La Tabla 4.3.4, da estimaciones del agua necesaria para las mezclas de hormigones de alta resistencia, fabricados con agregados de tamaño máximo de ¾ a 1 pulgada. Antes de la adición de cualquier aditivo químico. También están los valores correspondientes para el contenido de aire atrapado. Estas cantidades de agua de mezclado, son máximas para agregados razonablemente bien formados, limpios, angulares, bien graduados dentro de los límites del ASTM C 33. Porque la forma y textura de la superficie de la partícula de un agregado fino pueden afectar significativamente estos contenidos de vacíos. Los requisitos del agua de mezclado pueden ser diferentes de los valores indicados.

Los valores requeridos para el agua de mezcla, están dados en la Tabla 4.3.4, y son aplicables cuando se usa agregado fino con un contenido de vacíos del 35%. El contenido de un agregado fino puede calcularse usando la ecuación (4.2).

Contenido de vacíos:

$$V \% = \left(1 - \frac{\text{Densidad aparente compactada}}{\text{Peso específico} \times 1000} \right) \times 100 \quad \text{Ec. (4.2)}$$

Cuando se utiliza un agregado fino con un contenido de vacíos no igual al 35 por ciento, se efectuará un ajuste al contenido de agua de mezclado recomendada. Este ajuste puede calcularse utilizando la ecuación (4.3).

Ajuste de agua de mezclado en Kg/m³:

$$\text{Ajuste agua de mezclado} = (V - 35) \times 5 \quad \text{Ec. (4.3)}$$

El uso de la ecuación (4.3) da lugar a un ajuste de agua de 5 Kg/m³ del hormigón por cada desviación del porcentaje de vacíos del 35 por ciento.

Tabla 5. Estimación del agua de mezclado.

Revenimiento mm	Agua de mezclado. Kg/m ³			
	Tamaño máximo del agregado grueso, mm			
	9,5	13	20	25
25 – 50	185	175	170	165
50 – 75	190	185	175	170
75 - 100	195	190	180	180

Fuente: ACI 211.4R, Tabla 4.3.4.

Nota. Los valores indicados deben ser ajustados para arenas con vacíos más del 35% utilizando la ecuación (4.3). t: mezclas realizadas con HRWR.

2.3.3.5 Selección de la relación agua/cemento

En la mezcla de hormigón de alta resistencia puede utilizarse otro material cementante, como la ceniza muy fina. La relación agua/cemento se calcula dividiendo el peso del agua de mezclado por el peso combinado del cemento y ceniza muy fina.

En las Tablas 4.3.5 (a) y (b), la máxima relación agua/cemento recomendada está dada en función del tamaño máximo del agregado, para lograr diferentes resistencias a la compresión tanto a los 28 y 56 días. El uso de un aditivo HRWR generalmente incrementa la resistencia a la compresión del hormigón. Los valores de la relación agua/cemento que están dados en la Tabla 4.3.5 (a), son para hormigones realizados sin un aditivo HRWR y aquellos en la Tabla 4.3.5 (b). Estos valores están dados para hormigones realizados con aditivo HRWR.

La relación agua/cemento además puede estar limitada por requisitos de durabilidad. Sin embargo, para aplicaciones típicas el hormigón de alta resistencia no puede estar sujeto a condiciones de exposición severas.

Tabla 6. Relación agua-cemento recomendada para hormigones elaborados sin HRWR.

Resistencia de campo f_{cr}^* , Kg/cm ²		Relación agua/cemento			
		Tamaño máximo del agregado grueso de, mm			
		9,5	13	20	25
	28 días	0,42	0,41	0,40	0,39
490	56 días	0,46	0,45	0,44	0,43
	28 días	0,35	0,34	0,33	0,33
560	56 días	0,38	0,37	0,36	0,35
	28 días	0,30	0,29	0,29	0,28
635	56 días	0,33	0,32	0,31	0,30
	28 días	0,26	0,26	0,25	0,25
700	56 días	0,29	0,28	0,27	0,26

$$*f'_{cr} = f'_c + 100$$

Fuente: ACI 211.4R, Tabla 4.3.5. (a).

Tabla 7. Relación agua/cemento recomendada para hormigones elaborados con HRWR.

Resistencia de campo f_{cr}' *, Kg/cm ²		Relación agua/cemento			
		Tamaño máximo del agregado grueso de, mm			
		9,5	13	20	25
	28 días	0,50	0,48	0,45	0,43
490	56 días	0,55	0,58	0,48	0,46
	28 días	0,44	0,42	0,40	0,38
560	56 días	0,48	0,45	0,42	0,40
	28 días	0,38	0,36	0,35	0,34
635	56 días	0,42	0,39	0,37	0,36
	28 días	0,33	0,32	0,31	0,30
700	56 días	0,37	0,35	0,33	0,32
	28 días	0,30	0,29	0,27	0,27
775	56 días	0,33	0,31	0,29	0,29
	28 días	0,27	0,26	0,25	0,25
845	56 días	0,30	0,28	0,27	0,26

$$*f'_{cr} = f'_c + 100$$

Fuente: ACI 211.4R, Tabla 4.4.5 (b).

Nota: la comparación de los valores contenidos en las Tablas 4.3.5 (a) y 4.3.5 (b) permite, en particular, las siguientes conclusiones:

1. Para una relación de agua/material cementante, dado la resistencia en obra del hormigón, es mayor con el uso de aditivo HRWR que sin él, y esta mayor resistencia se alcanza dentro de un tiempo más corto.
2. Con el uso de aditivo HRWR, el hormigón en obra obtiene una resistencia que se puede lograr en un determinado período de tiempo utilizando menos material cementante que sería necesario cuando no se utiliza HRWR.

2.3.3.6 Cálculo del contenido de material cementante

El peso del material cementante requerido por m^3 del hormigón puede determinarse dividiendo la cantidad del agua de mezclado por m^3 del hormigón. Como se describe en el paso 2.3.3.4, para la relación agua/cemento del paso 2.3.3.5. Sin embargo, si las especificaciones incluyen un límite mínimo en la cantidad de material cementante por m^3 de hormigón, esto debe cumplirse. Por lo tanto, la mezcla debe ser dosificada para contener la mayor cantidad de material cementante requerida. Cuando el contenido de material cementante de las siguientes tablas supera los 455 Kg, se puede producir una mezcla más práctica utilizando materiales cementantes alternos o métodos de dosificación.

2.3.3.7 Dosificación básica de la mezcla sin otro material cementante

Para determinar la dosificación de la mezcla óptima, el dosificador debe preparar varias mezclas de pruebas teniendo contenidos diferentes de ceniza muy fina. Generalmente una mezcla de prueba debe hacerse con cemento portland, como único material cementante. Los siguientes pasos deben seguirse para complementar la dosificación básica de la mezcla.

Contenido de cemento.- Para esta mezcla puesto que ningún otro material cementante debe utilizarse, el peso del cemento es igual al peso del material cementante calculado en el paso 2.3.3.6.

Contenido de arena.- Después de determinar los pesos por m^3 de agregado grueso, el cemento, el agua y el porcentaje de aire, el contenido de arena puede ser calculado para producir $1m^3$, utilizando el método del volumen absoluto.

2.3.3.8 Dosificación de mezclas compañeras usando aditivo mineral

El uso de aditivo mineral o cenizas muy finas en la producción de hormigón de alta resistencia, puede resultar en una menor demanda de agua, reduce la temperatura del hormigón y reduce el costo. Sin embargo, debido a variaciones en las propiedades químicas de las cenizas muy finas, la ganancia de resistencia característica del hormigón podría ser afectada. Por lo tanto, se recomienda utilizar al menos dos diferentes contenido de ceniza muy fina para las mezclas compañeras de prueba. Los siguientes pasos deben ser completados para cada mezcla compañera de prueba a ser dosificada:

Tipo de cenizas muy finas.-Debido a diferentes composiciones químicas de reducción de agua y ganancia de resistencia, característica de las cenizas muy finas, variará con el tipo utilizado y su fuente. Por lo tanto, estas características, así como la disponibilidad, deberían considerarse al elegir la ceniza muy fina que se utilizará.

Contenido de ceniza muy fina.-La cantidad de cemento para ser reemplazado por ceniza muy fina depende del tipo de material utilizado. Los límites recomendados para reemplazar se indican en la Tabla 8. Para cada mezcla compañera de prueba a diseñarse, debe elegirse un porcentaje de reemplazo de esta Tabla 8.

Peso de la ceniza muy fina.-Una vez que han sido elegidos los porcentajes para el reemplazo, el peso de las cenizas muy finas que se utilizarán para cada mezcla compañera de prueba. Puede calcularse multiplicando el peso total de materiales cementantes del paso 2.3.3.6, por los porcentajes de reemplazo previamente seleccionados. El peso restante de material cementante correspondiente al peso del cemento. Por lo tanto, para cada mezcla el peso de las cenizas muy finas más el peso del cemento debe igualar el peso de materiales cementante calculando en el paso 2.3.3.6.

Tabla 8. Valores recomendados para el reemplazo del cemento portland con ceniza volante.

Ceniza muy fina	Reemplazo recomendado (% en peso)	
	Clase F	15	25
Clase C	20	35

Fuente: ACI 211.4R, Tabla 4.3.6

Volumen de la ceniza muy fina.- Debido a las diferencias de volumen, las gravedades específicas del cemento portland y la ceniza muy fina el volumen de materiales cementantes por m^3 variará con el contenido de ceniza muy fina a pesar de que el peso de los materiales cementantes permanece constante. Por lo tanto, para cada mezcla el volumen de materiales cementantes deberá ser calculado, añadiendo el volumen de cemento y el volumen de ceniza muy fina.

Contenido de arena.- Después de haber encontrado el volumen de materiales cementantes por m^3 de hormigón, los volúmenes por m^3 de agregados grueso, agua y aire atrapado del paso 2.3.3.7, el contenido de arena de cada mezcla puede calcularse utilizando el método del volumen absoluto. Utilizando el procedimiento anterior, el volumen total de cemento y ceniza muy fina más arena por m^3 de hormigón se mantiene constante. Además se puede necesitar ajustes en las dosificaciones de la mezcla debido a los cambios en la demanda de agua y otros efectos de la ceniza muy fina en las propiedades del hormigón.

2.3.3.9 Mezclas de ensayo

Para cada dosificación de las mezclas de pruebas en los pasos 2.3.3.1 al 2.3.3.8, una mezcla de prueba deberá producirse para determinar las características de trabajabilidad y resistencia de las mezclas. Los pesos del agregado grueso, agregado fino y agua deben ajustarse para corregir la consolidación de humedad de los agregados usados. Cada lote debe ser tal que después de mezclar cuidadosamente, se logre una mezcla uniforme de tamaño suficiente para fabricar el número de muestras de resistencia requerida.

2.3.3.10 Ajustes en la dosificación de la mezcla de prueba

Si no se obtienen las propiedades deseadas del hormigón, las dosificaciones originales de la mezcla de prueba deben ajustarse según las siguientes directrices para producir la trabajabilidad deseada.

Revenimiento inicial.-Si el asentamiento inicial de la mezcla de prueba no está dentro del rango deseado, el agua de mezclado debe ser ajustado. El peso de material cementante en la mezcla debe ajustarse para mantener la relación (w/c+p) deseada.

Tasa de dosificaciones del aditivo HRWR.- Si el aditivo es usado, la tasa de dosificación diferente debería ensayarse para determinar el efecto sobre la resistencia y la trabajabilidad de la mezcla de hormigón. Porque de la naturaleza de las mezclas de hormigón de alta resistencia, las tasas de dosificación más altas que las recomendadas por el fabricante del aditivo puede ser toleradas sin segregación. Además, se ha encontrado que el momento de la adición del HRWR y la temperatura del hormigón afectan la eficiencia del aditivo. Su uso en mezclas de prueba de laboratorio pueden ser ajustadas a las condiciones de campo. En general, se ha encontrado que rehaciendo con

HRWR para restaurar la trabajabilidad, resulta en incremento de resistencias en casi todas las edades de prueba.

Contenido de agregado grueso.- Una vez que la mezcla de prueba de hormigón ha sido ajustada el asentamiento deseado, se debería determinar si la mezcla es demasiado áspera para la colocación en la obra o para los requisitos de acabado. De ser necesario puede reducirse el contenido de agregado grueso, y el contenido de arena ajustarse en consecuencia para asegurar un rendimiento adecuado. Sin embargo esto puede aumentar la demanda de agua a la mezcla, lo que aumenta el contenido de materiales cementante para mantener una determinada relación (w/c+p). Además, una reducción en el contenido de agregado grueso puede resultar en un menor módulo de elasticidad del hormigón endurecido.

Contenido de aire.- Si el contenido de aire medido difiere significativamente de los cálculos de la dosificación la dosis debe ser reducida o el contenido de arena debe ser ajustada para mantener un rendimiento adecuado.

Relación agua/cemento.- Si no se logra la resistencia requerida a la compresión del hormigón usando la relación agua/cemento, recomendado en la Tabla 4.3.5(a) o (b), de la guía del ACI 211.4R, deben ensayarse mezclas de prueba adicionales con una relación agua/cemento más baja. Si esto no da como resultado resistencias a la compresión más altas, debe revisarse la conveniencia de los materiales usados.

2.3.3.11 Selección de las óptimas proporciones de la mezcla

Una vez que las proporciones de la mezcla de prueba se han ajustado para producir las propiedades de trabajabilidad y resistencia deseadas, deben elaborarse especímenes

de hormigón, de resistencia de las revolturas de prueba hechas bajo las condiciones deseadas en la obra de acuerdo con los procedimientos recomendados de la ACI 211.1, para elaborar y ajustar revolturas de prueba.

En forma práctica se han evaluado mejor los procedimientos de producción y control de calidad, cuando las revolturas de prueba de tamaño real de producción fueron preparadas con el equipo y personal que va a emplearse en el trabajo real.

Los resultados de las pruebas de selección de proporciones aceptables para el trabajo basado en los requisitos de resistencia y costo.

2.3.4 Tipos de dosificaciones para hormigones de alto desempeño

Dosificar un hormigón es la determinación de las cantidades de los diferentes componentes que deben combinarse para obtener una mezcla que cumpla con las condiciones especificadas de la resistencia a la compresión y su durabilidad, entre otras impuestas previamente en el diseño.

La dosificación de un hormigón, está en función de los materiales que se utilicen. En este proceso de investigación la resistencia especificada es de $f'c=600 \text{ Kg/cm}^2$ a los 28 días, la cual se conseguirá siguiendo los pasos establecidos por el ACI 211.4R.

Cuando el productor de hormigón selecciona proporciones de hormigón de alta resistencia con base en revolturas de prueba en el laboratorio, la resistencia promedio requerida $f'cr$, puede ser determinada a partir de la ecuación (2.3). (GUÍA ACI 211.4R).

$$f'_{cr} = \frac{600 + 100}{0.90}$$

$$f'_{cr} = 778 \text{ Kg/cm}^2$$

En la búsqueda de alcanzar la resistencia especificada, se realizó varias dosificaciones para las mezclas, unas siguiendo las indicaciones del ACI 211 para hormigones tradicionales. Otras siguiendo los pasos del 1 al 7 del ACI 211.4R en la cual se proporcionan las cantidades para fabricar el hormigón de alta resistencia. Luego los pesos de los materiales granulométricos deberán ser ajustados para corregir la humedad de los agregados utilizados, y por ultimo también se realiza la dosificación por el método F k antía.

Cada mezcla de prueba debe ser elaborada cuidadosamente logrando tener una mezcla homogénea entre todos sus materiales usados y asegurándose de fabricar la cantidad necesaria para las muestras a ser ensayadas.

Todas las dosificaciones para las mezclas favorables y no favorables realizadas se detallan a continuación:

2.3.4.1 Dosificación 1. Método ACI 211

El agregado grueso utilizado a continuación es procedente de la ciudad de Macas. Para esta primera dosificación se la combina con arena proveniente del volcán Guagua Pichincha.

El programa que se utilizará en esta primera dosificación es de autoridad del laboratorio de mecánica de suelos y ensayo de materiales de la ESPE.

Datos:

Resistencia especificada a los 28 días: $f'c = 350 \text{ Kg/cm}^2$.

Tamaño máximo nominal del agregado grueso: TMN = 3/4 pulgadas.

Fecha de vaciado: 08 / 11 / 2013.

Tabla 9. Propiedades físicas del agregado grueso de Macas y agregado fino del volcán Guagua Pichincha.

PROPIEDADES FÍSICAS DE LOS AGREGADOS				PROCEDENCIA			
	RIPIO	ARENA	CEMENTO	AGREGADOS			
Ge			3,15				
PUC (Kg/m ³)	1450	1331,0		CEMENTO	HOLCIM		
PUS(kg/m ³)	1318	1170,0		ARENA	Macas y volcán Guagua Pichincha		
T máx (pulg)	1,5			RIPIO	Macas y volcán Guagua Pichincha		
Mf		1,9		ADITIVO			
%Ab	1,8	6,7					
%Hn	0,1	8,7					
Dss (kg/m ³)	2598	2108					
PUS(kg/m ³)	1318	1170					

Fuente: Programa de laboratorio de mecánica de suelos y ensayo de materiales ESPE.

Tabla 10. Dosificación del hormigón. Método ACI 211.

REQUERIMIENTO								a/c
f'c:	350	kg/cm2			f'cdis:	404	kg/cm2	0,44
RESULTADOS								
DOSIFICACIÓN EN PESO								
	VOL SSS		PESO SSS		PESO SECO		PESO ESTADO NAT.	
AGUA	48,3	gal.	48,3	gal.	63,9	gal.	49,3	gal.
CEMENTO	8,3	sacos	413,8	kg.	413,8	kg.	413,8	kg.
ARENA	0,3	m ³	669,7	kg.	627,7	kg.	682,3	kg.
RIPIO	0,4	m ³	956,5	kg.	939,6	kg.	940,2	kg.
TOTAL	1,00	m³	2.222,8		2.222,8		2.222,8	
DOSIFICACIÓN EN VOLUMEN			DOSIFICACIÓN EN PROPORCIÓN			DOSIFICACIÓN. PARA PRUEBAS		
AGUA	49,27	gal.	5,95	gal.	5,95	gal.	DE LABORATORIO	
CEMENTO	8,28	sacos	1,00	saco	1,0	saco	1,13	gal.
ARENA	0,58	m ³	0,07	m ³	2,0	parig	9,52	kg.
RIPIO	0,71	m ³	0,09	m ³	2,4	parig	15,69	kg.
							21,63	kg.

Fuente: Programa de laboratorio de mecánica de suelos y ensayo de materiales ESPE.

2.3.4.2 Dosificación 2. Método ACI 211

En esta dosificación se utilizó materiales granulométricos de Disensa. El programa que se utilizará es de autoridad del laboratorio de mecánica de suelos y ensayo de materiales de la ESPE.

Datos:

Resistencia especificada a los 28 días: $f'c = 600 \text{ Kg/cm}^2$.

Tamaño máximo nominal del agregado grueso: TMN = 3/4 pulgadas.

Fecha de vaciado: 25 / 03 / 2014.

Tabla 11. Propiedades físicas del agregado de Disensa.

PROPIEDADES FÍSICAS DE LOS AGREGADOS				PROCEDENCIA	
	RIPIO	ARENA	CEMENTO	AGREGADOS	
Ge			3,15		
PUC(Kg/m ³)	1378			CEMENTO	HOLCIM
PUS(kg/m ³)	1266			ARENA	HOLCIM
Tmáx(pulg)	1,0			RIPIO	HOLCIM
Mf		2,7		ADITIVO	
%Ab	2,2	3,7			
%Hn	2,4	3,4			
Dsss (kg/m ³)	2590	2550			
PUS(kg/m ³)	1266	1305			

Fuente: Programa de laboratorio de mecánica de suelos y ensayo de materiales ESPE.

Tabla 12. Dosificación. Método ACI 211.

REQUERIMIENTO								a/c
f'c:	600		kg/cm2		f'cdis:	654	kg/cm2	0,31
	1,00							
R E S U L T A D O S								
DOSIFICACIÓN EN PESO								
	VOL SSS		PESO SSS		PESO SECO		PESO ESTADO NAT.	
AGUA	47,7	gal.	47,7	gal.	62,0	gal.	47,9	gal.
CEMENTO	11,6	saco	579,1	kg.	579,1	kg.	579,1	kg.
ARENA	0,4	m ³	934,9	kg.	901,2	kg.	931,8	kg.
RIPIO	0,4	m ³	955,9	kg.	935,4	kg.	958,0	kg.
TOTAL	1,10	m³	2.650,37		2.650,37		2.650,37	
DOSIFICACIÓN EN VOLUMEN					DOSIFICACIÓN EN PROPORCIÓN		DOSIFICACIÓN PARA PRUEBAS DE LABORATORIO	
AGUA	47,93	gal.	4,14	gal.	4,14	gal.		
CEMENTO	11,58	saco	1,00	sacos	1,0	sacos	1,10	gal.
ARENA	0,71	m ³	0,06	m ³	1,7	parig	13,32	kg.
RIPIO	0,76	m ³	0,07	m ³	1,8	parig	21,43	kg.
							22,03	kg.
			PARIGUELAS DE:		0,33	largo	4 CILINDROS	
					0,33	ancho		
					0,33	Alto		
					0,04	m ³		

Fuente: Programa de laboratorio de mecánica de suelos y ensayo de materiales ESPE.

2.3.4.3 Dosificación 3. Método ACI 211.4R

En esta dosificación se utilizó materiales granulométricos de Disensa. El programa que se utilizará es de autoridad propia, el mismo que sigue los pasos de la Guía del ACI 211.4R.

Datos:

Resistencia especificada a los 28 días: $f'c = 350 \text{ Kg/cm}^2$.

Tamaño máximo nominal del agregado grueso: TMN = 3/4 pulgadas.

Fecha de vaciado: 28 / 03 / 2014.

Tabla 13. Propiedades físicas del agregado de Disensa.

	Agregado grueso	Agregado fino
Gravedad específica seca	2,53	2,46
Gravedad específica aparente	2,59	2,55
Gravedad específica SSS	2,68	2,71
% absorción	2,19	3,74
P.U.S.(kg/m³)	1285	1629
P.U.C.(kg/m³)	1432	1766
Módulo de finura	.....	2,71
Tamaño máximo	3/4 plg	.....
Tamaño máximo nominal	1/2 plg	.....
Abrasión %	24,26	.....
Cemento		Holcim

Tabla 14. Dosificación al peso por metro cúbico de hormigón.

Relación Agua/Cemento =	0,45	
Cemento	783	Kg
Arena	262	Kg
Agregado grueso, seco	815,4	Kg
Agua neta	352,3	Kg
Peso Unitario	2212,7	Kg/m ³
Resistencia de diseño	600	Kg/m ²

2.3.4.4 Dosificación 4. Método ACI 211.4R

En esta dosificación se utilizó materiales granulométricos de Disensa. El programa que se utilizará es de autoridad propia, el mismo que sigue los pasos de la Guía del ACI 211.4R.

Datos:

Resistencia especificada a los 28 días: $f'c = 480 \text{ Kg/cm}^2$.

Tamaño máximo nominal del agregado grueso: TMN = 3/4 pulgadas.

Fecha de vaciado: 28 / 03 / 2014.

Tabla 15. Dosificación al peso por metro cúbico de hormigón.

Relación Agua/Cemento =	0,34	
Cemento	864	Kg
Arena	313,8	Kg
Agregado grueso, seco	863,6	Kg
Agua neta	289,6	Kg
Peso unitario	2331	Kg/m ³
Resistencia de diseño	480	Kg/cm ²

2.3.4.5 Dosificación 5. Método ACI 211.4R

En esta dosificación se utilizó materiales granulométricos de Disensa. El programa que se utilizará es de autoridad propia, el mismo que sigue los pasos de la Guía del ACI 211.4R.

Datos:

Resistencia especificada a los 28 días: $f'c = 600 \text{ Kg/cm}^2$.

Tamaño máximo nominal del agregado grueso: TMN = 3/4 pulgadas.

Fecha de vaciado: 01 / 04 / 2014.

Tabla 16. Dosificación al peso por metro cúbico de hormigón.

Relación Agua/Cemento =	0,29	
Cemento	1005	Kg
Arena	196	Kg
Agregado grueso, seco	861	Kg
Agua neta	291,4	Kg
Peso unitario =	2353,4	Kg/m ³
Resistencia de diseño =	600	Kg/cm ²

2.3.4.6 Dosificación 6. Método ACI 211

En esta dosificación se utilizó materiales granulométricos de Pintag. El programa que se utilizará es de autoridad del laboratorio de mecánica de suelos y ensayo de materiales de la ESPE.

Datos:

Resistencia especificada a los 28 días: $f'c = 600 \text{ Kg/cm}^2$.

Tamaño máximo nominal del agregado grueso: TMN = 3/4 pulgadas.

Fecha de vaciado: 25 / 04 / 2014.

Tabla 17. Propiedades físicas del agregado de Pintag.

PROPIEDADES FÍSICAS DE LOS AGREGADOS				PROCEDENCIA	
	RIPIO	ARENA	CEMENTO	AGREGADOS	
Ge			3,15		
PUC (Kg/m ³)	1307			CEMENTO	
PUS(kg/m ³)	1258			ARENA	PINTAG
T máx (pulg)	0,75			RIPIO	PINTAG
Mf		2,8		ADITIVO	
%Ab	5,1	6,6			
%Hn	5,7	6,3			
Dsss (kg/m ³)	2458	2377			
PUS(kg/m ³)	1258	1627			

Fuente: Programa de laboratorio de mecánica de suelos y ensayo de materiales ESPE.

Tabla 18. Dosificación del hormigón. Método ACI 211.

REQUERIMIENTO								a/c
f'c:	600,00		kg/cm2		f'cdis:	780	kg/cm2	0,26
RESULTADOS								
DOSIFICACIÓN EN PESO								
	VOL SSS		PESO SSS		PESO SECO		PESO ESTADO NAT.	
AGUA	53,6	gal.	53,6	gal.	72,5	gal.	52,6	gal.
CEMENTO	16,7	Sacos	833,5	kg.	833,5	kg.	833,5	kg.
ARENA	0,2	m ³	489,7	kg.	459,5	kg.	488,3	kg.
RIPIO	0,3	m ³	851,8	kg.	810,5	kg.	856,9	kg.
TOTAL	1,02	m³	2.377,79		2.377,79		2.377,79	
DOSIFICACIÓN EN VOLUMEN				DOSIFICACIÓN EN PROPORCIÓN				DOSIF. PARA PRUEBAS
AGUA	52,61	gal.	3,16	gal.	3,16	gal.	DE LABORATORIO	
CEMENTO	16,67	Sacos	1,00	sacos	1,0	sacos	1,23	gal.
ARENA	0,30	m3	0,02	m3	0,5	parig	19,42	kg.
RIPIO	0,68	m3	0,04	m3	1,1	parig	11,38	kg.
							19,97	kg.
			PARIGUELAS DE :		0,33	largo	4CILINDROS	
					0,33	ancho		
					0,33	alto		
					0,04	m3		

Fuente: Programa de laboratorio de mecánica de suelos y ensayo de materiales ESPE.

Nota: El valor de la resistencia requerida f'_{cdis} está colocada manualmente según la ecuación (2.3) del ACI 211.4R.

2.3.4.7 Dosificación 7. Método ACI 211.4R

En esta dosificación se utilizó materiales granulométricos de Pintag. El programa que se utilizó es de autoridad propia, el mismo que sigue los pasos de la Guía del ACI 211.4R.

Datos:

Resistencia especificada a los 28 días: $f'c = 600 \text{ Kg/cm}^2$

Tamaño máximo nominal del agregado grueso: TMN = 3/4 pulg

Fecha de vaciado: 25 / 04 / 2014

Tabla 19. Dosificación al peso por metro cúbico de hormigón.

Relación Agua/Cemento	0,26	
Cemento	1459	Kg
Arena	567	Kg
Agregado grueso, seco	743,1	Kg
Agua neta	379,3	Kg
Peso Unitario	3148,4	Kg/m ³
Resistencia de diseño	600	Kg/cm ²

2.3.4.8 Dosificación 8. Método ACI 211.

En esta dosificación se utilizó materiales granulométricos de Disensa. El programa que se utilizó es de autoridad del laboratorio de mecánica de suelos y ensayo de materiales de la ESPE.

Datos:

Resistencia especificada a los 28 días: $f'c = 600 \text{ Kg/cm}^2$.

Tamaño máximo nominal del agregado grueso: TMN = 3/4 pulgadas.

Fecha de vaciado: 08 / 05 / 2014.

Tabla 20. Dosificación del hormigón, método ACI 211

REQUERIMIENTO								a/c
f'c:	600		kg/cm2		f'cdis:	780	kg/cm2	0,26
RESULTADOS								
DOSIFICACIÓN EN PESO								
	VOL SSS		PESO SSS		PESO SECO		PESO ESTADO NAT.	
AGUA	55,5	gal.	55,5	gal.	65,5	gal.	49,7	gal.
CEMENTO	17,3	Sacos	864,6	kg.	864,6	kg.	864,6	kg.
ARENA	0,2	m ³	557,4	kg.	537,3	kg.	578,5	kg.
RIPIO	0,3	m ³	818,0	kg.	800,5	kg.	819,0	kg.
TOTAL	1,02	m³	2.450,3		2.450,30		2.450,3	
DOSIFICACIÓN EN VOLUMEN			DOSIFICACIÓN EN PROPORCIÓN			DOSIF. PARA PRUEBAS DE LABORATORIO		
AGUA	49,70	gal.	2,87	gal.	2,87	gal.	LABORATORIO	
CEMENTO	17,29	Sacos	1,00	Sacos	1,0	sacos	1,16	gal.
ARENA	0,36	m3	0,02	m3	0,6	parig	20,15	kg.
RIPIO	0,64	m3	0,04	m3	1,0	parig	13,48	kg.
							19,08	kg.
			PARIGUELAS DE:		0,33	largo	4 CILINDROS	
					0,33	ancho		
					0,33	alto		
					0,04	m3		

Fuente: Programa de laboratorio de mecánica de suelos y ensayo de materiales ESPE

Nota: El valor de la resistencia requerida f'_{cdis} está colocado manualmente según la ecuación (2.3) del ACI 211.4R.

2.3.4.9 Dosificación 9. Método ACI 211.4R

En esta dosificación se utilizó materiales granulométricos de Disensa. El programa que se utilizó es de autoridad propia, el mismo que sigue los pasos de la Guía del ACI 211.4R.

Datos:

Resistencia especificada a los 28 días: $f'c = 600 \text{ Kg/cm}^2$.

Tamaño máximo nominal del agregado grueso: TMN = 3/4 pulgadas.

Fecha de vaciado: 22 / 05 / 2014.

Tabla 21. Dosificación al peso por metro cúbico de hormigón.

Relación agua/cemento	0,26	
Cemento	812	Kg
Arena	397,9	Kg
Agregado grueso, seco	933	Kg
Agua neta	211,1	Kg
Peso Unitario	2354	Kg/m ³
Resistencia de diseño	600	Kg/cm ²

2.3.4.10 Dosificación 10. Método ACI 211.4R

En esta dosificación se utilizó materiales granulométricos de Disensa. Además se adiciona el 5% de ceniza muy fina, el programa que se utilizó es de autoridad propia, el mismo que sigue los pasos de la Guía del ACI 211.4R.

Datos:

Resistencia especificada a los 28 días: $f'c = 600 \text{ Kg/cm}^2$.

Tamaño máximo nominal del agregado grueso: TMN = 3/4 pulgadas.

Fecha de vaciado: 17 / 06 / 2014.

Tabla 22. Dosificación al peso por metro cúbico de hormigón

Relación agua / cemento	0,27	
Cemento	699	Kg
Ceniza	37	Kg
Arena, seca	515	Kg
Agregado grueso, seco	1027	Kg
Agua, neta	191	Kg
Peso/m3 de hormigón	2469	Kg/m3
Resistencia especificada	600	Kg/cm2

2.3.4.11 Dosificación 11. Método F K antia.

En esta dosificación se utilizó materiales granulométricos de Disensa. El método aplicado en este diseño es el F K antia, pasos que se detallan a continuación.

Datos:

Resistencia especificada a los 28 días: $f'c = 600 \text{ Kg/cm}^2$

Tamaño máximo nominal del agregado grueso: TMN = 3/4 pulg

Fecha de vaciado: 16 / 07 / 2014

1. Relación agua/cemento

Este valor es tomado, según la resistencia media a la compresión.

Tabla 23. Relación agua/cemento.

Relación agua cemento	0,33	0,45	0,55	0,66	0,78
Peso de agua en Kg/saco de cemento 50 Kg	17	22,5	28	33,5	39,5
Resistencia media a la compresión 7 días kg/cm^2	246	211	179	151	125
Resistencia media a la compresión 28 días kg/cm^2	369	316	268	226	187

Fuente: Métodos constructivos. Tabla N°8.

2. Cantidad de agua

La cantidad de agua, está en función del tamaño máximo nominal del agregado grueso.

Tabla 24. Estimación del agua de mezclado.

Tamaño máx del agregado grueso en, mm	13	19	25	38
Litros de agua por m3 de hormigón	213	199	193	181

Fuente: Métodos constructivos. Tabla N° 11.

3. Cantidad de cemento.

Este valor resulta de dividir la cantidad de agua para la relación agua / cemento.

4. Volumen absoluto del agua.

Este valor se encuentra de dividir la cantidad de agua para el peso específico del agua.

5. Volumen absoluto del cemento.

Este valor resulta de dividir la cantidad de cemento para el peso específico del cemento.

6. Volumen absoluto del agregado para un metro cúbico de hormigón.

Este valor resulta de la diferencia que se encuentra del volumen total de la mezcla menos el volumen absoluto del agua y del cemento.

7. Módulo de finura ideal.

Tomamos el módulo de finura máximo y mínimo que está en función del tamaño máximo nominal del agregado grueso, por lo tanto el módulo de finura ideal será el promedio del módulo de finura máximo y mínimo.

Tabla 25. Módulo de finura máximo y mínimo

Tamaño máx del agregado grueso en mm	Módulo de Finura		
	Mínimo	Máximo	
3/8	10 mm	3,3	3,7
1/2	13 mm	4,5	5,0
3/4	19 mm	4,8	5,3
1	25 mm	5,0	5,5
1 1/4	32 mm	5,1	5,7
1 1/2	38 mm	5,4	6,0
3	76 mm	5,9	6,5
6	152 mm	6,5	7,0

Fuente: Métodos constructivos. Tabla N° 12.

8. Porcentaje de arena.

Resulta de la división entre la diferencia del módulo de finura del ripio, módulo de finura ideal y módulo de finura de la arena.

9. Porcentaje del ripio.

Resulta de la diferencia entre el porcentaje total de agregados y el porcentaje de arena.

10. Volumen absoluto de la arena.

Resulta del producto del volumen absoluto de los agregados y del porcentaje de arena en Kilogramos.

11. Volumen absoluto del ripio.

Resulta del producto del volumen absoluto de los agregados y del porcentaje de ripio en kilogramos.

12. Resumen de pesos de los materiales para 1m³ de hormigón.

A continuación se muestra las tablas resultados de la dosificación con este método mencionado.

Tabla 26. Propiedades físicas del agregado

		<i>Agregados</i>	
		<i>Grueso</i>	<i>Fino</i>
Peso específico base seca	g/cm ³	2,43	2,41
Peso específico SSS	g/cm ³	2,47	2,5
Peso específico aparente o relativo	g/cm ³	2,54	2,63
Absorción de agua	%	1,76	3,36
Módulo de finura		6,45	2,83
Humedad natural	%	0,04	5,03
Tamaño máximo nominal	mm	13	

Tabla 27. Dosificación al peso por metro cúbico de hormigón, método F K antia

Relación Agua/Cemento	0,30	
Cemento	710	Kg
Agua	213	Kg
Arena	665	Kg
Ripio	754	Kg
Peso unitario del hormigón	2342	Kg/m ³
Resistencia especificada	600	Kg/cm ²

2.3.4.12 Dosificación 12. Método F K antia

En esta dosificación se utilizó materiales granulométricos de Disensa. El método aplicado en este diseño es el F K antia. El programa utilizado es de autoría propia.

Datos:

Resistencia especificada a los 28 días: $f'c = 600 \text{ Kg/cm}^2$

Tamaño máximo nominal del agregado grueso: TMN = 3/4 pulgadas.

Fecha de vaciado: 21 / 07 / 2014.

Tabla 28. Dosificación al peso por metro cúbico de hormigón, método F K antia

Relación Agua/Cemento	0,28	
Cemento	761	Kg
Agua	213	Kg
Arena	644	Kg
Ripio	732	Kg
Peso unitario del hormigón	2350	Kg/m^3
Resistencia especificada	600	Kg/cm^2

2.3.4.13 Dosificación 13. Método F K antia

En esta dosificación se utilizó materiales granulométricos de Disensa. El método aplicado en este diseño F K antia. El programa utilizado es de autoría propia.

Datos:

Resistencia especificada a los 28 días: $f'c = 600 \text{ Kg/cm}^2$

Tamaño máximo nominal del agregado grueso: TMN = 3/4 pulgadas

Fecha de vaciado: 21 / 07 / 2014.

Tabla 29. Dosificación al peso por metro cúbico de hormigón, método F K antia.

Relación Agua/Cemento	0,26	
Cemento	819	Kg
Agua	213	Kg
Arena	621	Kg
Ripio	706	Kg
Peso unitario del hormigón	2359	Kg/m^3
Resistencia especificada	600	Kg/cm^2

2.3.4.14 Dosificación 14. Método Empírico

En la búsqueda de obtener una dosificación favorable que sea igual o supere la resistencia especificada a la compresión y sin éxito hasta el momento se opta por buscar dosificaciones con la mayor resistencia obtenida, siendo la dosificación base la dosificación número nueve.

Con esta dosificación base, se aumenta empíricamente la cantidad de cemento como ensayo de prueba para mirar los resultados. Además se incorpora un método de compactación para disminuir los vacíos de la mezcla de hormigón y obligando para que el agua que se encuentra en la superficie de las partículas de los materiales salgan y colaboren en la hidratación de la mezcla.

Para este método de compactación incorporado se utilizará el martillo de compactación de Proctor Modificado con diámetro de 12 pulgadas únicamente.

Datos:

Resistencia especificada a los 28 días: $f'c = 600 \text{ Kg/cm}^2$

Tamaño máximo nominal del agregado grueso: TMN = 1/2pulgadas

Fecha de vaciado: 07 / 08 / 2014.

Tabla 30. Dosificación al peso por metro cúbico de hormigón, método Empírico

Relación agua / cemento	0,26	
Cemento	819	Kg
Arena	396,6	Kg
Agregado grueso, seco	924,5	Kg
Agua neta	212,9	Kg
Peso unitario	2353	Kg/m^3
Resistencia especificada	600	Kg/cm^2

2.3.4.15 Dosificación 15. Método Empírico

Intentando conseguir mayores resultados se emplea nuevamente este método empírico, aumentando mucho más la cantidad de cemento. Además se implementa al método de compactación el martillo de Proctor Modificado de 3 pulgadas y de 12 pulgadas de diámetro, alternado los golpes en el cilindro de prueba para sacar el agua que se encuentra en la superficie de los agregados y a la vez estos ayuden en el agua de mezclado. El agua de mezclado utilizado es el mínimo con el cual el cemento alcanza su hidratación. Los materiales utilizados son de Disensa.

Datos:

Resistencia especificada a los 28 días: $f'c = 600 \text{ Kg/cm}^2$

Tamaño máximo nominal del agregado grueso: TMN = 1/2 pulgadas

Fecha de vaciado: 16 / 09 / 2014.

Tabla 31. Dosificación al peso por metro cúbico de hormigón por el método empírico.

Relación agua / cemento	0,26	
Cemento	1217	Kg
Arena, seca	0	Kg/
Agregado grueso, seco	934	Kg
Agua, neta	313	Kg
Peso/m ³ de hormigón	2464	Kg/m ³
Resistencia especificada	600	Kg/cm ²

2.3.4.16 Dosificación 16. Método Empírico

Los materiales utilizados en este diseño son provenientes de Disensa. Para esta dosificación, se le proporciona una cantidad de arena, para mirar resultados al ser ensayados.

Datos:

Resistencia especificada a los 28 días: $f'c = 600 \text{ Kg/cm}^2$

Tamaño máximo nominal del agregado grueso: TMN = 1/2 pulgadas

Fecha de vaciado: 16 / 09 / 2014.

Tabla 32. Dosificación al peso por metro cúbico de hormigón por el método empírico

Relación agua / cemento	0,26	
Cemento	1190	Kg
Arena, seca	164	Kg
Agregado grueso, seco	974	Kg
Agua, neta	305	Kg
Peso/m ³	2633	Kg/m ³
Resistencia especificada	600	Kg/cm ²

2.3.4.17 Dosificación 17. Método ACI 211.4R

Teniendo en cuenta las dosificaciones anteriores y los resultados conseguidos, se establece las siguientes correcciones:

- ❖ Revisión del programa para dosificación basado en la Guía ACI 211.4R
- ❖ El método de compactación y el número de golpes que se aplicará a los especímenes de muestra del hormigón.
- ❖ La relación agua/cemento.
- ❖ Reajuste de la dosificación del hormigón por humedades.
- ❖ El tamaño máximo nominal definitivo que se utilizará.
- ❖ La forma de curado del hormigón.
- ❖ Distribución de esfuerzos en toda la cara del cilindro a ser ensayado.

Los agregados utilizados son de procedencia de la Franquicia Disensa. El método que se empleará es el ACI 211.4R.

Datos:

Resistencia especificada a los 28 días: $f'c = 600 \text{ Kg/cm}^2$

Tamaño máximo nominal del agregado grueso: TMN = 1/2 pulgadas.

Densidad del cemento: $d = 3,14 \text{ g/cm}^3$.

Fecha de vaciado: 16 / 09 / 2014.

Tabla 33. Propiedades físicas del agregado utilizado de la Franquicia Disensa

	Agregado grueso	Agregado fino
Gravedad específica seca	2,53	2,46
Gravedad específica aparente	2,59	2,55
Gravedad específica sss	2,68	2,71
% absorción	2,19	3,74
P.U.S.(kg/m ³)	1285	1629
P.U.C.(kg/m ³)	1432	1766
Módulo de finura	.....	2,71
Tamaño máximo	3/4 plg	.....
Tamaño máximo nominal	1/2 plg	.....
Abrasión %	24,26	.....
CEMENTO	Holcim	

Paso 1: Selección del asentamiento y resistencia requerida

Es recomendable tener un asentamiento de 50 a 100 mm, cuando no se utiliza HRWR según la Tabla 4.3.1 del ACI 211.4R. La resistencia requerida f'_{cr} se determina por la ecuación (2.3) del ACI 211.4R.

Revenimiento =	50	Mm
f'_{cr} =	780	kg/cm²

Paso 2: Selección del tamaño máximo del agregado

Teniendo el tamaño máximo nominal y la resistencia especificada, se dirige a la Tabla 4.3.2 del ACI 211.4R y obtenemos el TMN igual a 13 mm.

Paso 3: Selección del contenido óptimo del agregado grueso

El contenido óptimo de agregado grueso seleccionado de la Tabla 4.3.3 del ACI 211.4R, es de 0.68. El peso del agregado grueso secado al horno por m³ de hormigón usado, se calcula con la ecuación (4.1).

$$W_{dry} = (0,68 \times 1432)$$

$$W_{dry} = 974 \text{ Kg}$$

Paso 4: Estimación del agua de mezclado y los contenidos de aire.

Teniendo como referencia un asentamiento de 50 mm y un tamaño máximo nominal de 13 mm, la estimación de agua de mezclado determinada de la Tabla 4.3.4 del ACI 211.4R, es 175 Kg/m³.

En este caso el aire atrapado se lo tomará como cero y el contenido de vacíos de la arena se la encuentra con la ecuación (4.2).

$$V = \left(\frac{1766}{2,408 \times 1000} \right) \times 100$$

$$V = 27 \%$$

Si el agregado fino tiene un contenido de vacíos mayor a 35 %, se realiza el ajuste del mezclado, usando la ecuación (4.3).

Paso 5: Estimación de la relación agua/cemento

Teniendo el tamaño máximo nominal y la resistencia requerida del hormigón a los 28 días, la relación agua/cemento elegida de la Tabla 4.3.5 (a) del ACI 211.4R, es de 0.26.

Teniendo en cuenta que la resistencia a la compresión encontrada con la ecuación (2.3), es de 780 Kg/cm², la resistencia usada en la Tabla 4.3.5 (a) del ACI 211.4R es:

$$f'_{cr} = 0.90 \times 778$$

$$f'_{cr} = 700 \text{ Kg/cm}^2$$

Paso 6: Cálculo del material cementante.

El peso del material cementante por metro cúbico de hormigón es la división entre el peso del agua de mezclado y la relación agua/cemento. Su valor es 675 Kg.

Paso 7: Proporción de la mezcla basado con cemento únicamente.

- ❖ Contenido de cemento por m³ es de 675 Kg
- ❖ Los volúmenes por m³ de todos los materiales excepto de la arena son:

$$\text{Cemento} = 0.2150 \text{ m}^3$$

$$\text{Agregado grueso} = 0.38498 \text{ m}^3$$

$$\text{Agua} = 0.175 \text{ m}^3$$

$$\text{Aire} = 0 \text{ m}^3$$

$$\text{Volumen total} = 0.77495 \text{ m}^3$$

❖ Por lo tanto el volumen requerido de arena por m^3 de concreto es:

$$\text{Volumen requerido de arena seca} = 1 - 0,77495$$

$$\text{Volumen requerido de arena seca} = 0,22505 \text{ m}^3$$

❖ Convirtiendo el volumen a masa de arena por m^3 de hormigón, la masa requerida es:

$$1000 \times 0,22505 \times 2,408 = 542 \text{ Kg}$$

Por lo tanto la dosificación en peso, con cemento únicamente para 1 m^3 de hormigón es:

Tabla 34. Dosificación en peso de concreto solo con cemento.

Material	Cantidad	Cantidad	Cantidad
Cemento	675	Kg	$0,21497\text{m}^3$
Arena, seca	542	Kg	$0,22505\text{m}^3$
Agregado grueso, seco	974	Kg	$0,38498\text{m}^3$
Agua	175	Kg	$0,17500\text{m}^3$
Peso/m ³	2366	Kg/m ³	1m^3

Nota: Con la corrección por exceso de humedades de los agregados y ajustando la cantidad adicional de agua que va añadirse a la mezcla como se indica en los pasos del 8

al 10 de este método, se obtiene la siguiente dosificación definitiva, descrita en la Tabla 34 de este documento.

Tabla 35. Dosificación al peso por metro cúbico de hormigón

Relación agua / cemento	0,26	
Cemento	1156	Kg
Arena	11,9	Kg
Agregado grueso	825,5	Kg
Agua	300,6	Kg
Peso unitario	2294	Kg/m ³
Resistencia especificada	600	Kg/cm ²

2.3.4.18 Dosificación 18.- Método ACI 211.4R

Los agregados que se utilizarán en esta dosificación son procedentes de la Franquicia Disensa. Se conserva la relación agua/cemento y sus proporciones de la dosificación 17.

Siguiendo los pasos del 1 al 10 de la Guía ACI 211.4R, se incorpora a esta dosificación el aditivo mineral natural (Imbrita molida y tamizada por el tamiz N° 200). Así tenemos las siguientes proporciones de la dosificación.

Tabla 36. Dosificación al peso por metro cúbico de hormigón, con ceniza muy fina

Relación (w/c + p)	0,26	
Cemento	1098,2	Kg
Ceniza	57,8	Kg
Arena	11,9	Kg
Agregado grueso, seco	825,5	Kg
Agua	300,6	Kg
Peso unitario	2294	Kg/m ³
Resistencia especificada	600	Kg/cm ²

CAPÍTULO III

CARACTERIZACIÓN DE MATERIALES CONSTITUTIVOS DEL HORMIGÓN

3.1. Introducción

La caracterización de los materiales es fundamental para obtener resultados favorables. Estos ensayos deben ser cuidadosamente realizados ya que un dato mal registrado altera los resultados de la dosificación. Para que un material sea incorporado en esta mezcla, primeramente se debe conocer sus propiedades físicas, químicas y mecánicas.

Los ensayos físicos y mecánicos determinarán la porosidad, granulometría, abrasión, densidad (absoluta, nominal y aparente) de los materiales elegidos para esta mezcla. Además nos permiten conocer la elasticidad y resistencia de los especímenes al mezclar estos materiales.

Con los ensayos químicos conoceremos la composición química del material y la resistencia a los agentes químicos. Todos estos ensayos que se realizarán a continuación están basados en las normas ACI y ASTM.

3.2. Características del cemento

Las características físico químicas son el complemento de las propiedades mecánicas, con ello se conocerá el fraguado, finura y peso específico del cemento.

3.2.1 Determinación del tiempo de fraguado

El tiempo de fraguado es el cambio de estado que tiene el cemento cuando es combinado con el agua.

Se mide el tiempo que transcurre para que el cemento pase de concreto blando a concreto completamente endurecido, es decir, hasta llegar a formarse una roca artificial muy dura.

3.2.1.1 Método Vicat. ASTM C 191 – 07 INEN 158

Para la determinación del tiempo de fraguado del concreto se empleara el método Vicat, que consiste en colocar el aparato y aguja Vicat sobre el concreto. Esta aguja va penetrando cada vez con menos profundidad hasta no dejar huella sobre el concreto. Entonces se dice que llega al tiempo de fraguado.

3.2.1.2 Equipo

- ❖ Equipo Vicat
- ❖ Molde de caucho en forma troncocónica con placa de vidrio
- ❖ Mezcladora con paleta incluida.
- ❖ Balanza.
- ❖ Probeta de 200 cm³ a 250 cm³.
- ❖ Cronometro.

3.2.1.3 Materiales

- ❖ Cemento, 650 gramos.
- ❖ Agua, 173 cm³.

3.2.1.4 Herramientas

- ❖ Franela
- ❖ Espátula plana
- ❖ Mascarilla
- ❖ Guantes
- ❖ Gafas

3.2.1.5 Procedimiento

1. Pesar una muestra de cemento seco de 500 gramos.
2. Medir 150 ml de agua.
3. En el recipiente de la amasadora se coloca primero el agua y posteriormente el cemento.
4. Se amasa la pasta a velocidad lenta durante 90 segundos. Se detiene por 15 segundos y se vuelve a amasar otros 90 segundos. El proceso debe acabarse en un tiempo aproximado de 3 minutos.
5. Una vez terminados los tiempos, se saca la muestra, se realiza una bolita y se procede a lanzarla 6 veces de una mano a otra.
6. Posteriormente se coloca la muestra en el molde de caucho con la base metálica y se enraza con una espátula.
7. Se calibra el aparato de Vicat; se baja la sonda hasta que haga contacto con la pasta y se suelta la parte móvil en un tiempo de 30 segundos; se lee la penetración.

8. Si la distancia entre la placa base y la sonda es de 6 ± 1 mm, se dará paso a la determinación del fraguado.
9. Para la determinación del fraguado, se coge el aparato de Vicat y se sustituye la sonda por una aguja; se coloca el molde con la pasta en el aparato (girando el molde con respecto a la determinación de la pasta de consistencia normal)
10. Se baja la aguja hasta ponerla en contacto con la superficie de la mezcla.
11. La aguja penetrará en la masa y cuando entre la aguja a la placa base, hallar una distancia mínima de 4 ± 1 mm; tomamos ese tiempo como el de principio de fraguado con precisión de ± 5 minutos.
12. Se recomienda hacer los pinchazos en la masa con una separación de 10 mm, tanto del pinchazo exterior como del molde.
13. Cuando la aguja penetre 0.5 mm en la pasta o cuando el accesorio anular deje por primera vez una señal en la masa, se tomará ese dato como el tiempo final de fraguado, con precisión de ± 15 minutos.

3.2.2 Determinación de finura del cemento

La finura del cemento influye en el calor de hidratación liberado y en la velocidad de hidratación. A mayor finura del cemento mayor rapidez de hidratación y por lo tanto mayor desarrollo de resistencia.(veliz).

3.2.2.1 Tamizado del cemento seco, ASTM C 184

Este método determina la finura del cemento seco, con la utilización del tamiz número 200.

3.2.2.2 Equipo

- ❖ Tamiz N° 200, base y tapa.
- ❖ Balanza.
- ❖ Cronometro.

3.2.2.3 Materiales

- ❖ Muestra de cemento de 50 gr

3.2.2.4 Herramientas

- ❖ Franela.
- ❖ Cuchareta.
- ❖ Mascarilla.
- ❖ Guantes.
- ❖ Gafas.
- ❖ Brocha
- ❖ Espátula
- ❖ Recipientes metálicos.

3.2.2.5 Procedimiento

1. Se coloca una cantidad de cemento en el interior del horno, luego de un tiempo prudencial se la saca, se la deja enfriar y se procede a pesar unos 50 gramos de cemento seco.

2. Se coloca la muestra de cemento pesada en el interior del tamiz N° 200 con su respectiva base.
3. Se tapa el tamiz con la muestra y se procede a tamizar por un tiempo prudencial.
4. Luego lo retenido en el tamiz N° 200 se coloca en un recipiente metálico, teniendo cuidado de no desperdiciar material retenido.
5. Se pesa la muestra de material retenido y se obtiene los resultados.

3.2.3 Tamizado del cemento vía húmeda, ASTM C 430 – 03

Este método encuentra la finura del cemento mediante la vía húmeda con la utilización del tamiz N° 200. Dicha muestra debe someterse a un lavado a presión continuo.

3.2.3.1 Equipo

- ❖ Tamiz N° 200.
- ❖ Balanza.
- ❖ Cronometro.

3.2.3.2 Materiales

- ❖ Muestra de cemento de 50 gr.

3.2.3.4 Herramientas

- ❖ Franela.

- ❖ Cuchareta.
- ❖ Mascarilla.
- ❖ Guantes.
- ❖ Gafas.
- ❖ Brocha
- ❖ Espátula
- ❖ Recipientes metálicos.

3.2.3.4. Procedimiento

- ❖ Se pesa una muestra de cemento de 50 gramos.
- ❖ Se coloca la muestra pesada de cemento en el interior del tamiz N° 200 sin tapa y sin base.
- ❖ Se lava la muestra de cemento vertiendo agua a presión de 10 PSI, por un minuto, hasta que ya no pase partículas de cemento por el tamiz N ° 200.
- ❖ Se deja que escurra el agua del interior del tamiz por un lapso de tiempo.
- ❖ La muestra que no paso el tamiz N° 200, se la coloca en un recipiente metálico, teniendo cuidado de no perder la muestra.
- ❖ Se coloca la muestra sobrante en el interior del horno de secado.
- ❖ Se saca del horno la muestra de cemento seco y se la deja enfriar.
- ❖ Se pesa la muestra se cemento y se obtienen los resultados.

3.2.4 Densidad del cemento, Norma INE 156.

La densidad es la relación que existe entre la muestra de cemento y el elemento líquido. En este caso como elemento líquido se usará la gasolina y para determinar la densidad se utilizará el frasco Le Chatelier.

3.2.4.1 Equipo

- ❖ Termómetro, graduado con divisiones de 0,1° C.
- ❖ Balanza.
- ❖ Recipiente para baño maría, capaz de mantener el agua a una temperatura con variación de 0,2 °C.
- ❖ Frasco Le Chatelier.
- ❖ Balanza.
- ❖ Termómetro.

3.2.4.2 Materiales

- ❖ Muestra de cemento de 64 gr.
- ❖ Gasolina.
- ❖ Agua 23°C ±2°C

3.2.4.3 Herramientas

- ❖ Franela.
- ❖ Cuchareta.
- ❖ Mascarilla.
- ❖ Guantes.

❖ Gafas.

3.2.4.4 Procedimiento

1. Colocar el agua en el recipiente de baño maría a temperatura de 24,1 °C
2. Llenar el frasco Le Chetelier con la gasolina hasta la marca 0 y 1 cm³ de la parte baja del cuello del frasco y colocar en el recipiente de baño maría.
3. Introducir el cemento poco a poco dentro del frasco Le Chetelier a la misma temperatura.
4. Colocar el tapón en el frasco, rodar el frasco en posición inclinada hasta que deje de subir burbujas a la superficie del líquido.
5. Dejar reposar en el recipiente de baño, medir la lectura final.

3.3. Propiedades físicas y mecánicas de los agregados pétreos

Los agregados pétreos son los materiales fundamentales de un buen hormigón. Sus características afectan o benefician a las propiedades del hormigón en estado fresco y en estado endurecimiento. Las características de los agregados como su forma, textura y gradación influyen en la resistencia del hormigón.

Los agregados finos o como se las conoce comúnmente como arenas son agregados que tienen un diámetro que no sobrepasa los 5 cm. Estas son procedentes del desprendimiento de rocas.

Teniendo en cuenta su procedencia las arenas se las clasifican en dos tipos:

- ❖ Arenas naturales.
- ❖ Arenas artificiales.

Las arenas naturales son las que se las extraen de los ríos o minas. Mientras que las arenas artificiales se obtienen por medio de trituración de rocas. Estas son de mejor calidad y garantizan a los usuarios a tener mejores resistencias.

Por otra parte se consideran como agregados gruesos a los fragmentos de rocas que tengan un diámetro inferior a 15 cm y que quedan retenidos en el tamiz de mallas de 5mm de diámetro.

3.3.1 Peso específico y capacidad de absorción

El peso específico es el peso por unidad de volumen. Se lo encuentra al dividir el peso de la sustancia entre el volumen que esta ocupa. La unidad de medida es el g/cm^3 .

La capacidad de absorción es la máxima cantidad de agua expresada en porcentajes que pueden absorber las partículas desde el estado seco al horno, al estado saturado con superficie seca.

3.3.1.1 Equipo para agregado fino

- ❖ Picnómetro.
- ❖ Balanza, sensibilidad 0.1 gramos
- ❖ Matraz de 500 cm³

- ❖ Horno $110\text{ }^{\circ}\text{C}\pm 5^{\circ}\text{C}$
- ❖ Molde y compactador de humedad superficial. El molde metálico debe tener la forma de un cono truncado, con las siguientes dimensiones: $40\text{ mm}\pm 3\text{ mm}$ de diámetro interno superior, $90\text{ mm}\pm 3\text{ mm}$ de diámetro interno en la base y $75\text{ mm}\pm 3\text{ mm}$ de altura; el metal debe tener un espesor mínimo de 0.80 mm ; el compactador metálico debe tener una masa de $340\text{ gr}\pm 15\text{ gr}$ y una cara compactadora circular y plana, de $25\text{ mm}\pm 3\text{ mm}$ de diámetro.

3.3.1.2 Equipo para agregado grueso

- ❖ Horno $110\text{ }^{\circ}\text{C}\pm 5^{\circ}\text{C}$
- ❖ Balanza, sensibilidad 0.1 gramos
- ❖ Tanque de agua

3.3.1.3 Materiales agregado fino

- ❖ Muestra de agregado fino, 500 gramos .
- ❖ Agua destilada, cantidad necesaria marcada en el matraz a usarse.

3.3.1.4 Materiales agregado grueso

- ❖ Muestra de 3000 gramos .
- ❖ Agua de grifo

3.3.1.5 Herramientas

- ❖ Recipientes metálicos.
- ❖ Franela.
- ❖ Cuchareta.
- ❖ Mascarilla.

- ❖ Guantes.
- ❖ Gafas.
- ❖ Espátula.
- ❖ Taras.
- ❖ Enrasador metálico
- ❖ Balanza con suspensión de tanque de agua.

3.3.1.6 Procedimiento para agregado fino

1. Tomar una muestra a los 500 gramos del agregado fino, dejarlo secar en el horno a 110 ± 5 °C durante 24 horas; al siguiente día sumergir la muestra en agua 24 horas más.
2. En una bandeja metálica colocar la muestra para ser secada. Una vez que su consistencia es la adecuada se realiza el ensayo para determinar la humedad superficial.
3. Mantener firmemente el molde sobre una superficie lisa no absorbente, con el diámetro mayor hacia abajo. Colocar en el molde en forma suelta una porción del agregado fino parcialmente seco hasta llenarlo completamente con material adicional en la parte superior.
4. Mantener firme el molde con la mano; compactar el agregado fino con 25 ligeros golpes con el compactador. Cada caída debe iniciar aproximadamente 5 mm sobre la superficie del agregado fino, permitiendo que el compactador caiga libremente bajo la atracción gravitacional en cada golpe.
5. Ajustar la altura de inicio a la nueva elevación de la superficie después de cada golpe y distribuirlos sobre la superficie.
6. Remover el agregado fino que ha caído alrededor de la base y levantar el molde verticalmente.

7. Pesar una muestra de 500 gramos con la humedad adecuada para realizar el ensayo.
8. Con la ayuda de un embudo metálico introducir la muestra de los 500 gramos en el picnómetro, evitando que se desperdicie.
9. Una vez que se coloca todo el material, colocamos el termómetro en la boca del picnómetro para anotar la temperatura de la muestra, con la temperatura nos permite determinar el peso específico del agua.
10. Agitar levemente el picnómetro en su base y colocar en el agitador mecánico para eliminar las burbujas de aire en un tiempo de 15 minutos; es posible también realizar pequeños golpecitos a la base del picnómetro para sacar el aire.
11. Luego de eliminar todas las burbujas de aire ajustar la temperatura del picnómetro a $23\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$, es necesario mediante inmersión del agua circulante; y llevar el nivel de agua en el picnómetro hasta la marca de calibración. Determinar la masa total del picnómetro, muestra y agua.
12. Finalmente sacar el agregado fino del picnómetro, colocarlo en un recipiente para ser introducido al horno, y después de 24 horas registrar su valor seco.

3.3.1.6 Procedimiento para agregado grueso

1. Realizar el tamizado del material y colocar en el horno hasta que los agregados se encuentren en un estado totalmente seco; sacarlos del horno esperar que se enfríen de 1 a 3 horas, luego sumergir la muestra en agua durante 24 horas.
2. Retirar la muestra del agua, colocarla sobre un paño absorbente y con el mismo frotarla hasta que se vaya eliminando toda lámina visible de agua. Secar las partículas grandes individualmente; evitar la evaporación de agua

desde los poros del agregado grueso durante la operación de secado superficial.

3. Después de pesar la masa en aire, inmediatamente colocar la muestra de ensayo saturada superficialmente seca, en el recipiente para determinar su masa aparente en agua a $23^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$. Remover todo el aire atrapado antes de determinar la masa mediante la agitación del recipiente mientras se sumerge en el tanque de agua, de la cual en la parte superior tiene una balanza la que registra los valores de dichos agregados bajo el agua.
4. Colocar la muestra saturada en el horno durante 24 horas, sacar la muestra dejar enfriar y pesar.
5. Anotar los valores y tabular los resultados.

3.3.2 Densidad suelta y compactada. ASTM C - 29

La densidad aparente se define como la relación que existe entre la masa del material sobre el volumen que ocupa. Incluye los poros impermeables pero no incluye a los capilares o poros permeables.

La densidad aparente del agregado es un buen indicador de varias características importantes como es la porosidad y la capacidad de infiltración. (<http://es.scribd.com/doc/58060200/31/DENSIDADES>).

3.3.2.1 Equipo

- ❖ Balanza, con precisión de 0,1%.

- ❖ Varilla de compactación, lisa, de acero, de 16 mm de diámetro y 600 mm de longitud aproximadamente, teniendo los dos extremos de compactación redondeados con punta semiesférica.
- ❖ Recipiente de acero de medida.
- ❖ Horno $110 \pm ^\circ\text{C}$
- ❖ Molde, recipiente cilíndrico de metal, preferiblemente provisto de asas. El molde debe tener una altura aproximadamente igual a su diámetro, pero en ningún caso la altura debe ser menor al 80% ni superior al 150% del diámetro, el espesor del molde debe cumplir con la ASTM C 138.

3.3.2.2 Materiales

- ❖ El tamaño de la muestra debe ser de aproximadamente 125% a 200% respecto de la cantidad necesaria para llenar el molde. Debe manejarse de tal manera que se evite la segregación. Secar la muestra hasta obtener masa constante, de preferencia en un horno a 110°C .

3.3.2.3 Herramientas

- ❖ Franela.
- ❖ Cuchareta.
- ❖ Mascarilla.
- ❖ Guantes.
- ❖ Gafas.
- ❖ Taras.

3.3.2.4 Procedimiento de la densidad suelta.

1. Procedimiento por paladas, una vez seca la muestra dejar caer el material en el recipiente metálico a una altura no superior de 50 mm por encima de la parte superior del molde de forma constante hasta llenarlo completamente para luego ser enrasado, pesar este recipiente con el material lleno.
2. Repetir este proceso para agregados gruesos y finos.
3. Limpieza y secado de equipos.

3.3.2.5 Procedimiento de la densidad compactada.

1. Procedimiento por varillado, llenar la tercera parte del molde y distribuir 25 golpes de la varilla de compactación sobre la superficie.
2. Llenar los dos tercios del molde y compactar de la forma indicada anteriormente. Nivelar la superficie del árido con un enrasador, de tal manera que cualquier ligera proyección de las partículas grandes del árido grueso equilibren aproximadamente los vacíos
3. Repetir este proceso para agregados gruesos y finos.
4. Limpieza y secado de equipos.

3.3.3 Granulometría de los agregados. ASTM C 33.

La granulometría del agregado estudia la distribución por tamaños de las partículas de los agregados. De esta propiedad depende la cantidad de pasta de cemento a utilizarse en una mezcla de hormigón.

Para este ensayo se toma una muestra representativa de agregado, dependiendo de su tamaño nominal.

La determinación granulométrica se lo realiza tamizando la muestra, la cual debe pasar por la serie de tamices apropiados para este tipo de ensayo. Se determina la curva granulométrica del material a usarse.

Un material está bien graduado cuando existe una variedad equilibrada de tamaño de partículas y es uniforme cuando las partículas de los agregados tienden a tener un solo tamaño predominante.

La granulometría tiene mucha importancia en la calidad del hormigón, puesto que tenemos mezclas de mejores cualidades y características cuando los agregados tienen una masa unitaria máxima que se logra cuando hay una adecuada distribución granulométrica.

Para permitir que las partículas de menor tamaño ocupen los espacios vacíos y así reducir al mínimo la porosidad, lo que implica un aumento de resistencia.

3.3.3.1 Equipo

- ❖ Serie de tamices agregado grueso:(3", 2", 1 1/2", 1", 3/4", 1/2", 3/8", N°4, N°8, pasa N°8).
- ❖ Serie de tamices agregado fino: (3/8", N°4, N°8, N°16, N°30, N°50, N°100, Pasa N°100).
- ❖ Horno $110 \pm ^\circ\text{C}$
- ❖ Agitador de tamices manual

3.3.3.2 Materiales

- ❖ Muestra de 5000 gramos, si es agregado grueso.
- ❖ Muestra de 500 gramos, si es agregado fino.

3.3.3.3 Herramientas

- ❖ Franela.
- ❖ Cuchareta.
- ❖ Recipientes metálicos.
- ❖ Mascarilla.
- ❖ Guantes.
- ❖ Gafas.

3.3.3.4 Procedimiento.

1. En un recipiente metálico con la ayuda de la cuchareta se pesa el material con el peso indicado, según el tipo de agregado a ensayarse.
2. Se coloca en el interior del horno a 110 °C por 24 horas. Luego se saca y se la deja enfriar.
3. Se ordena los tamices según el tipo de muestra a ensayarse, indicado anteriormente.
4. Con la ayuda de la cuchareta, colocar la muestra en el interior de los tamices teniendo cuidado de no desperdiciar muestra.
5. Colocar la serie de tamices en el tamizador manual en un lapso de 10 minutos, a una velocidad normal y continua.

6. Una vez tamizados, se pesan el material retenido en cada tamiz de la serie; con la ayuda de una brocha limpiar el material que queda retenido de esta manera el agregado cae fácilmente al recipiente que se va a pesar.
7. Se tabulan datos y se encuentran los resultados.

3.3.4 Contenido de humedad. ASTM C 566.

Cuando los agregados finos se encuentran en la intemperie, almacenan volúmenes de agua en su interior muy grandes.

Teniendo en cuenta que la cantidad de agua para su saturación no supera el 3% de la su masa seca, se dice que el agua superficial adquiere valores que deben determinarse para realizar ajustes cuando se está fabricando hormigón en laboratorio.

3.3.4.1 Equipo

- ❖ Balanza $0,1\text{g} \pm 0,1\%$.
- ❖ Horno $110\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$.

3.3.4.2 Materiales

- ❖ Muestra de agregado 150 gr.

3.3.4.3 Herramientas

- ❖ Franela.

- ❖ Cuchareta.
- ❖ Bandejas.
- ❖ Mascarilla.
- ❖ Guantes.
- ❖ Gafas.

3.3.4.4 Procedimiento.

1. Tomar dos taras pequeñas de aproximadamente 150gramos. Con la ayuda de una cuchareta colocar la muestra de arena tal cual se obtuvo.
2. Colocar la muestra en el horno por 24 horas aproximadamente.
3. Sacar del horno, dejar enfriar, pesar y registrar los datos.

3.3.5 Ensayo de abrasión. ASTM C 131.

El ensayo de abrasión, es el desgaste que se produce a los agregados. Con esto se determina que tan resistente es nuestro material. Por lo tanto esta propiedad influirá directamente en la resistencia del hormigón. Para que un agregado sea utilizado en la mezcla de hormigones de alta resistencia el desgaste debe ser muy bajo o menor al 40 %.

3.3.5.1 Equipo

- ❖ Máquina de los ángeles. Aparato de acero constituido por un tambor cilíndrico hueco de 500 mm de longitud y 700 mm de diámetro aproximadamente con su eje horizontal fijado a un dispositivo exterior puede transmitir un movimiento de rotación alrededor del eje. El tambor tiene una abertura para la introducción del material de ensayo y de la carga abrasiva; dicha abertura está provista de una tapa.
- ❖ Tamices
- ❖ Balanza
- ❖ Esferas con una masa de 390 y 445 gramos

3.3.5.2 Materiales

- ❖ Muestra de agregado grueso, 5000 ± 10 gramos

3.3.5.3 Herramientas

- ❖ Franela.
- ❖ Cuchareta.
- ❖ Bandejas metálicas.
- ❖ Mascarilla.
- ❖ Guantes de goma.
- ❖ Gafas.
- ❖ Tapones.

3.3.5.4 Procedimiento.

1. Pesar 5000 gramos de agregado grueso.
2. Una vez seca la muestra colocarla en la máquina de los ángeles para la realización del ensayo de abrasión. Iniciar el movimiento rotatorio del cilindro a una velocidad de 30 – 33 revoluciones por minuto, con las 12 esferas. El número de revoluciones para agregados gruesos es de 500.
3. Una vez terminadas las revoluciones vaciar el material en una bandeja metálica, la misma que es parte de la máquina de los ángeles.
4. Con el material de la bandeja pasar por el tamiz N° 12. El material retenido debe ser lavado y secado en el horno a una temperatura de 105 – 110 °C.
5. Secar el material por 24 horas para luego ser pesado.
6. Limpieza y secado de los materiales.

3.4. Características del aditivo mineral.

Estos materiales son provenientes de procesos industriales, o de origen natural. La característica es ayudar al hormigón a ganar resistencia.

Para obtener esta muestra fue necesario machacar la roca mineral proporcionada, la misma que fue obtenida de la provincia de Cotopaxi. Posteriormente pasó por un proceso de molido y por último fue tamizado por el tamiz N° 200. Como resultado se obtuvo un polvo muy fino parecido a la textura del talco.

En la presente investigación se puede concluir con los ensayos posteriormente descritos que nuestra ceniza es Clase C, ya que al realizar el ensayo al cabo de 24 horas se endureció la muestra del aditivo mineral por tener propiedades cementantes.



Figura 1. Machacado del mineral



Figura 2. Tamizado del mineral

3.4.1 Determinación de la clase de ceniza

Según la ASTM C 618, existen principalmente dos tipos de cenizas volantes que se puede adicionar a las mezclas de hormigón de alto desempeño.

Si se trata de ceniza volante clase F, son adiciones que ganarán resistencia a edades más largas, lo contrario si se trata de cenizas volantes clase C, se pueden ganar altas resistencia a edades tempranas.

3.4.1.1 Equipo

- ❖ Balanza $0,1\text{g} \pm 0,1\%$.

3.4.1.2 Materiales

- ❖ Muestra de aditivo mineral (Imbrita) 70 gr.

3.4.1.3 Herramientas

- ❖ Franela.
- ❖ Cuchareta.
- ❖ Taras.
- ❖ Mascarilla.
- ❖ Guantes.
- ❖ Gafas.

3.4.1.4 Procedimiento.

1. Pesamos las taras sin muestra.
2. Pesamos las taras más muestra de aditivo mineral aproximadamente unos 70 gramos.
3. Saturamos con agua la muestra y esperamos 24 horas aproximadamente para conocer la reacción que se produjo.
4. Identificamos si la muestra que fue saturada se endureció o simplemente el agua evaporo.
5. Determinación de la clase de ceniza.



Figura 3. Ceniza Clase C

3.4.2 Determinación de la densidad de la ceniza

La densidad de este material mineral (Imbrita), se realiza siguiendo los pasos de la Norma INE 156 descrita en el numeral 3.2.4 del presente Capítulo.



Figura 4. Ensayo de densidad del material mineral

La densidad de este material mineral (Imbrita), es de 2,35 g/cm³. Esto quiere decir que es más liviano que el cemento.

3.5. Resultados de la caracterización de los materiales que conforman el hormigón

3.5.1 Resultados agregado fino.

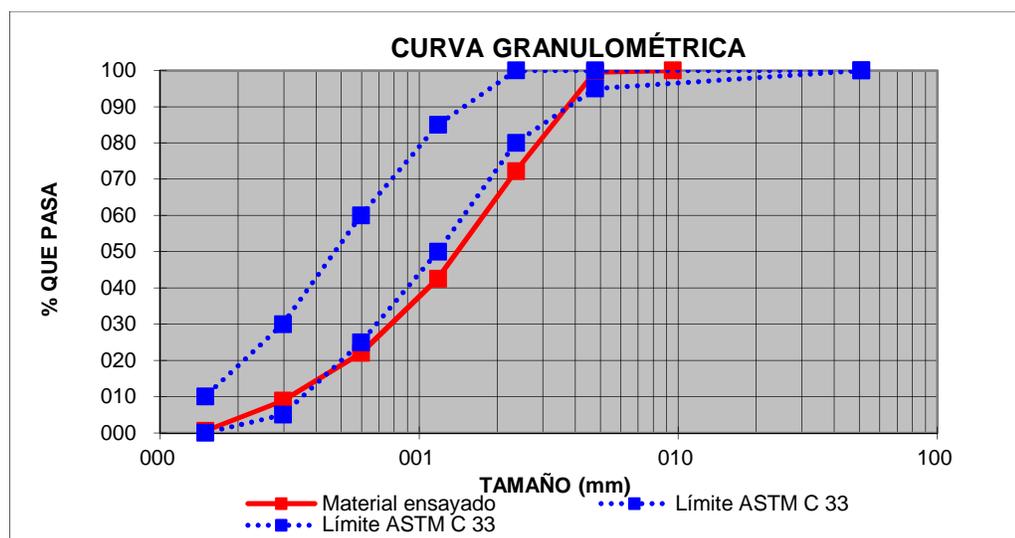
Cuadro 1. Granulometría del agregado fino. Muestra 1

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y ENSAYO DE MATERIALES GEOSOL			
PROYECTO:	Hormigones de alto desempeño	MINA:	Disensa
MUESTRA:	Número 1	CALCULADO POR:	Diego Muñoz
NORMA ENSAYO:	ASTM C 136	FECHA :	Marzo 2014

GRANULOMETRÍA DEL AGREGADO FINO

MALLA No.	ABERTURA (mm)	MASA RETENIDA PARCIAL	MASA RETENIDA ACUMULADA	PORCENTAJE RETENIDO (%)	PORCENTAJE QUE PASA (%)
3/8"	9,51	0	0	0,00	100,00
No.4	4,76	0	0	0,13	99,87
No.8	2,36	91	92	25,98	74,02
No.16	1,18	104	195	55,40	44,60
No.30	0,60	73	268	76,04	23,96
No.50	0,30	49	316	89,80	10,20
No.100	0,15	32	348	98,79	1,21
Pasa No. 100		4	4		
SUMA		352	352		

Módulo de finura: 3,46



Cuadro 2. Granulometría del agregado fino. Muestra 2

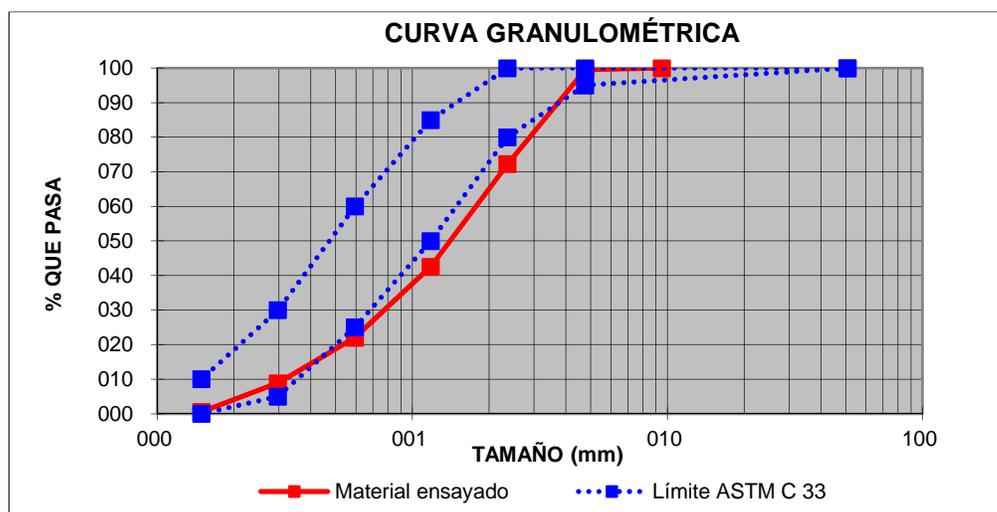
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y ENSAYO DE MATERIALES GEOSOL

PROYECTO:	Hormigones de alto desempeño	Mina: Disensa
MUESTRA:	Número 2	CALCULADO POR: Diego Muñoz
NORMA ENSAYO:	ASTM C 136	FECHA : Marzo 2014

GRANULOMETRÍA DEL AGREGADO FINO

MALLA No.	ABERTURA (mm)	MASA RETENIDA PARCIAL	MASA RETENIDA ACUMULADA	PORCENTAJE RETENIDO (%)	PORCENTAJE QUE PASA (%)
3/8"	9,51	0	0	0,00	100,00
No.4	4,76	2	2	0,48	99,52
No.8	2,36	87	88	27,78	72,22
No.16	1,18	94	183	57,47	42,53
No.30	0,60	65	248	77,96	22,04
No.50	0,30	42	289	91,12	8,88
No.100	0,15	26	316	99,46	0,54
Pasa No. 100		2	2		
SUMA		318	318		

Módulo de finura: 3,54



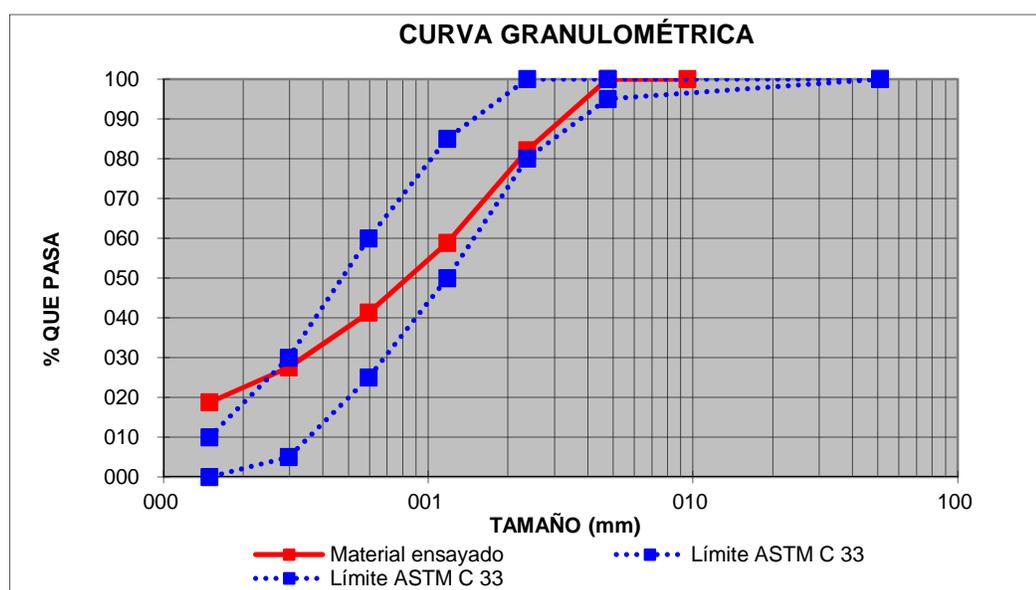
Cuadro 3. Granulometría del agregado fino. Muestra 3

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y ENSAYO DE MATERIALES GEOSOIL			
PROYECTO:	Hormigones de alto desempeño	MINA: Disensa	
MUESTRA:	Número 3	CALCULADO POR:	Diego Muñoz
NORMA ENSAYO:	ASTM C 136	FECHA :	Marzo 2014

GRANULOMETRÍA DEL AGREGADO FINO

MALLA No.	ABERTURA (mm)	MASA RETENIDA PARCIAL	MASA RETENIDA ACUMULADA	PORCENTAJE RETENIDO (%)	PORCENTAJE QUE PASA (%)
3/8"	9,51	0	0	0,00	100,00
No.4	4,76	0	0	0,00	100,00
No.8	2,36	144	144	17,91	82,09
No.16	1,18	187	331	41,12	58,88
No.30	0,60	142	473	58,70	41,30
No.50	0,30	111	583	72,43	27,57
No.100	0,15	71	654	81,24	18,76
Pasa No. 100		151	151		
SUMA		805	805		

Módulo de finura: 2,71



Cuadro 4. Peso específico y absorción del agua. Muestra 1-2

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y ENSAYO DE MATERIALES GEOSOL			
PROYECTO:	Hormigones de alto desempeño	MINA: Disensa	
MUESTRA:	Número 1 - 2	CALCULADO POR:	Diego Muñoz
NORMA ENSAYO:	ASTM C 136	FECHA :	Marzo 2014

PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN DEL AGREGADO FINO

		MUESTRA N° 1	MUESTRA N° 2	PROMEDIO
VOLUMEN DE LA PROBETA EN (cm ³)	V	1000	1000	1000
PESO DE LA PROBETA (g)		730	622	676
PESO DE MUESTRA S.S.S. EN EL AIRE (g)	P	500,18	500,23	500,21
PESO MUESTRA + AGUA + PROBETA (g)		2035	1915	1975
PESO DEL AGUA (g)	W	804,82	792,77	798,89
PESO DE LA MUESTRA SECA (g)	A	484	484	484
PESO ESPECÍFICO BASE SECA (g)	A / (V - W)	2,480	2,335	2,408
PESO ESPECÍFICO S.S.S.	P / (V - W)	2,563	2,414	2,488
PESO ESPECÍFICO APARENTE	A / ((V - W) - (P - A))	2,704	2,535	2,619
ABSORCIÓN (%)	((P-A) / A) x 100	3,34	3,37	3,35

Cuadro 5. Gravedad específica y absorción

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y ENSAYO DE MATERIALES GEOSOIL			
PROYECTO:	Hormigones de alto desempeño	MINA: Disensa	
MUESTRA:	Número 1	CALCULADO POR:	Diego Muñoz
NORMA ENSAYO:	ASTM C 136	FECHA :	Marzo 2014

GRAVEDAD ESPECÍFICA Y ABSORCIÓN DEL AGREGADO FINO

Gravedad específica seca $Ge = A / (B + S - C)$
Gravedad específica saturada con superficie seca $Ges = S / (B + S - C)$
Gravedad específica aparente $Gea = A / (B + A - C)$
Absorción $Ab = (S - A) / A \times 100$

MASA DEL MATRAZ	Mm	149,20	gr
MASA DEL MATRAZ + AGUA	B	649,20	gr
MASA CONJUNTO MATRAZ, AGUA Y MUESTRA	C	954,20	gr
MASA DE MUESTRA SATURADA CON SUPERFICIE SECA	S	501,50	gr
MASA DE LA MUESTRA SECA	A	483,40	gr
GRAVEDAD ESPECÍFICA SECA	Ge	2,46	
GRAVEDAD ESPECÍFICA SATURADA CON SUPERFICIE SECA	Ges	2,55	
GRAVEDAD ESPECÍFICA APARENTE	Gea	2,71	
PORCENTAJE DE ABSORCIÓN	Ab	3,74	

Cuadro 6. Peso unitario del agregado fino

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y ENSAYO DE MATERIALES GEOSOIL			
PROYECTO:	Hormigones de alto desempeño	MINA: Disensa	
MUESTRA:	Número 1	CALCULADO POR:	Diego Muñoz
NORMA ENSAYO:	ASTM C 136	FECHA :	Marzo 2014

PESO UNITARIO DEL AGREGADO FINO

MASA MOLDE	P =	5050,0	gr
VOLUMEN MOLDE	V =	2980,0	cm ³
MASA MOLDE + MATERIAL SUELTO	A =	9903,0	gr
MASA MOLDE + MATERIAL COMPACTO	B =	10314,0	gr
MASA DEL MATERIAL SUELTO	Ms = A - P =	4853,0	gr
MASA DEL MATERIAL COMPACTO	Mc = B - P =	5264,0	gr
PESO UNITARIO SUELTO	Ms / V =	1629	kg / m ³
PESO UNITARIO COMPACTO	Mc / V =	1766	kg / m ³

Cuadro 7. Humedad del agregado fino

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y ENSAYO DE MATERIALES GEOSOIL			
PROYECTO:	Hormigones de alto desempeño	MINA: Disensa	
MUESTRA:	Número 1 - 2	CALCULADO POR:	Diego Muñoz
NORMA ENSAYO:	ASTM C 136	FECHA :	Marzo 2014

HUMEDAD DEL AGREGADO FINO

DESCRIPCIÓN	Muestra 1	Muestra 2
RECIPIENTE	I-11	P-40
PESO DEL RECIPIENTE (g)	34,48	34,33
PESO DEL RECIPIENTE + MUESTRA HUMEDA (g)	197,84	148,97
PESO DEL RECIPIENTE + MUESTRA SECA (g)	190,00	143,49
PESO DEL AGUA (g)	7,84	5,48
PESO SECO (g)	155,52	109,16
% AGUA	5,04	5,02
% AGUA PROMEDIO	5,03	
OBSERVACIONES: Este ensayo se lo realiza antes de realizar una mezcla de hormigón		

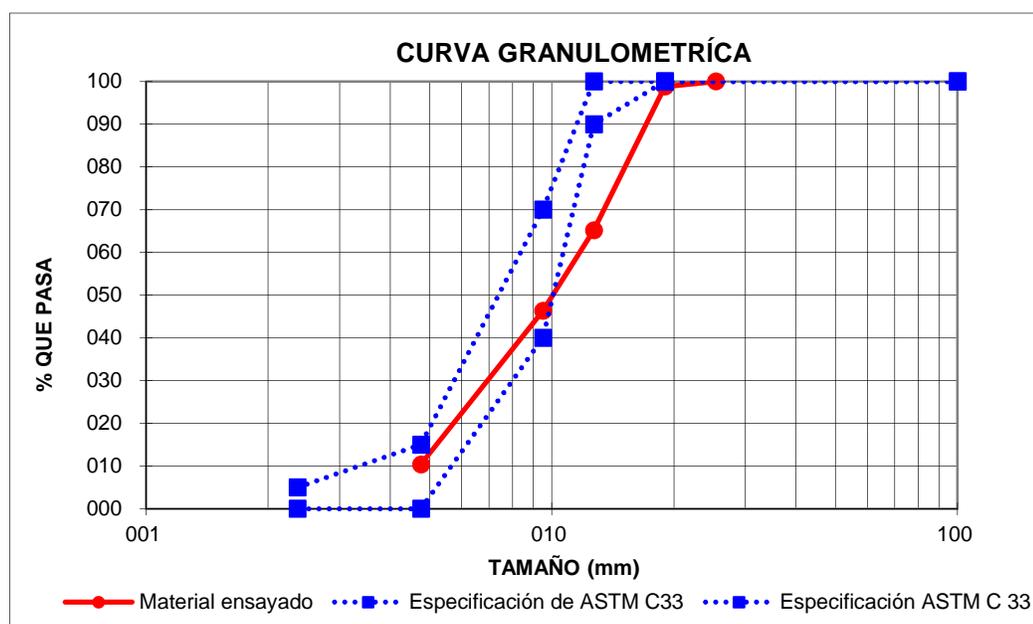
3.5.2 Resultados del agregado grueso.

Cuadro 8. Granulometría del agregado grueso. Muestra 1

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y ENSAYO DE MATERIALES GEOSOL			
PROYECTO:	Hormigones de alto desempeño	MINA: Disensa	
MUESTRA:	Número 1	CALCULADO POR:	Diego Muñoz
NORMA ENSAYO:	ASTM C 136	FECHA :	Marzo 2014

GRANULOMETRÍA DEL AGREGADO GRUESO

MALLA No.	ABERTURA (mm)	MASA RETENIDA PARCIAL	MASA RETENIDA ACUMULADA	PORCENTAJE RETENIDO (%)	PORCENTAJE QUE PASA (%)
1"	25,40	0	0	0,00	100,00
3/4"	19,00	243	243	1,20	98,80
1/2"	12,70	6831	7074	34,79	65,21
3/8"	9,51	3838	10912	53,67	46,33
No.4	4,76	7304	18216	89,60	10,40
Pasa No. 8		2115	2115		
SUMA		20331	20331		

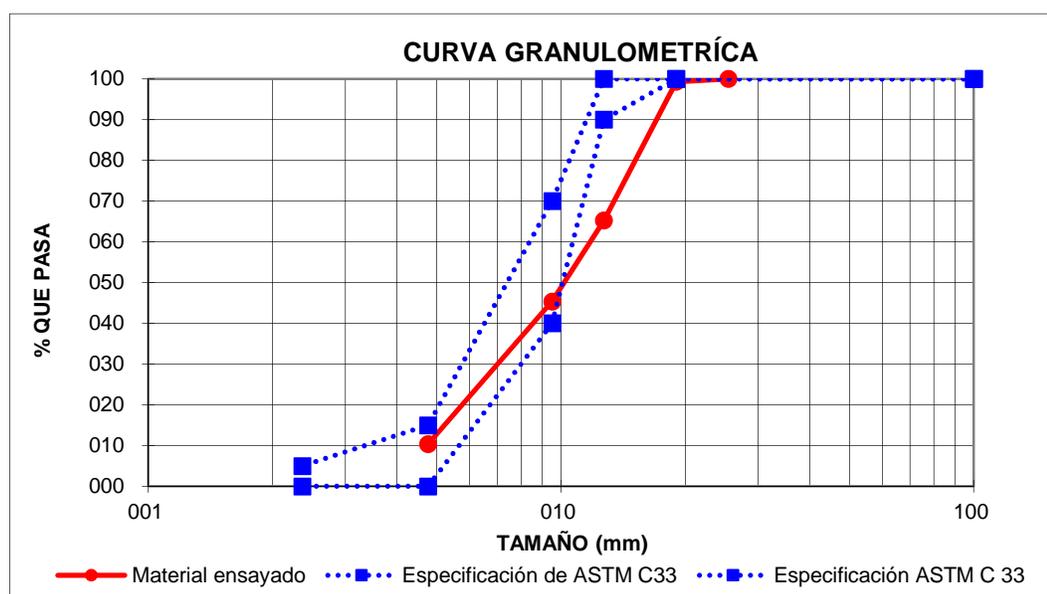


Cuadro 9. Granulometría del agregado grueso. Muestra 2

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y ENSAYO DE MATERIALES GEOSOIL			
PROYECTO:	Hormigones de alto desempeño	MINA:	Disensa
MUESTRA:	Número 2	CALCULADO POR:	Diego Muñoz
NORMA ENSAYO:	ASTM C 136	FECHA :	Marzo 2014

GRANULOMETRÍA DEL AGREGADO GRUESO

MALLA No.	ABERTURA (mm)	MASA RETENIDA PARCIAL	MASA RETENIDA ACUMULADA	PORCENTAJE RETENIDO (%)	PORCENTAJE QUE PASA (%)
1"	25,40	0	0	0,00	100,00
3/4"	19,00	173	173	0,70	99,30
1/2"	12,70	8379	8552	34,76	65,24
3/8"	9,51	4889	13441	54,62	45,38
No.4	4,76	8606	22047	89,60	10,40
Pasa No. 8		2559	2559		
SUMA		24606	24606		

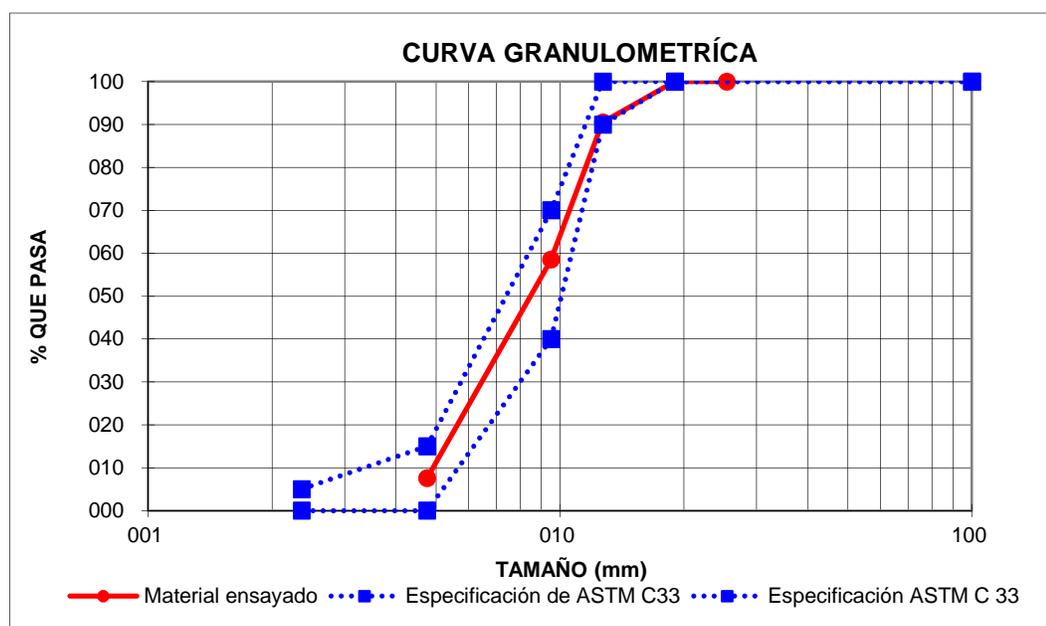


Cuadro 10. Granulometría del agregado grueso. Muestra 3

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y ENSAYO DE MATERIALES GEOSOL			
PROYECTO:	Hormigones de alto desempeño	MINA:	Disensa
MUESTRA:	Número 3	CALCULADO POR:	Diego Muñoz
NORMA ENSAYO:	ASTM C 136	FECHA :	Marzo 2014

GRANULOMETRÍA DEL AGREGADO GRUESO

MALLA No.	ABERTURA (mm)	MASA RETENIDA PARCIAL	MASA RETENIDA ACUMULADA	PORCENTAJE RETENIDO (%)	PORCENTAJE QUE PASA (%)
1"	25,40	0	0	0,00	100,00
3/4"	19,00	0	0	0,00	100,00
1/2"	12,70	1122	1122	9,48	90,52
3/8"	9,51	3786	4908	41,47	58,53
No.4	4,76	6030	10938	92,42	7,58
Pasa No. 8		897	897		
SUMA		11835	11835		



Cuadro 11. Peso específico y absorción del agregado grueso

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y ENSAYO DE MATERIALES GEOSOL			
PROYECTO:	Hormigones de alto desempeño	MINA: Disensa	
MUESTRA:	Número 1 - 2	CALCULADO POR:	Diego Muñoz
NORMA ENSAYO:	ASTM C 136	FECHA :	Marzo 2014

PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN DEL AGREGADO GRUESO

		MUESTRA N° 1	MUESTRA No 2	PROMEDIO
PESO DE LA MUESTRA SECA (g)	A	4916	4911	
PESO DE LA MUESTRA S.S.S. EN EL AIRE (g)	B	5000	5000	
PESO DE MUESTRA S.S.S. EN EL AGUA (g)	C	2974	2976	
PESO ESPECÍFICO BASE SECA	A / (B - C)	2,426	2,426	2,426
PESO ESPECÍFICO S.S.S.	B / (B - C)	2,468	2,470	2,469
PESO ESPECÍFICO APARENTE	A / (A - C)	2,531	2,538	2,535
ABSORCIÓN (%)	((B - A) / A) x 100	1,71	1,81	1,76

Cuadro 12. Gravedad específica y absorción del agregado grueso

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y ENSAYO DE MATERIALES GEOSOL			
PROYECTO:	Hormigones de alto desempeño	MINA: Disensa	
MUESTRA:	Número 1	CALCULADO POR:	Diego Muñoz
NORMA ENSAYO:	ASTM C 136	FECHA :	Marzo 2014

GRAVEDAD ESPECÍFICA Y ABSORCIÓN DEL AGREGADO GRUESO

Gravedad específica seca: $G_e = A / (B - C)$

Gravedad específica saturada con superficie seca: $G_{es} = B / (B - C)$

Gravedad específica aparente: $G_a = A / (A - C)$

Absorción: $A_b = (S - A) / A \times 100$

MASA DE LA MUESTRA SECA	A =	3879,00	g
MASA DE LA MUESTRA SATURADA CON SUPERFICIE SECA	B =	3964,00	g
MASA APARENTE DE LA MUESTRA SATURADA CON SUPERFICIE SECA	C =	2431,00	g
GRAVEDAD ESPECÍFICA SECA	$G_e =$	2,53	
GRAVEDAD ESPECÍFICA SATURADA CON SUPERFICIE SECA	$G_{es} =$	2,59	
GRAVEDAD ESPECÍFICA APARENTE	$G_a =$	2,68	
PORCENTAJE DE ABSORCIÓN	$A_b =$	2,19	%

Cuadro 13. Peso unitario del agregado grueso

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y ENSAYO DE MATERIALES GEOSOL			
PROYECTO:	Hormigones de alto desempeño	MINA:	Disensa
MUESTRA:	Número 1	CALCULADO POR:	Diego Muñoz
NORMA ENSAYO:	ASTM C 136	FECHA :	Marzo 2014

PESO UNITARIO DEL AGREGADO GRUESO

MASA MOLDE	P =	8550,0	g
VOLUMEN MOLDE	V =	9950,0	cm ³
MASA MOLDE + MATERIAL SUELTO	A =	21333,0	g
MASA MOLDE + MATERIAL COMPACTO	B =	22801,0	g
MASA DEL MATERIAL SUELTO	M _s = A - P =	12783,0	g
MASA DEL MATERIAL COMPACTO	M _c = B - P =	14251,0	gr
PESO UNITARIO SUELTO	M _s / V =	1285	Kg / m ³

Cuadro 14. Porcentaje de desgaste del agregado grueso

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y ENSAYO DE MATERIALES GEOSOIL			
PROYECTO:	Hormigones de alto desempeño	MINA:	Disensa
MUESTRA:	Número 1	CALCULADO POR:	Diego Muñoz
NORMA ENSAYO:	ASTM C 136	FECHA :	Marzo 2014

PORCENTAJE DE DESGASTE DEL AGREGADO GRUESO

Porcentaje de desgaste $D = (C / A) * 100$
Masa que pasa el tamiz No. 12 $C = (A - B)$

TIPO DE GRADACIÓN:	A			
MASA INICIAL DE LA MUESTRA	A=	5000		g
MASA RETENIDA EN EL TAMIZ N° 12 DESPUÉS DE 500 REVOLUCIONES	B=	3787		g
MASA QUE PASA EL TAMIZ N° 12	C=	1213		g
PORCENTAJE DE DESGASTE	D=	24		%

Cuadro 15. Humedad natural del agregado grueso

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y ENSAYO DE MATERIALES GEOSOL			
PROYECTO:	Hormigones de alto desempeño	MINA:	Disensa
MUESTRA:	Número 1	CALCULADO POR:	Diego Muñoz
NORMA ENSAYO:	ASTM C 136	FECHA :	Marzo 2014

HUMEDAD NATURAL DEL AGREGADO GRUESO

DESCRIPCIÓN	MUESTRA 1	MUESTRA 2
RECIPIENTE	0	0
PESO DEL RECIPIENTE (g)	60,01	59,61
PESO DEL RECIPIENTE + MUESTRA HUMEDA (g)	492,77	528,99
PESO DEL RECIPIENTE + MUESTRA SECA (g)	492,52	528,86
PESO DEL AGUA (g)	0,25	0,13
PESO SECO (g)	432,51	469,25
% AGUA	0,06	0,03
% AGUA PROMEDIO	0,04	
OBSERVACIONES: Este ensayo se lo realiza antes de realizar una mezcla de hormigón		

3.5.3 Resultados del material cementante.

Cuadro 16. Finura de cemento vía seca

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y ENSAYO DE MATERIALES GEOSOL			
PROYECTO:	Hormigones de alto desempeño	SOLICITADO POR:	Tesis de grado
CEMENTO:	Holcim	ENSAYADO POR:	Diego Muñoz
MUESTRA:	Número 1 - 2	CALCULADO POR:	Diego Muñoz
NORMA ENSAYO:	ASTM C 136	FECHA :	Marzo 2014

FINURA DEL CEMENTO VÍA SECA

CANTIDAD DE CEMENTO UTILIZADO: C
RETENIDO EN EL TAMIZ N° 200: R.T.
PORCENTAJE RETENIDO EN EL TAMIZ N° 200: $P.R.T. = (R.T. \times 100)/C$
FINURA DEL CEMENTO: $F = P.T.R$

FINURA DEL CEMENTO VÍA SECA				
	C (gr)	R.T. (gr)	P.R.T. (%)	F
MUESTRA 1	50,00	1,22	2,44	2,44
MUESTRA 2	50,00	1,25	2,50	2,50
PROMEDIO				2,47

Cuadro 17. Finura del cemento vía húmeda

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y ENSAYO DE MATERIALES GEOSOL			
PROYECTO:	Hormigones de alto desempeño	SOLICITADO POR:	Tesis de grado
CEMENTO:	Holcim	ENSAYADO POR:	Diego Muñoz
MUESTRA:	Número 1 - 2	CALCULADO POR:	Diego Muñoz
NORMA ENSAYO:	ASTM C 136	FECHA :	Marzo 2014

FINURA DEL CEMENTO VÍA HÚMEDA

CANTIDAD DE CEMENTO UTILIZADO: C
RETENIDO EN EL TAMIZ N° 200: R.T.
PORCENTAJE RETENIDO EN EL TAMIZ N° 200: $P.R.T. = (R.T. \times 100)/C$
FINURA DEL CEMENTO: $F = P.T.R$

FINURA DEL CEMENTO VÍA HÚMEDA				
	C (gr)	R.T. (gr)	P.R.T. (%)	F
MUESTRA 1	50,00	1,48	2,96	2,96
MUESTRA 2	50,00	1,42	2,84	2,84
PROMEDIO				2,90

Cuadro 18. Densidad del cemento

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y ENSAYO DE MATERIALES GEOSOL			
PROYECTO:	Hormigones de alto desempeño	SOLICITADO POR:	Tesis de grado
CEMENTO:	Holcim	ENSAYADO POR:	Diego Muñoz
MUESTRA:	Número 1 - 2	CALCULADO POR:	Diego Muñoz
NORMA ENSAYO:	ASTM C 136	FECHA :	Marzo 2014

DENSIDAD DEL CEMENTO

TEMPERATURA DEL AGUA: 23°C ± 2°C
LÍQUIDO UTILIZADO: Gasolina
CANTIDAD DE CEMENTO UTILIZADO: H1
DESPLAZAMIENTO DEL LÍQUIDO CUANDO SE SUMERGUE A BAÑO MARÍA: H2
DESPLAZAMIENTO DEL LÍQUIDO + CEMENTO CUANDO SE SUMERGUE A BAÑO MARÍA: H3
VOLUMEN DEZPLAZADO DEL LÍQUIDO: H4 = H3 - H2
DENSIDAD DEL CEMENTO PORTLAN: = H1 / H4

DENSIDAD DEL CEMENTO PORTLAN					
	H1	H2	H3	H4	
	Gr	cm	cm3	cm3	g/cm3
		3			
MUESTRA1	64,00	0,7	21,10	20,40	3,14
MUESTRA2	64,00	0,6	21,00	20,40	3,14
		0			
PROMEDIO					3,14

Cuadro 19. Tiempo de fraguado del cemento

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y ENSAYO DE MATERIALES GEOSOL			
PROYECTO:	Hormigones de alto desempeño	SOLICITADO POR:	Tesis de grado
CEMENTO:	Holcim	ENSAYADO POR:	Diego Muñoz
MUESTRA:	Número 1 - 2	CALCULADO POR:	Diego Muñoz
NORMA ENSAYO:	ASTM C 136	FECHA :	Marzo 2014

TIEMPO DE FRAGUADO DEL CEMENTO

TEMPERATURA AMBIENTE: 20°C Y 27°C

TEMPERATURA DEL AGUA DE MEZCLADO: 20°C ± 2°C

MUESTRA DE CEMENTO: 650 gr

AGUA: 173 cm³

ENSAYO PARA DETERMINAR EL TIEMPO DE FRAGUADO DEL CEMENTO POR EL APARATO DE VICAT

Tiempo de contacto inicial entre el agua y cemento: **T1**

Tiempo penetración de la aguja (hasta que penetre 25 mm): **T2**

Tiempo hasta cuando la aguja no deja huella visible en la pasta: **T3**

TIEMPO DE FRAGUADO INICIAL: $T_i = T_2 - T_1$

TIEMPO DE FRAGUADO IFINAL: $T_f = T_3 - T_1$

Muestras	T1	T2	T3	Ti	Tf
	Horas	Horas	Horas	Horas	Horas
Muestra 1	12:38:00	15:08:00	18:08:00	2:30:00	5:30:00
Muestra 2	12:38:00	15:13:00	18:15:00	2:35:00	5:37:00
Muestra 3	12:38:00	15:15:00	18:22:00	2:37:00	5:44:00
Promedio en horas				2:34:00	5:37:00
Promedio en minutos				154 min	337 min

3.6. ENSAYOS DEL HORMIGÓN EN SU ESTADO FRESCO

Los ensayos del hormigón en estado fresco permiten conocer las propiedades del hormigón justo en el momento de amasado hasta el inicio de fraguado del cemento.

3.6.1 Muestreo del concreto recién mezclado. ASTM C 172.

Se llama muestreo de concreto recién mezclado a la representación de la mezcla.

3.6.1.1 Equipo

- ❖ Recipiente no absorbente de agua.
- ❖ Palas o cucharetas.

3.6.1.2 Materiales

- ❖ Muestra de concreto en estado fresco.

3.6.1.3 Herramientas

- ❖ Mandil
- ❖ Franela.
- ❖ Mascarilla.
- ❖ Guantes.
- ❖ Gafas.

3.6.1.4 Procedimiento

1. Se toma dos o más porciones de mezcla, durante la descarga del hormigón en estado de amasado. Se lo debe hacer en un tiempo no mayor a 15 minutos. Esta mezcla debe ser combinada continuamente para que no pierda su humedad.

3.6.2 Temperatura del concreto fresco. ASTM C 1064

La temperatura del concreto depende del calor de hidratación liberado por el cemento, la energía de amasado y el medio ambiente. Además depende del calor que aporten los materiales o componentes del hormigón.

3.6.2.1 Equipo

- ❖ Termómetro, apreciación de ± 0.5 °C.
- ❖ Recipiente metálico.
- ❖ Cuchareta

3.6.2.2 Materiales

1. Muestra de concreto en estado fresco recién mezclado.

3.6.2.3 Utensilios

- ❖ Mandil
- ❖ Franela.
- ❖ Mascarilla.
- ❖ Guantes.
- ❖ Gafas.

3.6.2.4 Procedimiento

1. Colocar la muestra del concreto en un recipiente metálico, no absorbente.
2. Con el termómetro de exactitud $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$, colocar dentro de la muestra cubriendo el sensor con un mínimo de 3 pulgadas ó 75 mm, en todas las direcciones.
3. Tomar la temperatura después de un tiempo mínimo de 2 minutos o hasta que la lectura se estabilice.

3.6.3 Revenimiento del concreto recién mezclado. ASTM C 143

Este ensayo determina el asentamiento del concreto en estado fresco. Esto puede variar dependiendo de la cantidad de agua que tenga la mezcla.

3.6.3.1 Equipo

- ❖ Cono de Abrams. Molde no reactivo al cemento de espesor menor a 1.5 mm en forma de un cono trucado. Con diámetros interiores de 200 mm en la base, 100 mm en la parte superior y una altura de 300 mm. La base y la parte superior paralelas entre si y perpendicular al eje longitudinal del cono provisto de dos estribos para apoyar los pies y asas.
- ❖ Varilla de compactación. Es una varilla recta, lisa, de acero, de 16 mm de diámetro y aproximadamente 600 mm de longitud con extremos redondeados.

3.6.3.2 Materiales

- ❖ Mezcla de concreto en estado fresco.

3.6.3.3 Utensilios

- ❖ Mandil.
- ❖ Franela.
- ❖ Flexómetro.
- ❖ Recipiente metálico.
- ❖ Cucharón.
- ❖ Mascarilla.
- ❖ Guantes.
- ❖ Gafas.

3.6.3.4 Procedimiento

1. Humedecer el cono y la base de apoyo.
2. Tomar la muestra del hormigón en un recipiente metálico no absorbente de agua.
3. Colocar firmemente en los estribos del molde y con la ayuda de un cucharón metálico distribuirla uniformemente en el cono llenando en tres capas. Cada capa de ser aproximadamente un tercio del volumen del cono, en forma espiral de adentro hacia afuera. Compactar cada una con 25 penetraciones utilizando la varilla de compactación; para la capa inferior, es necesario inclinar la varilla ligeramente y dar aproximadamente la mitad de las penetraciones cerca del perímetro y luego continuar verticalmente.
4. Al llenar la capa superior, mantener un excedente de hormigón sobre la parte superior del molde antes de empezar la compactación.
5. Después de compactar la capa superior, humedecer la varilla de compactación y enrasar la superficie del hormigón rodando la varilla de compactación sobre el borde superior del molde.
6. Continuar presionando el molde firmemente hacia abajo. Retirar el exceso de mezcla del área que rodea la base del cono. Inmediatamente retirar el molde levantándolo cuidadosamente en dirección vertical en un tiempo de 5 ± 2 segundos.
7. Medir el asentamiento; que es la diferencia vertical entre la parte superior del molde y el centro original desplazado de la superficie superior del hormigón.
8. Todo este proceso tiene un tiempo máximo de 2 minutos y medio.

3.6.4 Peso unitario y volumen producido. ASTM C 138

Este ensayo determina el peso del hormigón por metro cúbico, además nos indica el rendimiento del hormigón.

3.6.4.1 Equipo

- ❖ Balanza.
- ❖ Varilla compactadora. Es una varilla recta, lisa, de acero, de 16 mm de diámetro y aproximadamente 600 mm de longitud con extremos redondeados.
- ❖ Recipiente metálico cilíndrico, para peso unitario.

3.6.4.2 Materiales

- ❖ Concreto fresco.

3.6.4.3 Utensilios

- ❖ Mandil
- ❖ Franela.
- ❖ Mascarilla.
- ❖ Guantes.
- ❖ Gafas.
- ❖ Mazo de goma.

3.6.4.4 Procedimiento

1. Se determina el peso del recipiente humedecido y vacío en Kg.
2. Se calcula el volumen del recipiente metálico cilíndrico.
3. Con la ayuda del cucharón llenar el recipiente metálico de concreto fresco, en tres capas iguales, varillando y golpear con el martillo de goma.
4. La última capa debe sobrepasar el volumen del cilindro para ser enrasado.
5. Limpiar los filos del recipiente y pesar el recipiente más concreto completamente lleno.

3.6.5 Contenido de aire del concreto fresco, método de presión, ASTM C 231

Este ensayo determina la cantidad de aire que puede tener un hormigón en estado fresco recién mezclado. Además este ensayo no será aplicable en hormigones que utilicen agregados muy porosos.

3.6.5.1 Equipo

- ❖ Medidor tipo B. Recipiente metálico de forma cilíndrica con una sección superior que sirve para tapar este recipiente. Su objetivo principal es igualar el volumen de aire y presión conocida con el volumen desconocido de aire de la muestra de concreto. La forma en que trabaja se conoce a través de la aguja de presión que está calibrada en términos de porcentajes de aire de presión.

- ❖ Varilla de compactación. Es de acero con una longitud no menor a 40 cm con extremos redondeados y diámetro de 16mm.
- ❖ Placa metálica rectangular, espesor 6 mm.
- ❖ Mazo de goma. Con cabeza de goma, peso aproximadamente 1.25 ± 0.50 lb (600 ± 200 gramos).

3.6.5.2 Materiales

- ❖ Muestra de concreto fresco de 900 gr.

3.6.5.3 Utensilios

- ❖ Mandil
- ❖ Franela.
- ❖ Mascarilla.
- ❖ Guantes.
- ❖ Gafas.
- ❖ Cuchareta metálica
- ❖ Dispensador de agua

3.6.5.4 Procedimiento

1. Seleccionar una muestra de 900 gramos de hormigón recién mezclado.
2. Con una franela humedecer el interior del tazón y colocarlo en una superficie plana nivelada.
3. Con la ayuda de una cuchareta metálica llenar el recipiente con tres capas de igual volumen compactando cada capa 25 penetraciones con los extremos

redondeados de la varilla, distribuyendo uniformemente las penetraciones en toda la sección; sin que se toque el fondo del recipiente.

4. Golpear firmemente los lados del recipiente de 10 a 15 veces con el mazo distribuidos por todo el contorno del molde después de compactar cada capa, para evitar que las burbujas de aire queden atrapadas en el interior de la muestra.
5. Enrasar el hormigón utilizando la placa metálica apoyada sobre el borde superior del molde; y luego limpiar el exceso de muestra del borde del recipiente.
6. Limpiar los excesos del borde cilíndrico y humedecer el interior de la cubierta antes de acoplarla con las mordazas a la base.
7. Las mordazas se sujetan dos a la vez y en cruz.
8. Abrir las llaves de purga.
9. Cerrar la válvula principal de aire y abrir las dos llaves de purga a través de la cubierta.
10. Inyectar agua a través de una de las llaves de purga hasta conseguir que el exceso se derrame por la otra salida.
11. Continuar inyectando agua por la llave de purga, mientras mueve y golpea el medidor para asegurarse que todo el aire sea expulsado.
12. Cerrar la válvula de escape de aire. Bombear aire dentro de la cámara hasta que el manómetro este en la línea de presión inicial.
13. Esperar unos segundos para que el aire comprimido llegue a una temperatura normal y se estabilice la lectura de presión.
14. Ajustar el manómetro en la línea de presión inicial por bombeo o deje escapar aire si es necesario dando ligeros golpes con la mano, hasta que la lectura del manómetro este en cero.
15. Cerrar las llaves de purga.
16. Abrir la válvula principal entre la cámara de aire y el molde. Golpear con la mano ligeramente el manómetro para estabilizar la lectura.

17. Cerrar la válvula de aire y abrir las llaves de purga para descargar la presión totalmente para levantar la sección superior del molde cilíndrico metálico.
18. Realizar una tabla con datos obtenidos del proceso de ensayo de muestras.
19. Limpiar y secar el equipo y accesorios utilizados.

3.6.6 Contenido de aire del concreto recién mezclado, método volumétrico, ASTM C 173.

Determina el contenido de aire del concreto fresco con cualquier tipo de agregado, sean estos densos, celulares, o livianos.

3.6.6.1 Equipo

- ❖ Medidor de aire, recipiente cilíndrico con un diámetro de 1 a 1,25 veces su altura, con un borde en la parte superior, con capacidad de 2 litros. La sección superior debe tener una capacidad mayor a la del recipiente de 20 %, empaque flexible y gancho o abrazaderas para sujetarse. Las dos piezas deben sellarse herméticamente. La sección superior debe tener un cuello de vidrio o de plástico transparente, graduado en incrementos de no más de 0,5%, desde 0 en la parte superior, hasta 9% o más, del volumen total del recipiente. Las graduaciones permitirán una exactitud de $\pm 0,1\%$ por volumen del recipiente. El extremo superior del cuello debe tener un tapón de rosca para que se cierre herméticamente cuando se invierta o se ruede el medidor.

- ❖ Taza graduada, es de metal o plástico con capacidad a ser graduada en incrementos iguales a $1 \pm 0.04\%$ del volumen del recipiente del medidor de aire. La taza calibrada sólo será usada para agregar el agua cuando el contenido de aire del hormigón exceda el 9% o el rango calibrado de la unidad de medida.
- ❖ Jeringa de plástico de 50 ml.
- ❖ Varilla compactadora. Esta varilla puntas redondeadas de $5/8 \pm 1/16$ pulgadas (16 ± 2 mm), con una longitud de 300 mm, es de polietileno material de alta densidad.
- ❖ Mazo de goma, con cabeza de hule o cuero, de 600 ± 200 gramos de peso.

3.6.6.2 Materiales

- ❖ Muestra de concreto fresco.
- ❖ Alcohol isopropílico.

3.6.6.3 Utensilios

- ❖ Mandil.
- ❖ Franela.
- ❖ Mascarilla.
- ❖ Guantes.
- ❖ Gafas.
- ❖ Cuchareta metálica.
- ❖ Placas metálicas.

3.6.6.4 Procedimiento

1. Humedecer el interior del recipiente con una franela; utilizando la pala llenar el molde con la mezcla de hormigón fresco, colocando en dos capas de igual espesor.
2. Compactar cada capa con 25 penetraciones de la varilla compactadora, las penetraciones deben ser aproximadamente 25mm sobre la capa anterior, en forma espiral de adentro hacia afuera.
3. Después de compactar cada capa, golpear los lados del recipiente de 10 a 15 veces con el mazo, para llenar los vacíos y liberar las burbujas de aire.
4. Con una placa metálica enrasar el hormigón excedente, apoyándola sobre el borde superior del molde y pasarla varias veces hasta nivelarla totalmente.
5. Humedecer la parte superior del aparato incluyendo el empaque.
6. Acoplar la sección superior, introducir el embudo, añadir al menos (0.5 litros) de agua, agregar la cantidad de alcohol isopropílico.
7. Continuar añadiendo agua hasta que éste aparezca en el cuello graduado de la sección superior. Retirar el embudo hasta que la parte del menisco coincida con la marca 0.
8. Acoplar la tapa de la sección superior, apretando lo suficiente para lograr un cierre hermético.
9. Alternadamente, invertir y agitar el medidor de aire en posición horizontal por un minuto de 45 segundos para desprender el hormigón de la base. El medidor no debe permanecer invertido por más de 5 segundos.
10. Mantener una mano en el cuello del medidor y con la otra agitar el medidor de aire con un movimiento semicircular. Este paso se debe realizar en un periodo de 1 minuto.
11. Si el medidor de aire presenta fugas durante los procesos de inversión y de movimiento semicircular, hay que realizar una nueva prueba.
12. Colocar el medidor en posición vertical, para aflojar la tapa y permitir que el aire suba hasta que se estabilice el nivel del líquido, se considera así cuando

este no ha cambiado en más del 25% de aire en un periodo de 2 minutos, si el tiempo que se demora en estabilizar pasa de los 5 minutos hay que desechar para realizar una nueva.

13. Cuando el proceso de rotación semicircular se ha realizado una sola vez se debe tomar en cuenta lo siguiente:
 - 13.1. Leer el nivel del líquido con una precisión de 0.25%.
 - 13.2. Registrar la lectura inicial del medidor, acoplar la tapa y repetir los pasos 10 al 12.
14. Cuando el proceso de rotación semicircular se ha realizado dos veces hay que hacer:
 - 14.1. Lea el nivel del líquido con una precisión de 0.25%.
 - 14.2. Si la segunda lectura difiere en más de 0.25% con respecto a la lectura inicial, registrar esta lectura como una nueva lectura inicial. Repetir los pasos 10 al 12.
 - 14.3. Si la segunda lectura no cambió en más de 0.25%, registrar el valor como la lectura final del medidor.
15. Cuando el proceso de rotación semicircular se ha realizado tres veces:
 - 15.1. Leer el nivel del líquido con una precisión de 0.25%.
 - 15.2. Si la tercera lectura no cambió en más de 0.25%, registrar el valor como la lectura final del medidor.
16. Desacoplar el aparato, examinar el recipiente y verificar que no existan porciones de muestra no distribuidas en la base.
17. Limpiar y secar los equipos usados.

3.6.7 Elaboración y curado de especímenes de hormigón para pruebas de compresión, ASTM C 31

Es la toma de muestras representativas de una mezcla de hormigón, en moldes cilíndricos metálicos estándares de 15x30cm para ser llevadas a laboratorio, ser ensayadas y comprobar sus propiedades.

3.6.7.1 Equipo

- ❖ Moldes metálicos cilíndricos de 15x30 cm.
- ❖ Varilla de compactación. Varilla de sección recta, con extremos redondeados con puntas esféricas, diámetro de 16 mm, longitud de 600 mm y tolerancia de compactación de 4 mm.
- ❖ Cucharón metálico.
- ❖ Recipiente metálico, carretilla.
- ❖ Piscina de curado.
- ❖ Mazo. Se debe utilizar mazo de cabeza de caucho, con una masa de 0.6Kg±0.2Kg.

3.6.7.2 Materiales

- ❖ Muestra de concreto fresco.
- ❖ Aceite o grasa

3.6.7.3 Utensilios

- ❖ Mandil
- ❖ Franela.

- ❖ Mascarilla.
- ❖ Guantes.
- ❖ Gafas.
- ❖ Cucharón metálico.

3.6.7.4 Procedimiento

1. Ajustar los moldes cilíndricos metálicos y dar una capa ligera de grasa.
2. Colocar los moldes en una superficie lisa nivelada.
3. Con un cucharón metálico distribuir uniformemente la muestra en el molde en tres capas de igual volumen; en la última capa agregar la cantidad de hormigón suficiente para que el molde quede lleno después de la compactación.
4. Compactar cada capa con 25 penetraciones de la varilla usando la punta semiesférica en forma espiral de adentro hacia afuera. Compactar la segunda y tercera capa, penetrando 25mm en la capa anterior.
5. Después de compactar cada capa, golpear los lados del molde de 10 a 15 veces con el mazo en sentidos contrarios.
6. Con la varilla de compactación quitar el exceso de la mezcla y si es necesario se le da un acabado con un enrasador metálico.
7. Una vez concluidas las tomas de muestras, transportarlas a un lugar donde deberán permanecer 24 horas si, al ser transportadas la parte superior de las probetas fuesen dañadas hay que darles un nuevo acabado.
8. Transcurridas las 24 ± 8 horas, desmoldar las probetas.
9. Una vez desmoldadas las probetas colocarlas en la piscina de curado, cubiertas totalmente de agua a una temperatura de $23 \pm 1.7^{\circ}\text{C}$.

3.7. Ensayos del hormigón en estado de endurecimiento

Los ensayos en estado de endurecimiento es cuando el hormigón ya ha ganado una resistencia ya sea esta temprana o a los 28 días.

3.7.1 Refrendado de probetas cilíndricas de hormigón, ASTM C 617- 98.

Esta práctica cubre los procedimientos, materiales y equipos necesarios para capear cilindros de concreto fresco con pasta de cemento y cilindros de concreto endurecido y núcleos de concreto con pasta de yeso de alta resistencia o mortero de azufre.(slideshare(mfvalarez/@gmail.com)).

3.7.1.1 Equipo

- ❖ Platos de refrentado, de metal con un grosor de 11 mm, es usado como base en el que se asienta la probeta de hormigón para ser deslizada hacia arriba, el diámetro del plato será 25mm más grande que el diámetro del espécimen como mínimo y la superficie de trabajo no se debe desviar en la planeidad en más de 0.05mm. La superficie de metal no debe tener hendiduras o rajaduras más grandes que 0.25mm de profundidad o 32mm² de superficie.
- ❖ Dispositivo de alineación, que permite que el espécimen no se aleje de su eje axial de perpendicularidad en más de 0.5° o su equivalente a 3.2 mm en 305mm.
- ❖ Recipiente calentador de azufre.
- ❖ Estufa.

3.7.1.2 Material

- ❖ Capping de azufre, listo para calentar y utilizar.
- ❖ Aceite.

3.7.1.3 Utensilios

- ❖ Mandil
- ❖ Franela.
- ❖ Mascarilla.
- ❖ Guantes.
- ❖ Gafas.
- ❖ Escuadra metálica
- ❖ Brocha.

3.7.1.4 Procedimiento

1. Antes de comenzar con el procedimiento, verificar la distancia de cualquier punto con respecto al punto más alto de la cara del espécimen no debe exceder en más de 3mm en la vertical, si esta excede deberá ser cortado y pulido.
2. Preparar el mortero de azufre por calentamiento a 130 °C aproximadamente.
3. Chequear que el plato de refrendado se encuentre limpio y libre de rugosidades.
4. Aceitar ligeramente el plato de refrendado y las caras de los especímenes a ser refrendadas.
5. Inmediatamente derretido el azufre batir antes de colocar en el plato.

6. Rápidamente colocado el mortero de azufre en el plato colocar el espécimen de hormigón y sostener por unos segundos hasta que este endure.
7. Chequear que la capa de azufre esté completamente pegada al espécimen y no contenga espacios vacíos, además que esté completamente plano.
8. Este mortero de azufre o capping no debe ser reusable en cilindros de resistencias mayores a 350 Kg/cm^2 .

3.7.2 Uso de almohadillas de neopreno en la determinación del esfuerzo a la compresión en cilindros de concreto ASTM C 1231

Este ensayo se lo realiza en especímenes de 15x30 cm y remplace al capeado por el uso de neopreno, este método es aceptado en hormigones que su esfuerzo no sea menor a 100 Kg/cm^2 y en hormigones que no superen los 850 Kg/cm^2 . (slideshare(mfvalarez/@gmail.com)).

3.7.2.1 Equipo

- ❖ Almohadillas elastoméricas, con espesor $13 \pm 2 \text{ mm}$, diámetro no menor a 2mm al diámetro interior del anillo de retención.
- ❖ Anillos de retención, fabricados de metal con diámetro y espesor necesario para alojamiento de almohadilla.

3.7.2.2 Materiales

- ❖ Probetas de hormigón de 15x30 cm.

3.7.2.3 Utensilios de laboratorio

- ❖ Mandil
- ❖ Franela.
- ❖ Mascarilla.
- ❖ Guantes.
- ❖ Gafas.
- ❖ Escuadra metálica
- ❖ Brocha.

3.7.2.4 Procedimiento

1. El uso de neopreno está permitido en una o ambas caras del espécimen de hormigón.
2. Examine los neoprenos por daño o desgaste excesivo, si es el caso reemplace el neopreno que presente fisuras que exceden de los 10 mm en longitud, sin importar su profundidad.
3. Inserte el neopreno en los platos retenedores antes de colocar el cilindro.
4. Centre el cilindro en el neopreno y retenedor y ubíquelo en la base de la máquina de ensayo, alineado sus ejes cuidadosamente con el bloque base de la máquina.
5. Aplique carga hasta un 10% de la resistencia aproximadamente del cilindro y verifique la verticalidad del cilindro en la máquina de ensayo con una tolerancia de 3,2mm en 30 cm, si no cumple retirar la carga y centrar nuevamente.

3.7.3 Resistencia a la compresión de especímenes de hormigón. NTE IENE 1 573

Este ensayo es un control de calidad de la dosificación del hormigón, cuyos resultados nos permiten conocer si estas mezclas son aplicables para las diversas áreas de la construcción. (Ibaquingo, 2012)

Este ensayo aplica una carga axial en una de las caras del espécimen en prueba a una velocidad definida, hasta la falla de la probeta de hormigón.(Ibaquingo, 2012).

3.7.3.1 Equipo

- ❖ Máquina de compresión, compuestas de dos placas esféricas cuyos diámetros deben ser mayores en un 3% al diámetro de la probeta, así como un aplaca esférica central debe coincidir con la superficie de la cara contacto dentro de una tolerancia de $\pm 5\%$ del radio de la esfera. El diámetro de la esfera debe ser al menos el 75% del diámetro de la probeta a ser ensayado.
- ❖ Balanza.
- ❖ Pie de rey.

3.7.3.2 Materiales

- ❖ Probetas de hormigón, ya sea con almohadillas de neopreno o la colocación del capping en las probetas en ambas caras de ensayo.

3.7.3.3 Utensilios

- ❖ Mandil
- ❖ Franela.

- ❖ Mascarilla.
- ❖ Guantes.
- ❖ Gafas.
- ❖ Regla de medición
- ❖ Brocha

3.7.3.4 Procedimiento

1. Sacar las probetas de hormigón de la cámara de curado o piscina.
2. Pesar las probetas, con la ayuda del pie de rey tomar su diámetro y con la regla de medida determinar su altura.
3. Limpiar las caras de los anillos de retención y colocar las almohadillas de neopreno de compresión, en que se asentara la cara de la probeta de hormigón.
4. Colocar la probeta con sus anillos de retención y almohadillas de neopreno en la máquina de compresión.
5. Ajustar los cabezales de la máquina de compresión y aplicar carga hasta que el indicador de carga decrezca, e inicie la fractura de la probeta.
6. Anotar la carga que resistió la probeta de ensayo y analizar los resultados.

3.7.4 Módulo de elasticidad en cilindros sometidos a compresión.

El módulo de elasticidad está representado con la letra E mayúscula, se la define como la relación de esfuerzo normal y la deformación correspondiente para esfuerzos de tensión y compresión por debajo del límite de proporcionalidad de un material.

Según, Borja León 2010, este método determina la línea del módulo de elasticidad de Young de cilindros de hormigón moldeados bajo una carga longitudinal que produce en la probeta cilíndrica de hormigón un esfuerzo de compresión. Puede ser usado para evaluar miembros estructurales de hormigón armado y de hormigón simple. El valor de elasticidad obtenido será usualmente menor que el módulo derivado de ensayos cuya velocidad de carga es mayor, tales como los que se usan para obtener índices dinámicos y sísmicos y serán mayores que valores obtenidos bajo la aplicación de una velocidad menor de carga.

3.7.4.1 Equipo

- ❖ Máquina de ensayo a compresión, debe tener la capacidad suficiente de reunir las condiciones de velocidad de cargas establecidas.
- ❖ Anillos giratorios.
- ❖ Compresómetro $A = \pm 0,001\text{mm}$
- ❖ Deformímetro.
- ❖ Balanza.
- ❖ Pie de rey.

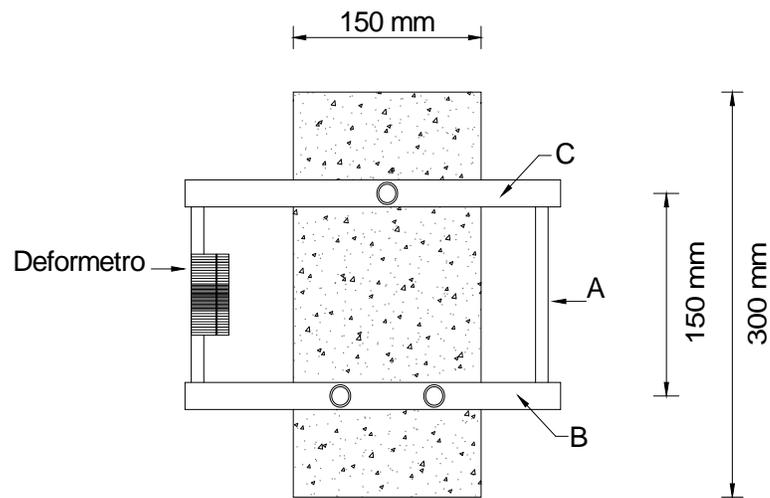


Figura 5. Compresómetro.

Fuente: Módulo de elasticidad

3.7.4.2 Materiales

- ❖ Probetas de hormigón de 150x300 mm.

3.7.4.3 Utensilios

- ❖ Mandil
- ❖ Franela.
- ❖ Mascarilla.
- ❖ Guantes.
- ❖ Gafas.
- ❖ Regla de medición
- ❖ Brocha.

3.7.4.4 Procedimiento de ensayo

1. Se toma las medidas de la probeta, peso, altura y diámetro.
2. Ensayar una probeta en la máquina de compresión, para determinar su resistencia y en la probeta de prueba de elasticidad solamente cargar el 50% de la resistencia total.
3. Señalar marcas de 7,5cm de cada cara, donde irán los tornillos ajustables del compresómetro.
4. Colocar el compresómetro en la probeta de hormigón, teniendo cuidado de poner los tornillos en las marcas señaladas y de que la circunferencia de cada uno los anillos giratorios estén a la misma distancia de la cara del cilindro, además de cuidar la alineación horizontal y vertical del aparato.
5. Colocado el compresómetro, retirar las barras aseguradoras y comprobar que el deformímetro esté marcado la deformación del cilindro.
6. Se colca cauchos de neopreno para evitar que la máquina y la probeta tengan un contacto directo.
7. Una vez que la máquina a empesador a cargar leer las deformaciones producidas cada cierto intervalo de carga, previamente estipulada.
8. Anotar los intervalos de las deformaciones leídas y graficar los resultados.

3.7.4.5 Procedimiento de Cálculos

Con los datos obtenidos de carga y descarga, calcular el esfuerzo y la deformación unitaria producidos.

$$\varepsilon = \frac{e}{L}$$

Dónde:

= Deformación unitaria.

e = Deformación longitudinal producida en cm.

L = Longitud entre tornillos del compresómetro en cm.

$$\sigma = \frac{P}{A}$$

= Esfuerzo de compresión.

P = carga producida en Kg.

A = área de la sección transversal en cm².

Con los datos de esfuerzo y deformación unitaria se traza el gráfico de esfuerzo vs deformación unitaria, y se determina el límite de proporcionalidad y la zona de la curva bajo este esfuerzo será la zona elástica. Se obtiene su pendiente y esta será su módulo de elasticidad.

$$E = \frac{\sigma_1}{\epsilon_1}$$

Dónde:

E = Módulo de elasticidad.

σ_1 = Límite de proporcionalidad en Kg/cm².

ϵ_1 = Deformación unitaria en el límite de proporcionalidad.

Generalmente el límite de proporcionalidad está a un 50% de la carga máxima de rotura es por eso que también se calcula de la siguiente manera:

$$E = \frac{\sigma_2 - \sigma_1}{\epsilon_2 - 0.000050}$$

Dónde:

E = Módulo de elasticidad en Kg/cm².

σ_1 = Esfuerzo correspondiente a la deformación unitaria $\epsilon_1 = 0.00005$.

σ_2 = Esfuerzo correspondiente al 50% de la carga última.

ϵ_2 = Deformación unitaria correspondiente al esfuerzo σ_2 .

$$E = \frac{\sigma_1}{\epsilon_1}$$

Dónde:

E = Módulo de elasticidad en Kg/cm^2 .

f_1 = Límite de proporcionalidad en Kg/cm^2 .

ϵ_1 = Deformación unitaria en el límite de proporcionalidad

Pero para el cálculo del módulo de secante además de utilizar la carga correspondiente al 50% de la carga máxima y se considera una deformación unitaria de 0.002 para el esfuerzo máximo, por lo cual se calcula el valor de E y el valor del módulo de elasticidad con las siguientes fórmulas:

$$E = \alpha \cdot \sqrt{f'c}$$

Dónde:

E = Módulo de elasticidad en Kg/cm^2 .

α = coeficiente del módulo de elasticidad.

$$\alpha = \frac{250 \times \epsilon_2 \times \sqrt{f'c}}{\epsilon_1}$$

Dónde:

$f'c$ = Esfuerzo máximo de compresión en Kg/cm².

1 = Deformación unitaria correspondiente al esfuerzo $f'c$.

2 = Deformación unitaria correspondiente al esfuerzo $0.5f'c$.

3.8. Materiales necesarios para la elaboración de hormigones de alto desempeño

Son los materiales que se utilizan en la elaboración de este tipo de hormigones con resistencias altas. En esta tesis se realizaron mezclas con diferentes proporciones de materiales pétreos, además se dosificó con varias relaciones agua cemento, llegando a obtener resultados favorables con la relación a/c de 0.26 con la cual se obtuvo lo requerido en esta tesis, que es llegar a obtener hormigones con resistencias a la compresión igual o mayor a 600 Kg/cm².

A continuación se presentan los materiales que se utilizan para la obtención de HDA.

1. Material cementante



Figura 6. Cemento portland.

2. Aditivo mineral.



Figura 7. Imbrita machacada, molida y pasante del Tamiz N° 200.

3. Agregado fino.



Figura 8. Arena con MF= 2.71.

4. Agregado grueso.



Figura 9. Ripio con TMN =1/2''

5. Agua de mezclado.



Figura 10. Agua potable.

3.9. Proceso de mezcla manual de hormigones de alto desempeño HAD.

A continuación se da a conocer la manera de mezclado a mano de los elementos que forman parte del HAD.

1. Mezcla manual de los dos materiales más finos para esta dosificación.



Figura 11. Cemento hidráulico y aditivo mineral.

2. Mezcla manual del numeral (1) con el agregado fino.



Figura 12. Cemento, imbrita y arena.

3. Mezcla manual del numeral (2) con el agregado grueso.



Figura 13. Cemento, imbrita, arena y ripio.

4. Una vez mezclado los elementos sólidos que forman parte del diseño, agregar el agua procurando la hidratación completa de los materiales.



Figura 14. Cemento, imbrita, arena, ripio y agua.

5. Mezcla total del HAD.



Figura 15. Mezcla aparentemente seca.

6. Medición de la temperatura de la mezcla de HAD.



Figura 16. Temperatura de la mezcla 22.1°C.

3.10. Procedimiento desde la toma de muestra hasta su rotura a la compresión

Para la elaboración de HAD se usa un método de compactación especial por tener una mezcla con baja relación agua/cemento es decir una mezcla seca aparentemente a la vista.

Este método de compactación ayudará a obtener el agua superficial natural que tienen los agregados pétreos. Esta humedad natural ayuda a hidratar el material cementante y todos los materiales utilizados, obteniendo una mezcla de hormigón homogénea.

Con este método de compactación se reduce los vacíos de los especímenes de prueba o sea el contenido de aire del hormigón. Por esta razón se hace innecesaria la utilización de ensayos de contenido de aire.

A continuación se presentan los pasos para lograr hormigones de alto desempeño sin la utilización de aditivos químicos.

1. Se seleccionan los cilindros a utilizar, los cuales deben estar en buenas condiciones. Se ajusta adecuadamente y engrasa para que al momento de desmoldar no se maltraten los especímenes de prueba y sea fácil su desmoldado.



Figura 17. Selección de moldes metálicos.



Figura 18. Ajuste de los cilindros metálicos.

2. Inmediatamente al finalizar el proceso de mezclado que conforman parte del HAD, se tomará su asentamiento utilizando el cono de Abrams.



Figura 19. Asentamiento del HAD sin aditivos químicos.

3. Llenar la mezcla de HAD en moldes metálicos cilíndricos de 6x12 pulgadas. El llenado debe darse en tres capas iguales y en cada capa se debe compactar con la varilla de compactación 25 veces. Posteriormente se golpea alrededor del molde con el martillo de goma de 12 a 15 veces.



Figura 20. Mezcla previa antes de colocación en los moldes.



Figura 21. Colocación de mezcla de hormigón en los moldes.



Figura 22. Compactación de la mezcla de hormigón.



Figura 23. Golpes con el martillo de goma.

4. En hormigones de alto desempeño sin aditivos químicos se aplica un método de compactación adicional al varillado. Este método se lo realiza con el martillo de Proctor Modificado. Con el martillo de 2 pulgadas compactar 25 veces y con el martillo de 12 pulgadas compactar 60 veces cada una de las tres capas hasta llenar el molde completamente. Esto logra que el agua superficial de los agregados salga y forme parte del agua de hidratación del hormigón, disminuyendo la porosidad y contenido de vacíos. La última capa se la enraza y se procura dar un acabado uniforme a la cara del cilindro. Posteriormente se lo almacena por un tiempo de 24 horas para luego ser desmoldado. A continuación se coloca en la cámara de curado rápido o piscina de curado, donde permanecerá por tres días o 28 días respectivamente antes de ser sometidos a cargas de compresión.



Figura 24. Compactación utilizando el martillo de Proctor Modificado de 2”.



Figura 25. Compactación utilizando el martillo de Proctor Modificado de 12”.



Figura 26. Enrasado del cilindro metálico.



Figura 27. Lugar de reposo del HAD durante más de 24 horas.



Figura 28. Desencofrado del HAD.



Figura 29. Cámara de curado rápido.



Figura 30. Colocación del espécimen en la piscina de curado.

5. Posteriormente se retira el espécimen de HAD de la piscina de curado. Se toma las medidas necesarias que se utilizarán en el ensayo de compresión. Tener en cuenta que se debe medir durante la compresión la deformación del hormigón.



Figura 31. Medición de altura del espécimen de HAD.



Figura 32. Medición del diámetro del espécimen de HAD.



Figura 33. Medición del peso del espécimen de HAD.



Figura 34. Introducción de la información de la probeta de HAD en la máquina de compresión simple.



Figura 35. Colocación de la probeta HAD con capping en la máquina de compresión simple.



Figura 36. Colocación de la probeta AHD con almohadillas de neopreno en la máquina de compresión simple.



Figura 37. Aplicación de carga en la probeta de HAD.



Figura 38. Probeta de HAD después del ensayo a compresión.

3.11. Tipos de falla que se presentan en los especímenes de hormigón

Los resultados de las pruebas de resistencia de cilindros de concreto se usan como base para la aceptación del concreto premezclado cuando se especifica un requisito de resistencia. Los cilindros son moldeados a partir de una muestra de concreto fresco, curado en condiciones estándares y probado a una edad particular según se indique en las especificaciones. Usualmente el tiempo donde el hormigón alcanza su resistencia máxima es a los 28 días. Los procedimientos deben ser de acuerdo a las normas ASTM. El promedio de resistencia de un conjunto de dos o tres cilindros hechos de la misma muestra de concreto y probados a 28 días constituye una prueba. Los cilindros usados para la aceptación del concreto no deben ser confundidos con los cilindros curados en el campo, los cuales se hacen para verificar la resistencia a edad temprana en la estructura.

Las pruebas a compresión que arrojan resultados por debajo de lo esperado, principalmente se debe a las siguientes razones:

- 1.- Manejo de curado y pruebas de cilindro inapropiados. Se ha determinado que esto contribuye en la mayoría de los casos de resultados de baja resistencia.

2.- Disminuida de resistencia del concreto debido a un error en la producción o por agregar demasiada agua al concreto, retrasos en el colado.

3.- El alto contenido de aire también puede ser una causa de la baja resistencia.

A continuación se muestra una figura con los distintos tipos de falla que se producen en las probetas de hormigón al ser sometidas a cargas de compresión.

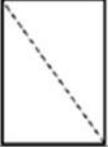
TIPOS DE FALLA	
	CÓNICA
	TRANSVERSAL
	COLUMNAR
a - b	
	
	CÓNICA Y DIVIDIDA
	CÓNICA Y TRANSVERSAL

Figura 39. Tipos de falla del hormigón.

Fuente:(www.scribd.com/doc/14471810)

Falla Cónica.- Se presenta cuando se logra una carga de compresión bien aplicada un espécimen de prueba preparado.

Falla Transversal.- Se presenta comúnmente cuando las caras de aplicación de carga se encuentran en el límite de desviación (perpendicularidad) tolerada especificada de 0,5 grados).

Falla Columnar.- Se presenta en especímenes que presentan una superficie de carga convexa y deficiencia del material de refrentado; también por concavidad del plato de cabeceo o convexidad en una de las placas de carga.

Falla Cónica y dividida.- Se presenta en especímenes que presentan una cara de aplicación de carga convexa y deficiencias del material de refrentado o rugosidades del plato de refrentado.

Falla Cónica y transversal.- Se presenta cuando las caras de aplicación de carga del espécimen están ligeramente fuera de las tolerancias de paralelismo establecidas o por ligeras desviaciones en el centrado del espécimen con respecto al eje de carga de la máquina.

Falla tipo a.- Se presenta en especímenes que presentan una cara de aplicación de carga cóncava y por deficiencias del material de refrentado; también por concavidad de una de las placas de carga.

Falla tipo b.- Se presentan cuando se producen concentraciones de esfuerzos en puntos sobresalientes de las cargas y deficiencia del material de refrentado, por rugosidades en el plato en el que se realiza el refrentado o por deformaciones de la placa de carga.

También se tiene fallas que pueden facilitar la visualización cuando se tenga probetas ensayadas a la compresión estas fallas para mejor entendimiento son en 3D.

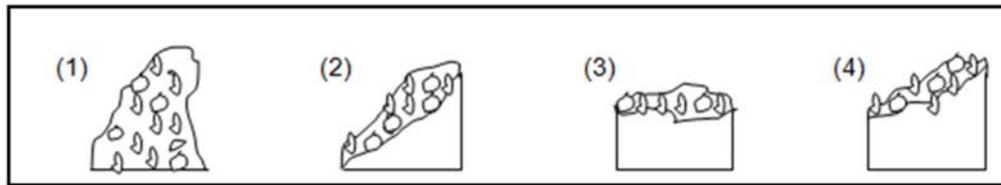


Figura 40. Fallas en 3D

Fuente:(www.scribd.com/doc/14471810)

TIPO 1.- Es una falla normal del cilindro bajo compresión, los lados de la muestra tienden a adoptar la forma de un barril en un instante antes de su destrucción, quedando con forma de reloj de arena.

Tipo 2.- Es una falla por cortante que bien puede indicar un cabeceado irregular. La falla.

Tipo 3.- Es típica de una compactación pobre, generalmente causada por falta de adherencia de una capa de la muestra anterior, por falla con la varilla de apisonado.

Tipo 4.- Puede ser una combinación de los tipos 2 y 3.

3.12. Fallas en las probetas de hormigón.



Figura 41. Refrendado con capping, falla tipo transversal



Figura 42. Fallas tipo Columnar



Figura 43. Falla tipo 2.



Figura 44. Refrendado con capping falla tipo cónica y transversal.



Figura 45. Falla tipo transversal.



Figura 46. Falla tipo a.



Figura 47. Falla tipo columnar.



Figura 48. Falla tipo cónica y transversal.



Figura 49. Falla tipo columnar.



Figura 50. Resistencia a la compresión 618 Kg/cm² falla tipo cónica dividida.



Figura 51. Falla tipo cónica dividida.



Figura 52. Falla tipo transversal.



Figura 53. Falla tipo columnar.



Figura 54. Falla tipo transversal.



Figura 55. Falla tipo cónica dividida.



Figura 56. Falla tipo columnar.



Figura 57. Falla tipo 2.



Figura 58. Falla tipo 2.



Figura 59. Falla tipo transversal.



Figura 60. Falla tipo 1.



Figura 61. Falla transversal.



Figura 62. Falla tipo transversal.



Figura 63. Fallas tipo (transversal, cónica dividida, columnar y cónica transversal).



Figura 64. Tipos de falla transversal, cónica dividida, cónica transversal.



Figura 65. Falla tipo transversal.



Figura 66. Módulo de elasticidad del hormigón con falla tipo transversal y resistencia a la compresión de 645 Kg/cm²

3.13. Resultados.

3.1. Resultados de los especímenes de hormigón sometidos a compresión.

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE CILINDROS (H.A.D.)													
FECHA MOLDEO	Días de curado	Fecha de ensayo	Método	Diámetro	Área	Altura	Volumen	Masa muestra (g)	Densidad (g/cm ³)	Carga (Kg)	f'c. Kg/cm ²	AGREGADO	PROGRAMA
				cm	cm ²	cm							
08-nov-13	4	12-nov-13	ACI 211	15,30	183,85	30,30	5.571	12639	2,269	51707	281	LLOA	ESPE
25-mar-14	3	28-mar-14	ACI 211	15,40	186,27	30,40	5.662	13989	2,470	51707	278	DISENSA	ESPE
28-mar-14	3	31-mar-14	ACI 211.4R	15,22	181,94	30,35	5.522	12667	2,294	62028	341	DISENSA	D.M
28-mar-14	3	31-mar-14	ACI 211.4R	15,11	179,32	30,30	5.433	12762	2,349	76864	429	DISENSA	D.M
01-abr-14	3	04-abr-14	ACI 211.4R	15,10	179,08	30,50	5.462	12126	2,220	62142	347	DISENSA	D.M
25-abr-14	7	02-may-14	ACI 211	15,13	179,79	30,50	5.484	11770	2,146	96204	535	PINTAG	ESPE
25-abr-14	7	02-may-14	ACI 211.4R	15,07	178,37	30,40	5.422	11479	2,117	42787	240	PINTAG	D.M
8-may-14	5	13-may-14	ACI 211	15,36	185,30	30,60	5.670	12718	2,243	72971	394	DISENSA	ESPE
22-may-14	5	27-may-14	ACI 211.4R	15,41	186,51	30,60	5.707	13051	2,287	94674	508	DISENSA	D.M



Continúa

17-jun-14	7	24-jun-14	ACI 211.4R	15,36	185,30	30,40	5.633	12993	2,307	45079	243	DISENSA	D.M
16-jul-14	6	22-jul-14	F K ANTÍA	15,27	183,13	30,50	5.586	12611	2,258	70332	384	DISENSA	D.M
21-jul-14	3	24-jul-14	F K ANTÍA	15,28	183,37	30,00	5.501	11943	2,171	79778	435	DISENSA	D.M
21-jul-14	3	24-jul-14	F K ANTÍA	15,27	183,13	30,20	5.531	11917	2,155	92488	505	DISENSA	D.M
07-ago-14	28	04-sep-14	EMPIRICO	15,23	182,18	30,02	5.469	11579	2,117	112557	618	DISENSA	-
16-sep-14	27	13-oct-14	EMPIRICO	15,14	180,03	30,70	5.527	11928	2,158	120709	670	DISENSA	-
16-sep-14	27	13-oct-14	EMPIRICO	15,34	184,82	30,40	5.618	12363	2,200	108530	587	DISENSA	-
16-sep-14	27	13-oct-14	ACI 211.4R	15,16	180,51	30,50	5.505	11937	2,168	117221	649	DISENSA	D.M
16-oct-14	28	13-nov-14	ACI 211.4R	15,16	180,51	30,50	5.505	12210	2,218	116560	646	DISENSA	D.M

3.2. Resultados del módulo de elasticidad del H.A.D.

$$0,50 \times f'c = 0,50 * 435 = 218 \text{ Kg/cm}^2$$

DATOS DEL CILINDRO			
Peso:	11943,00	gr	
Diámetro:	15,28	cm	
Altura:	30,00	cm	
Área:	183,37	cm ²	

Tabla 37. Módulo de elasticidad del hormigón con: $f'c = 435 \text{ Kg/cm}^2$

Carga (Kg)	Esfuerzo (Kg/cm2)	Deformación (pulgadas x¹⁰-4)	x 10⁻⁵
0	0	0	0
3500	19,087	0,0005	4,23333E-05
7300	39,810	0,001	8,46667E-05
9900	53,989	0,0015	0,000127
12200	66,532	0,002	0,000169333
14785	80,629	0,0025	0,000211667
17560	95,763	0,003	0,000254
20130	109,778	0,0035	0,000296333
22767	124,159	0,004	0,000338667
25352	138,256	0,0045	0,000381
27917	152,244	0,005	0,000423333
29872	162,906	0,0055	0,000465667
32151	175,334	0,006	0,000508
34781	189,677	0,007	0,000592667
37531	204,674	0,008	0,000677333
39400	214,866	0,009	0,000762

CÁLCULOS			
S1	22,84	Kg/cm2	
S2	189,68	Kg/cm2	
1	5 x 10 ⁻⁵		
2	0,0005927		
Módulo Elasticidad	307438,29	Kg/cm2	

$$0,50 \times f'c = 0,50 * 505 = 253 \text{ Kg/cm}^2$$

DATOS DEL CILINDRO		
Peso:	11917,00	g
Diámetro:	15,27	cm
Altura:	30,20	cm
Área:	183,13	cm ²

Tabla 38. Módulo de elasticidad del hormigón con: $f'c = 505 \text{ Kg/cm}^2$.

Carga (Kg)	Esfuerzo (Kg/cm2)	Deformación (pulgadas x¹⁰-4)	x 10⁻⁵
0	0	0	0
4500	24,573	0,0005	4,2053E-05
8000	43,685	0,001	8,4106E-05
11120	60,722	0,0015	0,000126159
14200	77,541	0,002	0,000168212
16885	92,202	0,0025	0,000210265
19560	106,809	0,003	0,000252318
22430	122,481	0,0035	0,000294371
25167	137,427	0,004	0,000336424
27852	152,089	0,0045	0,000378477
30517	166,641	0,005	0,00042053
33399	182,379	0,0055	0,000462583
36151	197,406	0,006	0,000504636
40981	223,781	0,007	0,000588742
44231	241,528	0,008	0,000672848
46510	253,973	0,009	0,000756954

CÁLCULOS		
S1	28,18	Kg/cm2
S2	223,78	Kg/cm2
1	5 x 10 ⁻⁵	
2	0,0005887	
Módulo Elasticidad	363061,68	Kg/cm2

$$0,50 \times f'c = 0,50 * 645 = 323 \text{ Kg/cm}^2$$

DATOS DEL CILINDRO		
Peso:	12210,00	g
Diámetro:	15,16	cm
Altura:	30,50	cm
Área:	180,50	cm ²

Tabla 39. Módulo de elasticidad del hormigón con: $f'c = 645 \text{ Kg/cm}^2$

Carga (Kg)	Esfuerzo (Kg/cm2)	Deformación (pulgadas x¹⁰-4)	x 10⁻⁵
0	0	0	0
3000	16,620	0,0005	4,16393E-05
6500	36,009	0,001	8,32787E-05
9900	54,845	0,0015	0,000124918
13303	73,697	0,002	0,000166557
16985	94,095	0,0025	0,000208197
20560	113,900	0,003	0,000249836
23930	132,569	0,0035	0,000291475
27269	151,066	0,004	0,000333115
30900	171,182	0,0045	0,000374754
34517	191,219	0,005	0,000416393
37272	206,482	0,0055	0,000458033
40151	222,431	0,006	0,000499672
43781	242,541	0,007	0,000582951
47452	262,877	0,008	0,00066623
51234	283,829	0,009	0,000749508
56122	310,908	0,010	0,000832787
59000	326,852	0,011	0,000916066

CÁLCULOS		
S1	20,51	Kg/cm2
S2	222,43	Kg/cm2
1	5×10^{-5}	
2	0,0004997	
Módulo Elasticidad	449034,15	Kg/cm2

3.3. Gráficas encontradas de los ensayos.

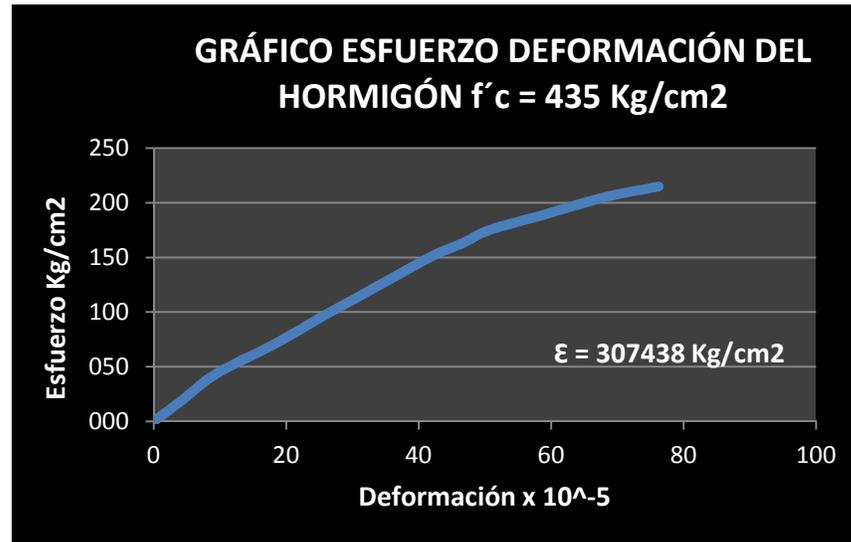


Figura 67. Gráfica esfuerzo deformación del 50% de $f'c = 435 \text{ Kg/cm}^2$.

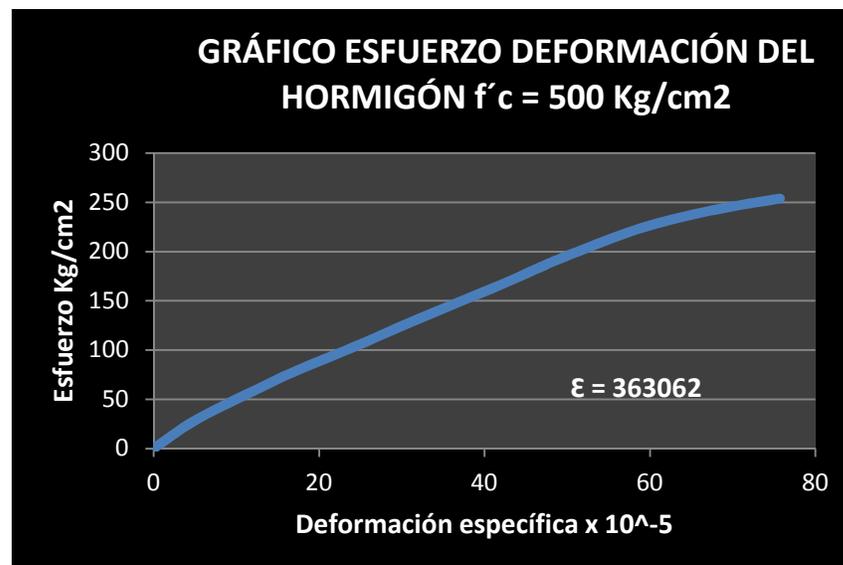


Figura 68. Gráfica esfuerzo deformación del 50% de $f'c = 505 \text{ Kg/cm}^2$

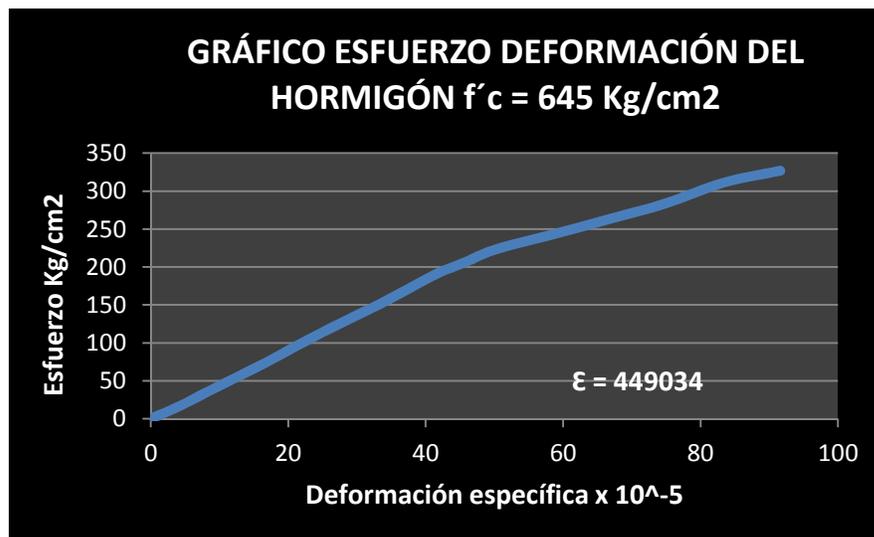


Figura 69. Gráfica esfuerzo deformación del 50% de $f'c = 645 \text{ Kg/cm}^2$

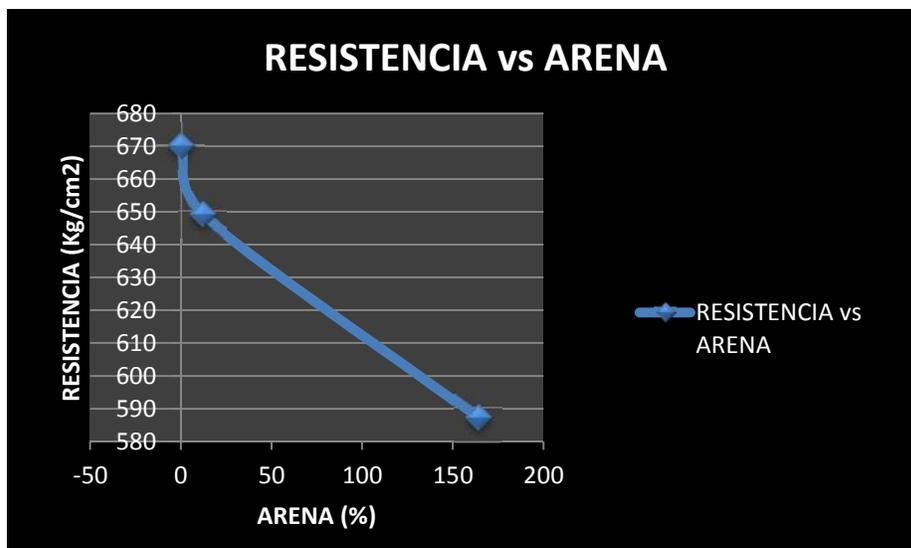


Figura 70. Resistencia alcanzada mientras se disminuye la arena.

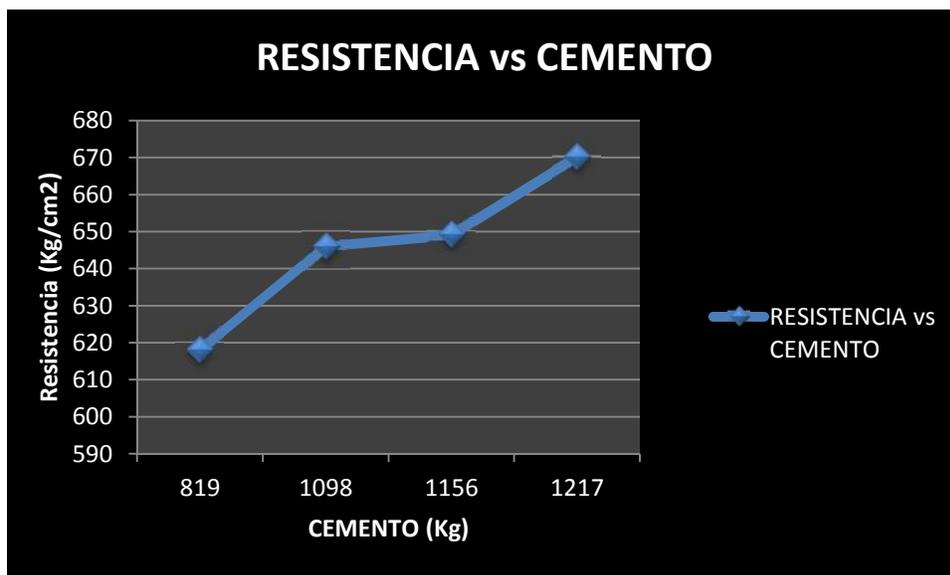


Figura 71. Resistencia alcanzada si disminuye o aumenta el material cementante.

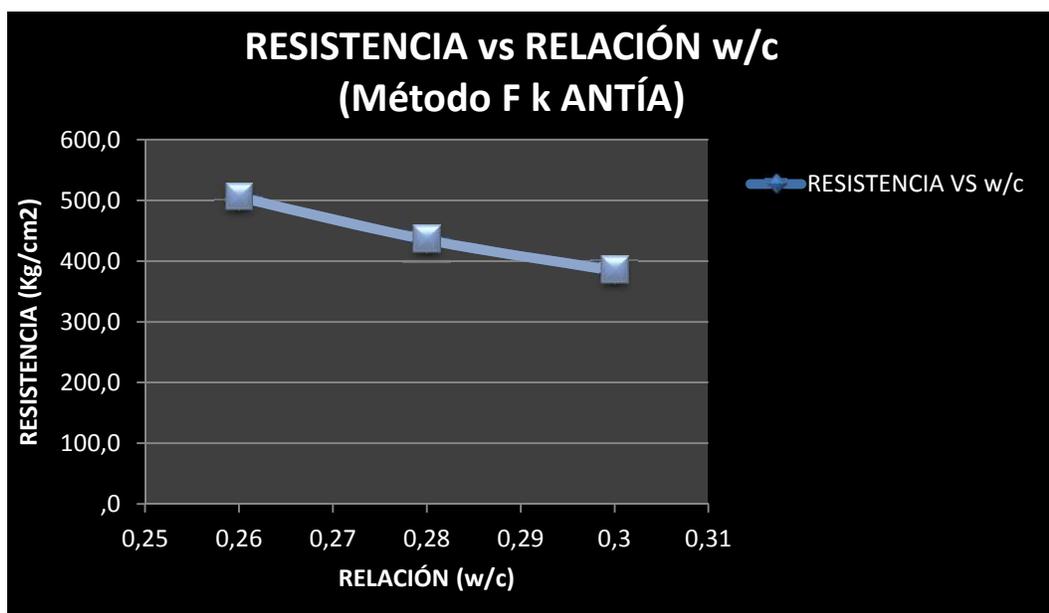


Figura 72. Resistencia alcanzada si disminuye o aumenta el agua de mezclado.

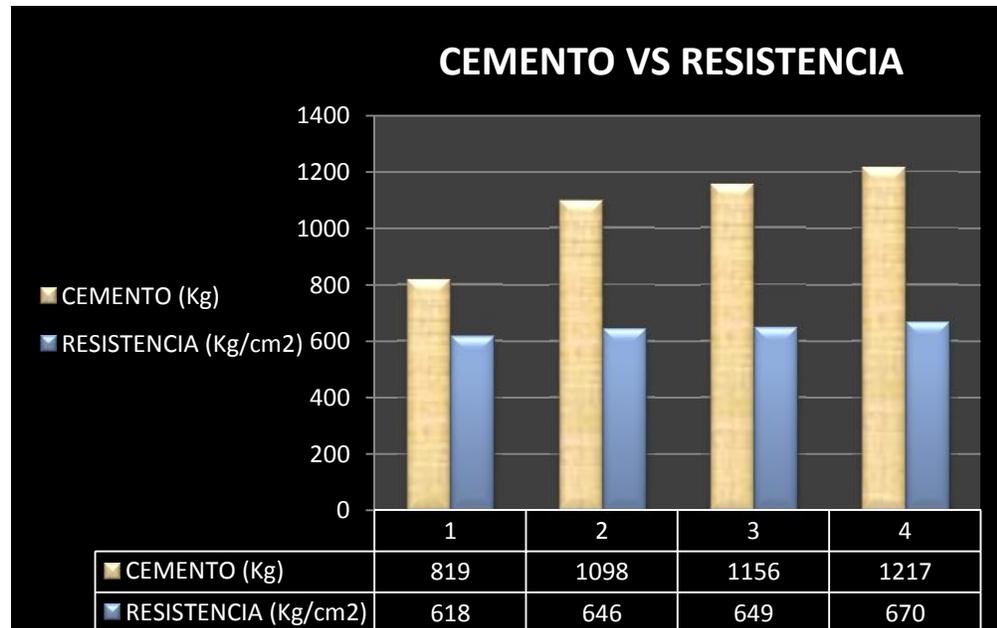


Figura 73. La influencia del cemento para ganar resistencia.

CAPÍTULO IV

COMPARACIÓN DE RESISTENCIA Y MÓDULO DE ELASTICIDAD EN HORMIGONES COMUNES Y DE ALTA RESISTENCIA

4.1. Introducción

El estudio del módulo de elasticidad del hormigón es muy importante, ya que con este valor se diseña y se analizan las diferentes estructuras construidas o que se encuentran en construcción. En este capítulo se presentarán ensayos de módulos de elasticidad que fueron tomados de tesis enfocadas en este tema. Se realizan comparaciones tanto en su resistencia alcanzada como en su módulo de elasticidad. Este módulo de elasticidad será diferente según el tipo de agregado y la marca comercial del cementante utilizado.

El tipo de agregado juega un papel muy importante en lo referente a elasticidad y resistencia. De ahí que para un hormigón de alta resistencia a la compresión se debe tener agregados con alto estándar de calidad.

4.2. Resistencia y módulo de elasticidad en cilindros Comunes.

Según la tesis “Investigación y Determinación del Módulo de Elasticidad del Hormigón en Base a la Resistencia a la compresión. Borja León Libio Patricio, Chávez Vaca Davidson Arturo, Rea Mena Edwin Rolando. Año 2010 (UCE). Indican que los

agregados de San Antonio de Pichincha no cumplen con todas las características necesarias para producir un buen hormigón. Por lo que recomiendan que con este tipo de agregados no se debe realizar dosificaciones mayores a 280 Kg/cm².

Esta tesis determina el módulo de elasticidad mediante la consideración que el límite de proporcionalidad está en un 40% de la carga máxima de rotura teniendo como referencia la siguiente ecuación ASTM 469.

$$E_c = \frac{\sigma_2 - \sigma_1}{\epsilon_2 - \epsilon_1}$$

Dónde:

E_c = Módulo de elasticidad en Kg/cm².

σ_1 = S1 = Esfuerzo correspondiente a la deformación unitaria $\epsilon_1 = 0.00005$.

σ_2 = S2 = Esfuerzo correspondiente al 40% de la carga última.

ϵ_2 = Deformación unitaria correspondiente al esfuerzo σ_2 .

$\epsilon_1 = 0.000050$

A continuación se da a conocer los resultados experimentales, que Borja León Libio Patricio 2010 de la Universidad Central del Ecuador, con el tema módulo de elasticidad, obtuvieron.

Tabla 40. Dosificación del hormigón por el método de la densidad óptima, para 1m^3 de hormigón con $f'c = 300\text{MPa}$

Relación agua / cemento	0,5	
Cemento	406,21	Kg
Arena	497,19	Kg
Ripio	1133,8	Kg
Agua	203,11	Kg
Asentamiento	8	cm
Segregación	No	
Peso unitario	2240,4	Kg/m ³
Resistencia especificada	30	MPa

Fuente: (Borja León Libio Patricio, 2010).

Tabla 41. Tabla de resistencias obtenidas en el ensayo a la compresión simple con este método.

DÍAS	N°	DIÁMETRO cm	ÁREA cm²	CARGA Kp	ESFUERZO Kg/cm²
28	1	14,8	172,03	48800	283,67
28	2	15,1	179,08	50200	280,32
28	3	15,2	181,46	47800	263,42
28	4	15,6	191,13	49600	259,5
28	5	15,5	188,69	51000	270,28

Fuente: (Borja León Libio Patricio, 2010)

Módulo de elasticidad para una resistencia a la rotura de 252 Kg/cm².

Tabla 42. Datos del cilindro sometido a carga, medición de su deformación.

MÓDULO DE ELASTICIDAD						
Cilindro	Diámetro (cm)	Área (cm²)	Carga (Kp)	Esfuerzo (Kg/cm)	Deformación (mm) x 10⁻³	(mm/mm) x 10⁻³
1	15,31	83,85	0	0	0	0
			1000	5,44	6	0,02
			2000	10,88	14	0,047
			3000	16,32	26	0,087
			4000	21,76	38	0,127
			5000	27,2	47	0,157
			6000	32,63	59	0,197
			7000	38,07	70	0,233
			8000	43,51	83	0,277
			9000	48,95	96	0,32
			10000	54,39	109	0,363
			11000	59,83	122	0,407
			12000	65,27	133	0,443
			13000	70,71	146	0,487
			14000	76,15	160	0,533
			15000	81,59	174	0,58
			16000	87,03	188	0,627
			17000	92,46	203	0,677
			18000	97,9	220	0,733
			19000	103,34	232	0,773
			20000	108,78	246	0,82
			21000	114,22	259	0,863
			22000	119,66	274	0,913
			23000	125,1	290	0,967
			24000	130,54	304	1,013
			25000	135,98	320	1,067
			26000	141,42	332	1,107
			27000	146,86	347	1,157
			28000	152,29	364	1,213
			29000	157,73	379	1,263
			30000	163,17	395	1,317

Módulo de elasticidad para una resistencia a la rotura de 252 Kg/cm².

CÁLCULOS		
S1	12,00	Kg/cm ²
S2	100,95	Kg/cm ²
1	5×10^{-5}	mm/mm
2	$7,5 \times 10^{-4}$	mm/mm
Módulo Elasticidad	127071,07	Kg/cm²

Fuente: (Borja León Libio Patricio, 2010)

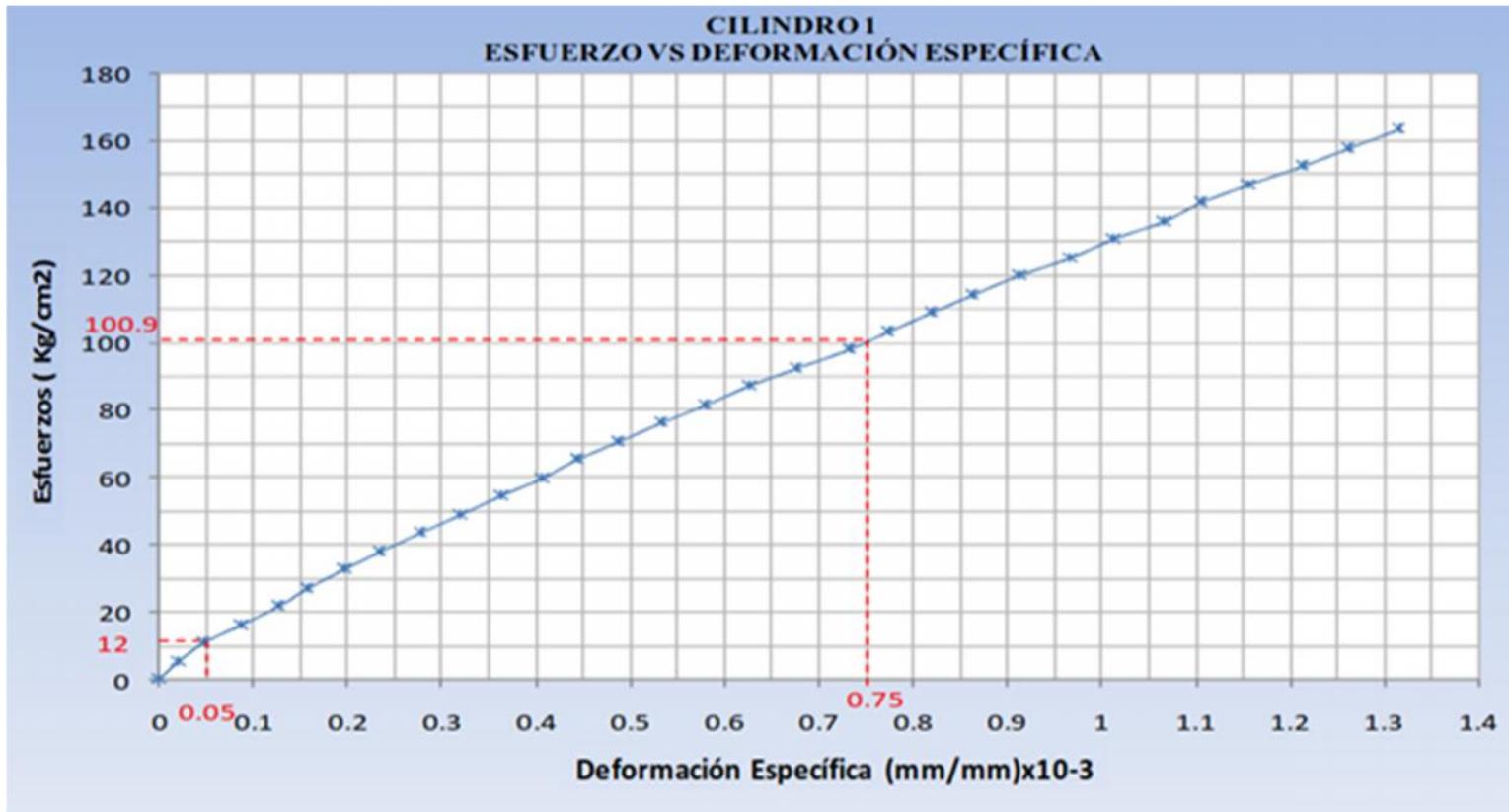


Figura 74. Diagrama esfuerzo – deformación para una resistencia de 252 Kg/cm^2 .

Fuente: (Borja León Libio Patricio, 2010)

Módulo de elasticidad para una resistencia a la rotura de 284 Kg/cm².

Tabla 43. Datos del cilindro sometido a carga. Medición de su deformación.

MÓDULO DE ELASTICIDAD						
CILINDRO	DIÁMETRO (cm)	ÁREA (cm²)	CARGA (Kp)	ESFUERZO (Kg/cm²)	DEFORM. (mm) x 10⁻³	(mm/mm) x 10⁻³
2	15	76,71	0	0	0	0
			1000	5,66	7	0,023
			2000	11,32	15	0,05
			3000	16,98	25	0,083
			4000	22,64	36	0,12
			5000	28,29	48	0,16
			6000	33,95	59	0,197
			7000	39,61	72	0,24
			8000	45,27	83	0,277
			9000	50,93	101	0,337
			10000	56,59	115	0,383
			11000	62,25	125	0,417
			12000	67,25	138	0,46
			13000	73,56	149	0,497
			14000	79,22	161	0,537
			15000	84,88	176	0,587
			16000	90,54	191	0,637
			17000	96,2	211	0,703
			18000	101,86	225	0,75
			19000	107,52	240	0,8
			20000	113,18	255	0,85
			21000	118,84	270	0,9
			22000	124,49	284	0,947
			23000	130,15	300	1
			24000	135,81	318	1,06
			25000	141,47	338	1,127
			26000	147,13	354	1,18
			27000	152,79	366	1,22
			28000	158,45	385	1,283
			29000	164,11	400	1,333
			30000	169,77	426	1,42

CÁLCULOS		
S1	12,00	Kg/cm ²
S2	113,63	Kg/cm ²
1	5×10^{-5}	mm/mm
2	$8,6 \times 10^{-4}$	mm/mm
Módulo Elasticidad	125468,59	Kg/cm²

Fuente: (Borja León Libio Patricio, 2010)

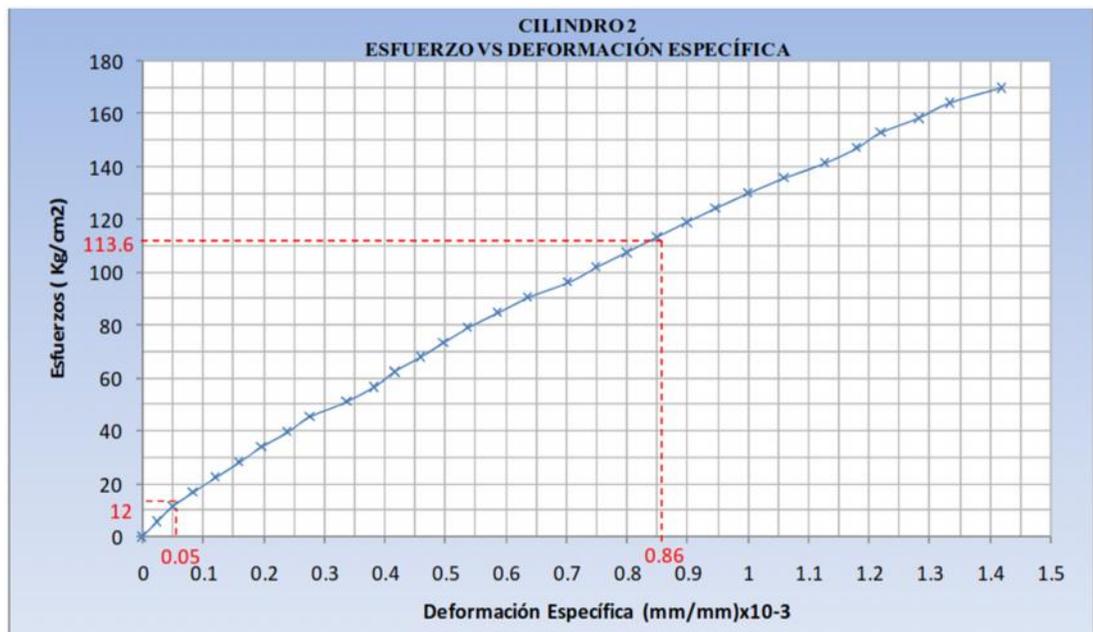


Figura 75. Esfuerzo – deformación para una resistencia de 284 Kg/cm².

Fuente: (Borja León Libio Patricio, 2010)

Módulo de elasticidad para una resistencia a la rotura de 273 Kg/cm²

Tabla 44. Datos del cilindro sometido a carga. Medición de su deformación

MÓDULO DE ELASTICIDAD						
CILINDRO	DIÁMETRO (cm)	ÁREA (cm²)	CARGA (Kp)	ESFUERZO (Kg/cm²)	DEFORMACIÓN (mm) x 10⁻³	mm/mm x 10⁻³
3	15,5	188,69	0	0	0	0
			1000	5,3	6	0,02
			2000	10,6	15	0,05
			3000	15,9	26	0,087
			4000	21,2	36	0,12
			5000	26,5	49	0,163
			6000	31,8	59	0,197
			7000	37,1	70	0,233
			8000	42,4	82	0,273
			9000	47,7	95	0,317
			10000	53	106	0,353
			11000	58,3	117	0,39
			12000	63,6	128	0,427
			13000	68,9	141	0,47
			14000	74,2	152	0,507
			15000	70,49	165	0,55
			16000	84,79	177	0,59
			17000	90,09	190	0,633
			18000	95,39	202	0,673
			19000	100,69	215	0,717
			20000	105,99	228	0,76
			21000	111,29	243	0,81
			22000	116,59	258	0,86
			23000	121,89	271	0,903
			24000	127,19	285	0,95
			25000	132,49	301	1,003
			26000	137,79	315	1,05
			27000	143,09	329	1,097
			28000	148,39	344	1,147
			29000	153,69	358	1,193
			30000	158,99	376	1,253

CÁLCULOS		
S1	11,00	Kg/cm ²
S2	109,38	Kg/cm ²
1	5×10^{-5}	mm/mm
2	$7,8 \times 10^{-4}$	mm/mm
Módulo Elasticidad	134773,50	Kg/cm²

Fuente: (Borja León Libio Patricio, 2010)

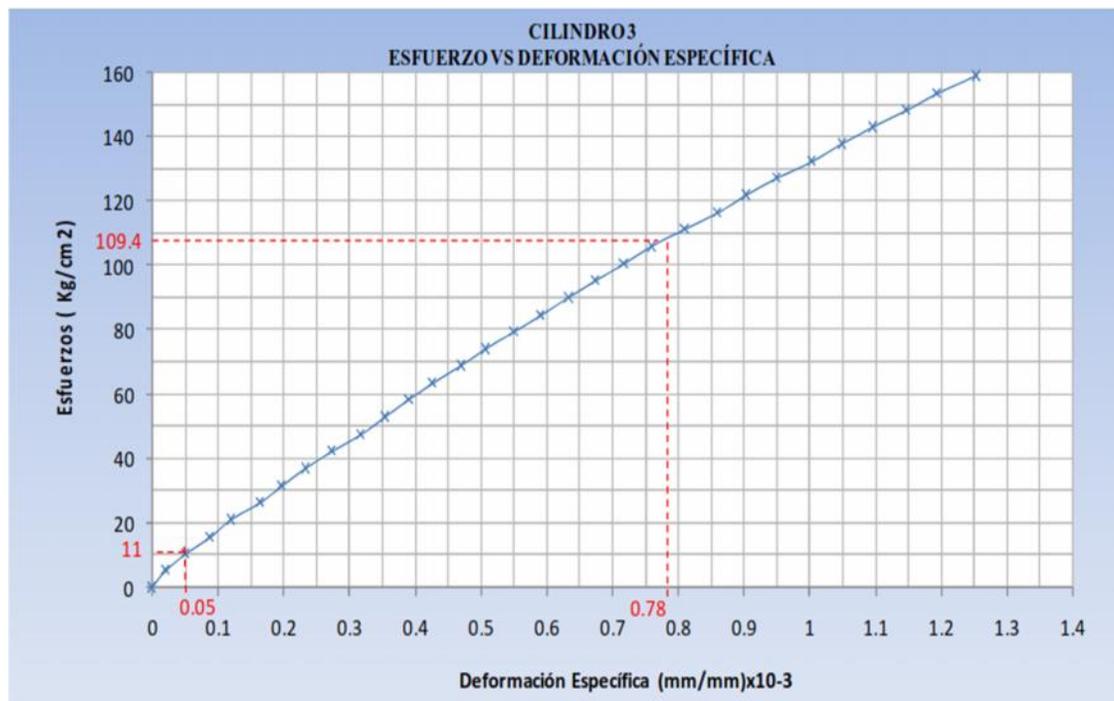


Figura 76. Diagrama esfuerzo – deformación para una resistencia de 273 Kg/cm².

Fuente: (Borja León Libio Patricio, 2010).

Según la tesis “Módulo elástico elasticidad del hormigón en base a su resistencia a la compresión simple para $f'c = 21$ MPa y 30 MPa”; elaborado por Arequipa Edison, Coba Williams, Garzón David, Vargas Luis. Año 2012 (UCE), presentan ensayos a compresión y módulos de elasticidad a una edad de 28 días.

Para esta investigación se utilizaron agregados provenientes de la mina “San Joaquín”, Ciudad de Latacunga, provincia de Cotopaxi.

$$E_c = 4700 * \sqrt{f'c} \text{ (Mpa)} \quad \text{ACI 318}$$

$$E_c = 3320 * \sqrt{f'c} + 6900 \text{ (Mpa)} \quad \text{ACI 363}$$

$$E_c = \frac{\sigma_2 - \sigma_1}{\epsilon_2 - \epsilon_1} \text{ (Mpa)} \quad \text{ASTM 469}$$

Dónde:

E_c = Módulo de elasticidad en Kg/cm^2 .

$f'c$ = Resistencia características de diseño

$\epsilon_1 = S_1$ = Esfuerzo correspondiente a la deformación unitaria $\epsilon_1 = 0.00005$.

$\epsilon_2 = S_1$ = Esfuerzo correspondiente al 40% dela carga última.

ϵ_2 = Deformación unitaria correspondiente al esfuerzo ϵ_2 .

$\epsilon_1 = 0.000050$

A continuación se presentan los resultados de los ensayos que los autores de esta tesis obtuvieron en mezclas de hormigón, módulos de elasticidad y resistencia para este tipo de agregado.

Tabla 45. Dosificación del hormigón ACI, para 1m^3 de hormigón con $f'c= 21\text{MPa}$.

Relación agua / cemento	0,58	
Cemento	335,72	Kg
Arena	673,19	Kg
Ripio	982,11	Kg
Agua	194,72	Kg
Asentamiento	6,5	Cm
Peso unitario	2185,74	Kg/m ³
Resistencia especificada	21	Mpa

Fuente: (Arequipa Maldonado Edison Rolando, 2012)

Tabla 46. Resultados obtenidos a la compresión $f'_c = 21$ Mpa.

CILINDRO N°	RESISTENCIA MPa
21-16	27,4
21-19	27,27
21-21	26,06
21-22	27,74
21-25	26,69
21-26	26,98
21-27	26,96
21-28	25,62
21.30	25,65
21-32	26,73

Fuente: (Arequipa Maldonado Edison Rolando, 2012)

Tabla 47. Dosificación método ACI, para 1m^3 de hormigón con $f'_c = 30\text{MPa}$

Relación agua / cemento	0,51	
Cemento	363,29	Kg
Arena	673,19	Kg
Ripio	982,11	Kg
Agua	185,28	Kg
Asentamiento	7	Cm
Peso unitario	2203,87	Kg/m ³
Resistencia especificada	30	MPa

Fuente: (Arequipa Maldonado Edison Rolando, 2012)

Tabla 48. Ensayo a la compresión simple de la dosificación de 30 MPa

CILINDRO N°	RESISTENCIA MPa
30-16	31,57
30-19	27,7
30-20	30,49
30-23	31,15
30-24	31,38
30-25	30,35
30-26	31,12
30-28	27,82
30-30	31,68
30-31	28,58

Fuente: (Arequipa Maldonado Edison Rolando, 2012)

Módulo de elasticidad para resistencia a la compresión de $f'c = 21$ MPa.

Tabla 49. Módulos de elasticidad mina de la provincia de Cotopaxi

CILINDRO	RESISTENCIA MÁXIMA MPa	MÓDULOS DE ELASTICIDAD		
		ACI – 318 MPa	ACI – 363 MPa	ASTM 469 MPa
21-16	27,4	24603,61	24279,57	14944,66
21-19	27,27	24541,66	24235,81	16276,76
21-21	26,06	23991,19	23846,97	16699,56
21-22	27,74	24753,64	24385,55	17275,13
21-25	26,69	24282,41	24052,68	16097,75
21-26	26,98	24411,48	24143,86	17567,37
21-27	26,96	24405,35	24139,53	16485,43
21-28	25,62	23788,53	23703,82	17615,96
21-30	25,65	23805,67	23715,92	17231,86
21-32	26,73	24301,69	24066,30	15637,72
MEDIA ARITMÉTICA	26,71	24288,52	25057	16583,22

Fuente: (Arequipa Maldonado Edison Rolando, 2012)

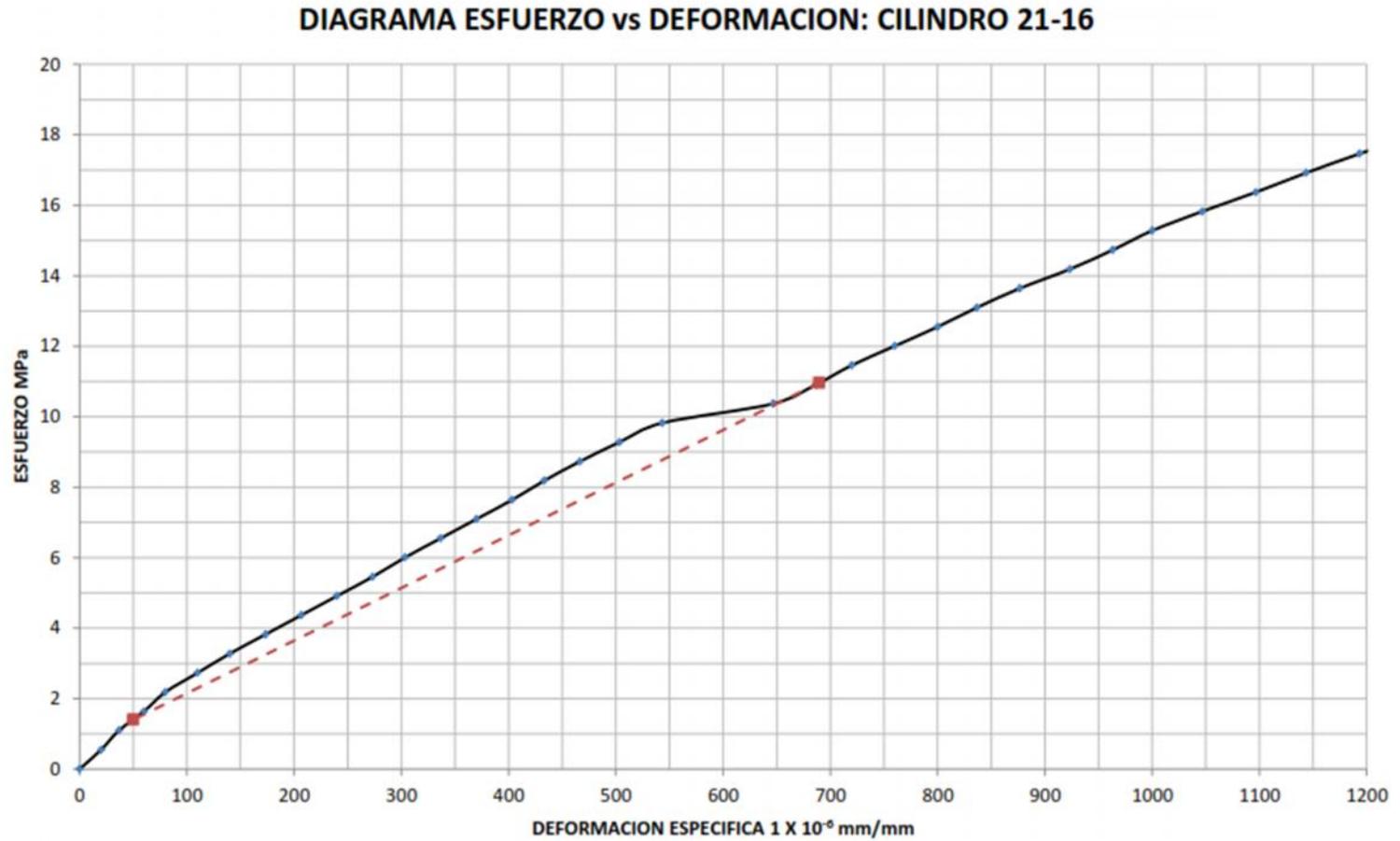


Figura 77. Diagrama esfuerzo – deformación para una resistencia de 21Mpa, probeta 21-16

Fuente: (Arequipa Maldonado Edison Rolando, 2012)

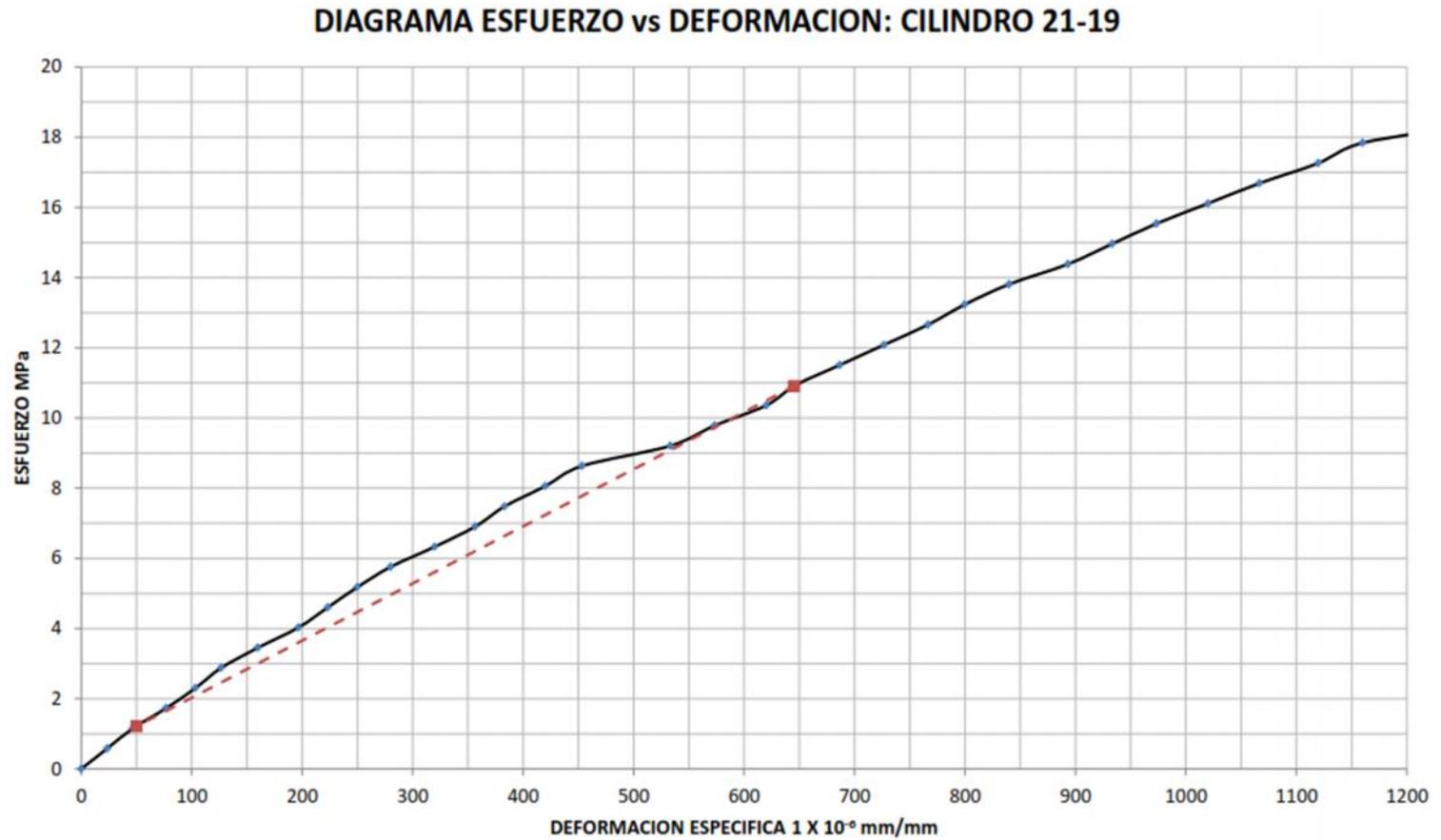


Figura 78. Diagrama esfuerzo – deformación, resistencia de 21Mpa

Fuente: (Arequipa Maldonado Edison Rolando, 2012)

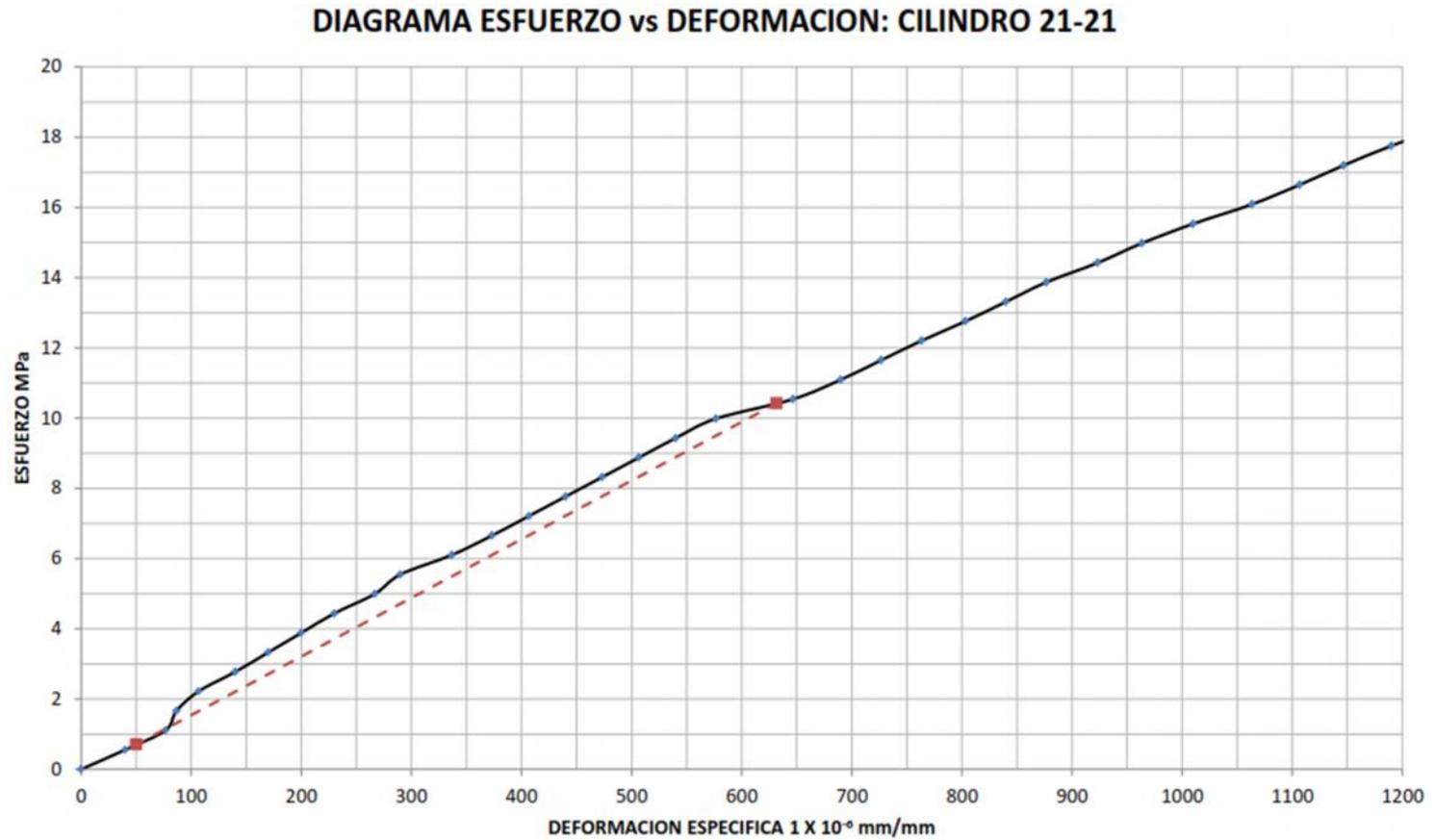


Figura 79. Diagrama esfuerzo – deformación para una resistencia de 21Mpa, probeta 21-21

Fuente: (Arequipa Maldonado Edison Rolando, 2012)

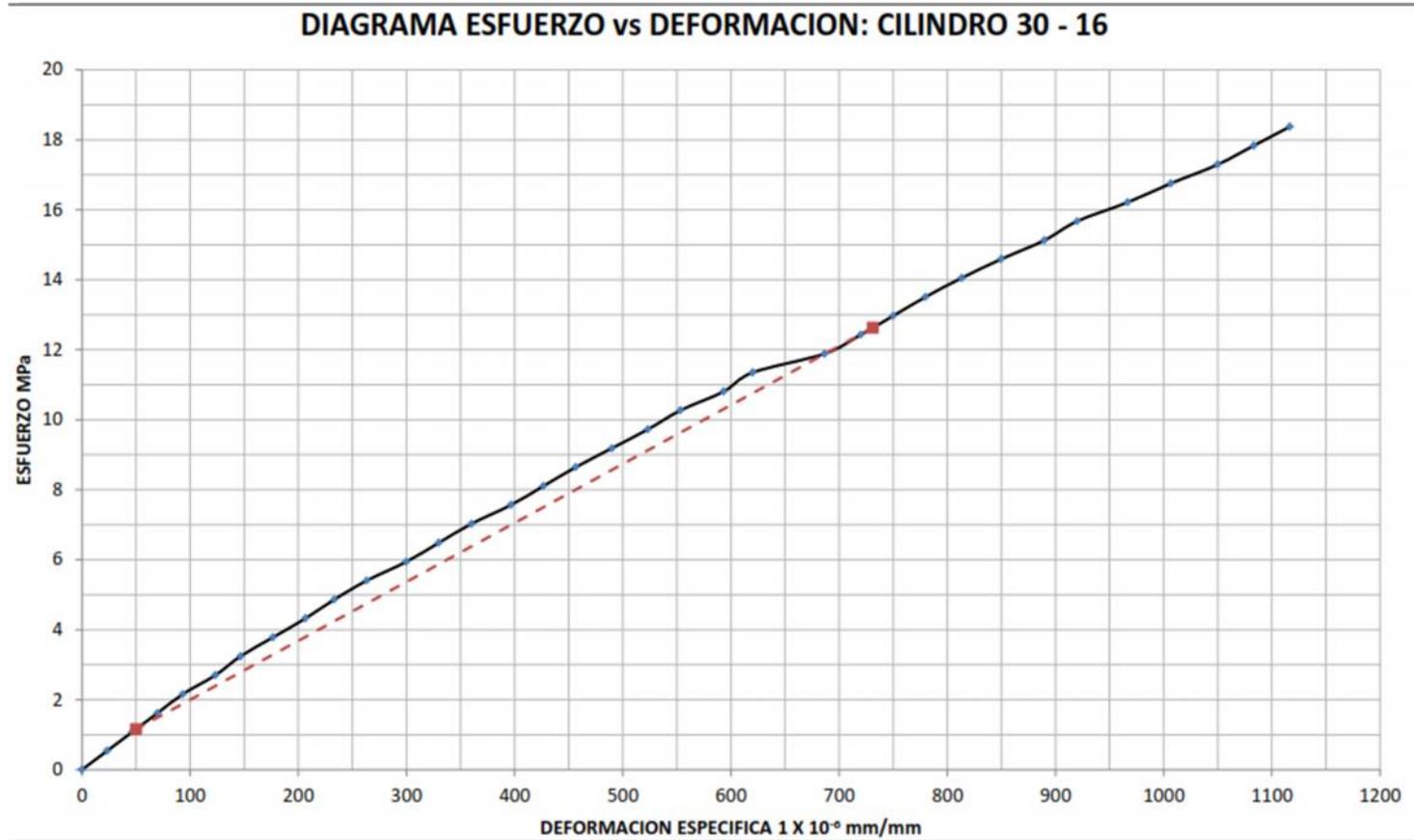


Figura 80. Diagrama esfuerzo – deformación para una resistencia de 30Mpa, probeta 30-16

Fuente: (Arequipa Maldonado Edison Rolando, 2012)

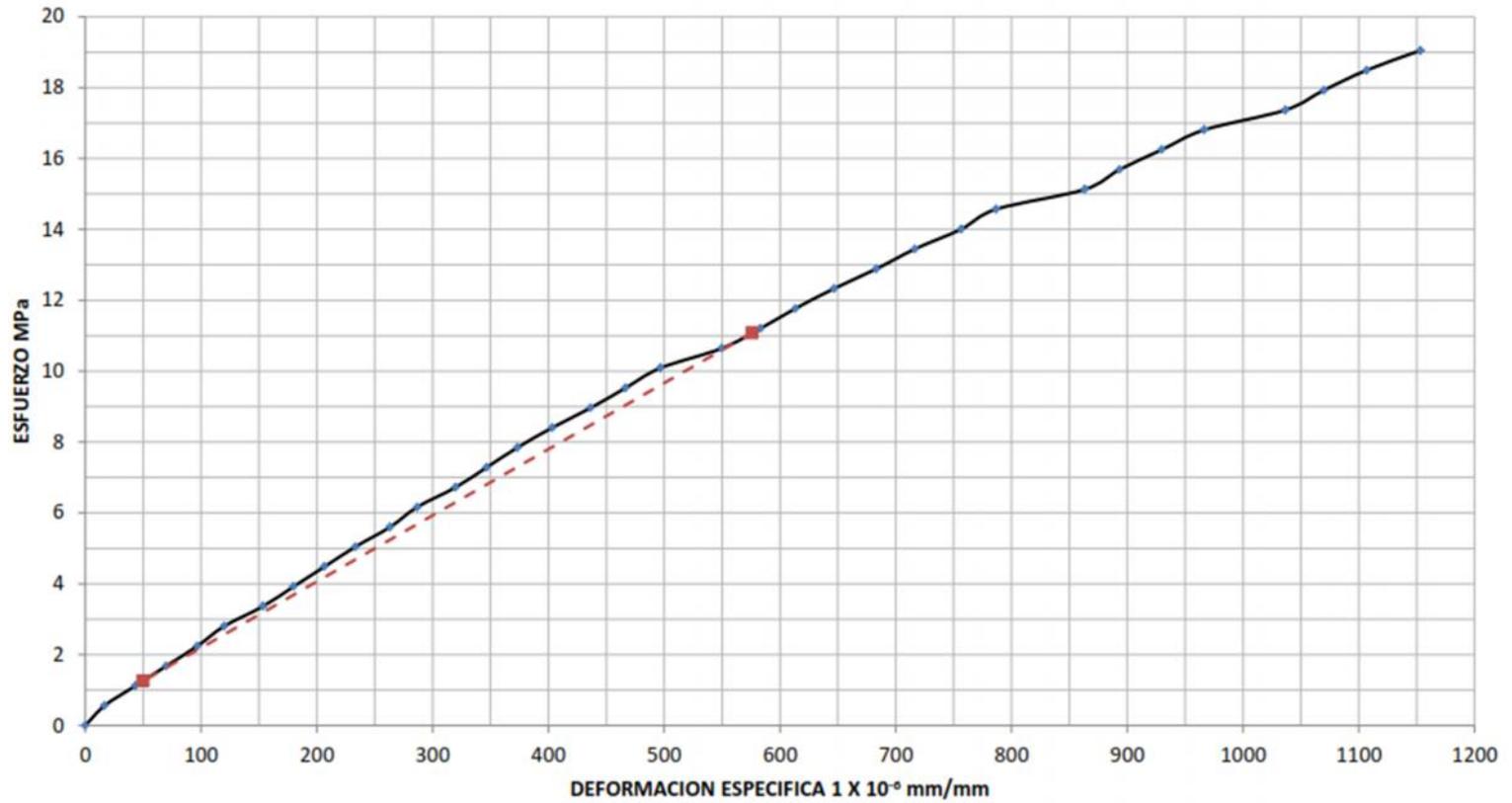
DIAGRAMA ESFUERZO vs DEFORMACION: CILINDRO 30 - 19

Figura 81. Diagrama esfuerzo – deformación, resistencia 30Mpa.

Fuente: (Arequipa Maldonado Edison Rolando, 2012)

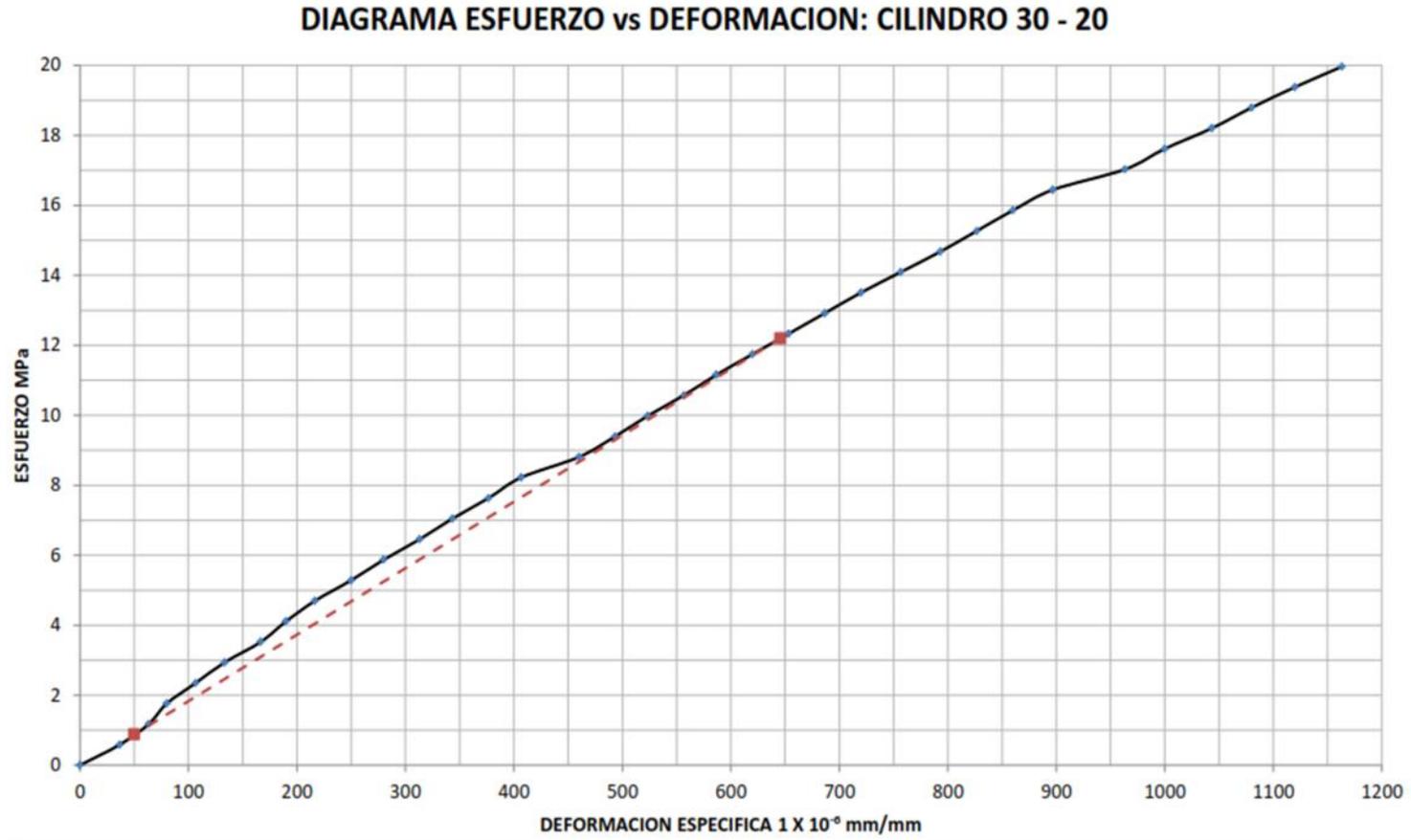


Figura 82. Diagrama esfuerzo – deformación para una resistencia de 30Mpa, probeta 3

Fuente: (Arequipa Maldonado Edison Rolando, 2012).

Tabla 50. Módulo de elasticidad, agregado de Pifo

MÓDULO DE ELASTICIDAD			
CANTERA	REQUERIDO Kg/cm²	ACI 318	ACI 363
PIFO	25	241670	23971
PIFO	300	260590	253070
PIFO	350	273000	261850
PIFO	400	306040	285180
PIFO	450	316860	292820

Fuente: Módulos de elasticidad y curvas de esfuerzo deformación, en base a la compresión del hormigón a 21, 28, 35 MPa. Herrería Sofía.2008

4.3. Comparación de resultados

Para la verificación de calidad y cumplimiento con los requerimientos que las estructuras requieren, desde mucho tiempo atrás se viene realizando el ensayo a la compresión simple a los 28 días en especímenes de prueba tomados en obra. En este tiempo es donde el hormigón alcanza su máxima resistencia. En este caso vamos a comparar la resistencia entre hormigones de alto desempeño con la resistencia de hormigones comunes que se los fabrican en la mayoría de obras. Además se comparan los módulos de elasticidad de cada una de las dosificaciones.

A continuación se muestran gráficas comparativas en cuanto al método que se utilizó para la dosificación de este hormigón. Con esto se encontrarán las resistencias y los módulos de elasticidad que presentan debido al tipo de agregado.

Tabla 51. Tipo de mezclas para diferentes resistencias.

	Presente Estudio	Borja 2010	Arequipa 2012	Arequipa 2012	
Relación w/c	26	50	51	58	
Resistencia especificada	600	210	280	210	Kg/cm ²
Cantidad de cemento utilizado	1098,2	406,21	363,29	335,72	Kg/m ³
Peso Unitario	2294	2240,35	2203,87	2185,74	Kg/cm ²

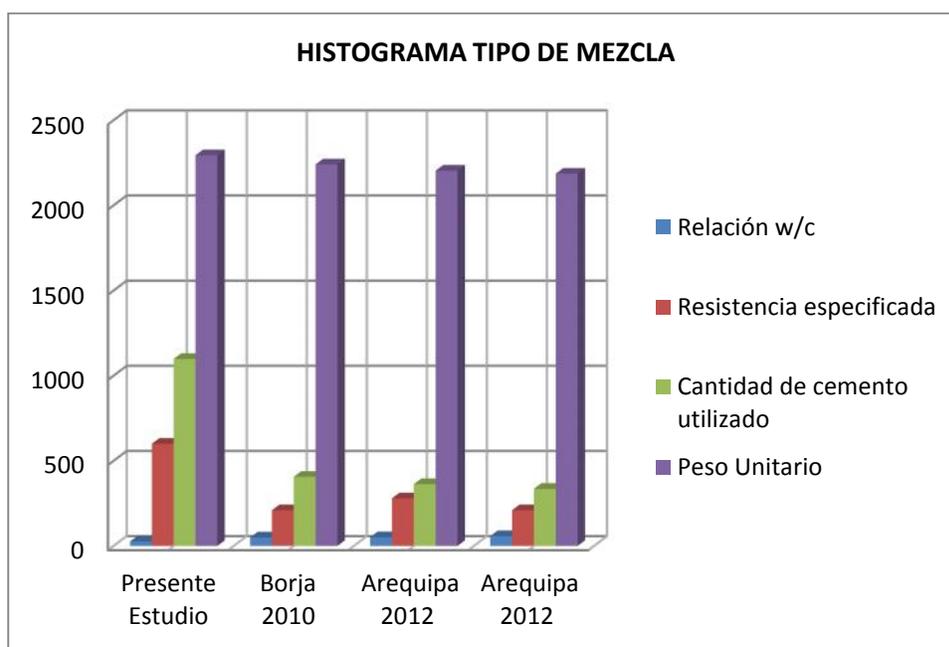


Figura 83. Resistencia y peso unitario según el tipo de mezcla.

Tabla 52. Resistencia a la compresión según su dosificación.

	Resistencia especificada Kg/cm ²	día de rotura	Resistencia obtenida en el ensayo a compresión simple Kg/cm ²
Borja 2010	210	28	271,44
Arequipa 2012	210	28	267,1
Arequipa 2012	300	28	301,84
Presente Estudio	600	28	645

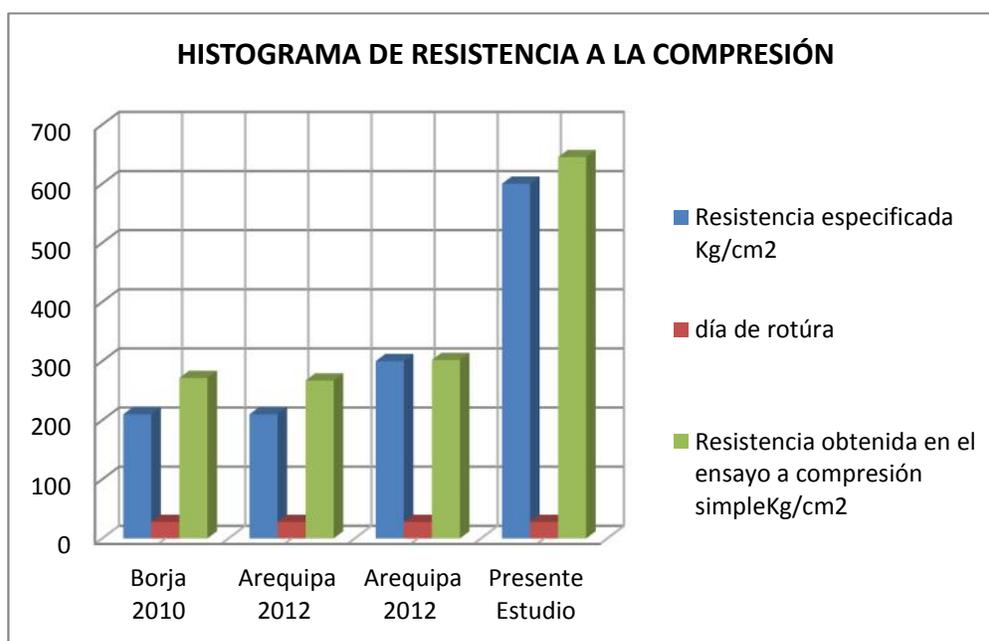


Figura 84. Resistencia a la compresión del hormigón según su dosificación

Tabla 53. Comparación de módulos de elasticidad.

CANTERA	ESFUERZO MPa	MÓDULO DE ELASTICIDAD DEL HORMIGÓN		
		Método ACI 318 MPa	Método ACI 363 MPa	Método ASTM MPa
Mina San Joaquín	21	24,28	25,06	16,58
Pifo	25	24,17	23,97	15,87
San José de Pichincha	25	23,59	23,57	12,71
San José de Pichincha	28	25,05	24,59	13,48
Mina San Joaquín	30	25,81	25,13	18,32
Pifo	35	27,3	26,19	17,45
Holcim	40	30,6	28,52	30,74
Pifo	45	31,69	29,28	21,36
Holcim	51	33,34	30,49	36,31
Holcim	65	37,75	33,56	44,90

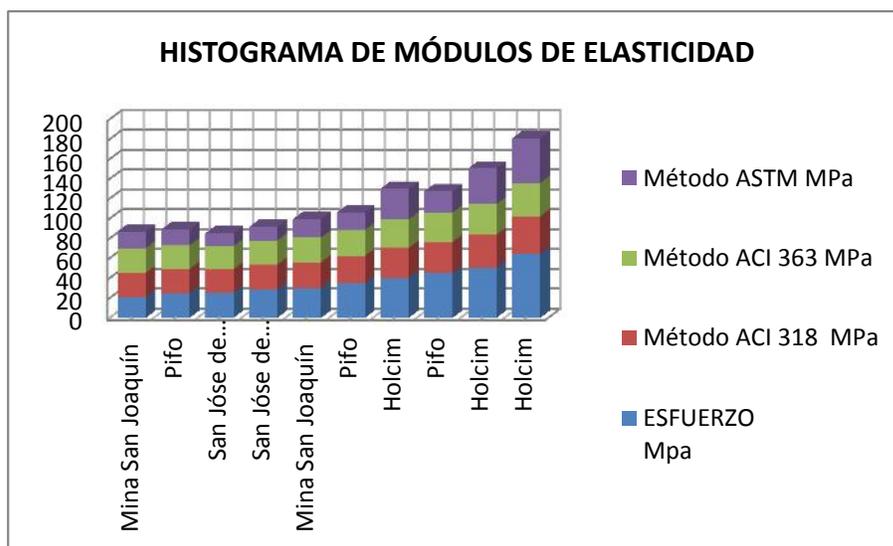


Figura 85. Módulos de elasticidad del hormigón según método de cálculo.

CAPÍTULO V

ANÁLISIS DE COSTOS

5.1. Introducción

En este capítulo se analiza el costo que tendrá el realizar hormigones de alto desempeño sin aditivo químico. El costo del hormigón está dado por el costo de los materiales utilizados, mano de obra y los equipos necesarios para producir este tipo de hormigones.

En vista que el cemento es el material indispensable para la producción del hormigón, este tendrá una mayor influencia en el costo de producción de HAD. También se debe considerar el costo del agregado que cada mina determina por metro cubico, al igual que el costo de transporte de agregado a la obra. De ahí que es necesario producir hormigones con materiales que sean aledaños al lugar de producción.

Se concluirá este análisis con la comparación de costos relativos de producción de hormigón con distintas clases de mezclas para diferentes resistencias a los 28 días.

5.2. Costo de producción de 1m^3 de hormigón estándar y de alto desempeño sin aditivos químicos.

El análisis de precio unitario es el costo de una actividad por unidad de medida elegida. Usualmente se compone de una valoración de los materiales, mano de obra, equipos y herramientas. (Martinez, 2011).

En esta parte se da a conocer el costo que conlleva la realización de hormigones dependiendo de la resistencia requerida, el método de cálculo o método de dosificación y sobre las cantidades de materiales que se vayan a utilizar para cumplir con esta especificación requerida en una determinada obra. Para conocer a detalle el costo de fabricación de hormigones según su resistencia requerida, se respalda este costo con las Tablas de precios unitarios.

Cuadro 20. Costo de realizar 1m^3 de hormigón $f'c = 210\text{ Kg/cm}^2$

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS "ESPE"					
NOMBRE DEL OFERENTE: DIEGO FERNANDO MUÑOZ YUGCHA					
TABLA DE DESCRIPCIÓN DE RUBROS, UNIDADES, CANTIDADES Y PRECIOS					
RUBRO No.	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO US. DÓLARES	PRECIO TOTAL US.
1	Producción de 1m^3 de hormigón convencional $f'c = 210\text{ Kg/cm}^2$	m^3	1,00	\$ 110,40	\$110,40
				TOTAL U.S. DÓLARES	\$ 110,40

Cuadro 21. Precios unitarios hormigón $f'c = 210 \text{ Kg/cm}^2$

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS						
RUBRO:	1			UNIDAD:	m3	
DETALLE:PRODUCCIÓN DE 1m3 DE HORMIGÓN CONVENCIONAL $f'c = 210 \text{ Kg/cm}^2$						
EQUIPO						
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	TARIFA	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO	
Herramienta menor	1,00	1,00	1,00	1,00	1,04	
Concretera	1,00	2,25	4,00	1,00	4,00	
Vibrador	1,00	2,25	2,25	1,00	2,25	
SUBTOTAL M						7,29
MANO DE OBRA						
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	JORNAL/HOR	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO	
Maestro mayor	1,00	2,71	2,71	1,00	2,71	
Albañil	2,00	2,61	5,22	1,00	5,22	
Peón	5,00	2,59	12,95	1,00	12,95	
SUBTOTAL N						20,88
MATERIALES						
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	COSTO		
Arena para hormigones	m3	0,31	27,80	8,62		
Ripio para hormigones	m3	0,5000	27,80	13,90		
Cemento	Saco	6,7	8,89	59,69		
Agua	m3	0,09	0,20	0,02		
SUBTOTAL O						82,23
TRANSPORTE						
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	COSTO		
Transporte de agregados	-	-	-	-		
SUBTOTAL P						-
TOTAL COSTOS DIRECTOS (M+N+O+P)						110,40

Cuadro 22. Costo de realizar 1m³ de hormigón f'c = 600 Kg/cm²

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS "ESPE"					
NOMBRE DEL OFERENTE: DIEGO FERNANDO MUÑOZ YUGCHA					
TABLA DE DESCRIPCIÓN DE RUBROS, UNIDADES, CANTIDADES Y PRECIOS					
RUBRO No.	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO DÓLARES	PRECIO TOTAL US. DÓLARES
2,00	PRODUCCIÓN DE 1m ³ DE HORMIGÓN DE ALTO DESEMPEÑO SIN ADITIVOS QUÍMICOS f'c = 600Kg/cm ²	m ³	1,00	\$ 252,49	\$ 252,49
TOTAL U.S. DÓLARES					\$ 252,49

Cuadro 23. Precios unitarios hormigón $f'c = 600 \text{ Kg/cm}^2$

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS						
RUBRO:	2			UNIDAD:	m3	
DETALLE:	PRODUCCIÓN DE 1m3 DE HORMIGÓN DE ALTO DESEMPEÑO SIN ADITIVOS QUÍMICOS $f'c = 600\text{Kg/cm}^2$					
EQUIPO						
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	TARIFA	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO	
Herramienta menor	1,00	1,00	1,00	1,00	1,69	
Vibrador	2,00	2,25	4,50	1,00	4,50	
Compactador	1,00	6,25	6,25	1,00	6,25	
SUBTOTAL M					12,44	
MANO DE OBRA						
DESCRIPCIÓN	CANTIDA D	JORNAL/H R	COSTO HORA	RENDIMIEN T O	COSTO	
Maestro mayor	1,00	2,71	2,71	1,00	2,71	
Albañil	4,00	2,61	10,44	1,00	10,44	
Peón	8,00	2,59	20,72	1,00	20,72	
SUBTOTAL N					33,87	
MATERIALES						
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDA D	PRECIO UNITARIO	COSTO		
Arena para hormigones	m3	0,01	27,80	0,14		
Ripio para hormigones	m3	0,36	27,80	10,01		
Cemento	sacos	21,96	8,89	195,26		
Agua	m3	0,13	2,00	0,26		
Aditivo mineral	kg	0,03	20,00	0,50		
SUBTOTAL O					206,17	
TRANSPORTE						
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDA D	PRECIO UNITARIO	COSTO		
TRANSPORTE DE AGREGADOS	-	-	-	-		
SUBTOTAL P					-	
TOTAL COSTOS DIRECTOS (M+N+O+P)					252,49	

5.3. Comparación de costos entre hormigones convencionales y hormigones de alto desempeño sin aditivos químicos.

A continuación se presentan gráficas en las cuales se visualiza las cantidades de materiales que se necesitan para cumplir los requisitos solicitados. Además se presenta como influye el costo por cantidad de cemento que se utiliza para cada dosificación.

El cemento es el material con mayor demanda de recuso económico que se requiere.

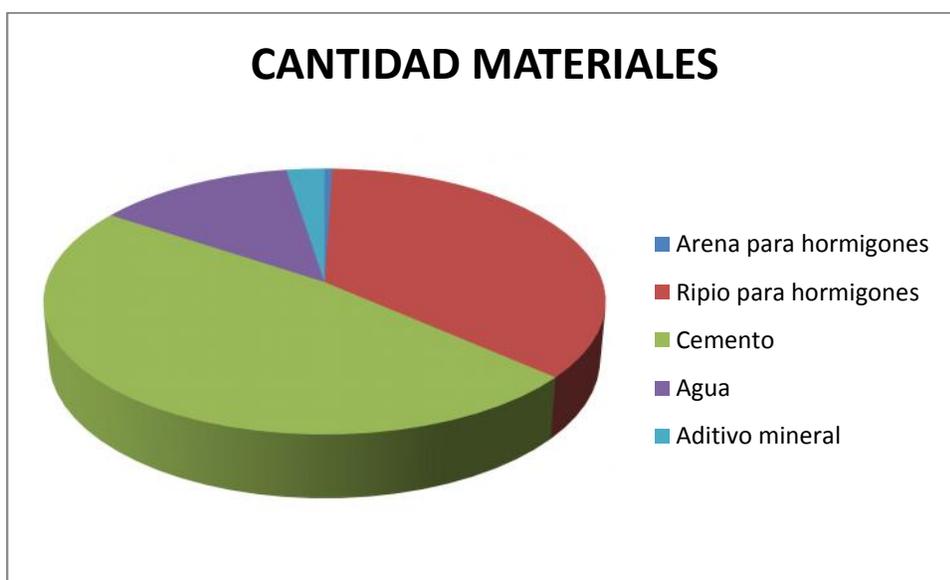


Figura 86. Cantidad de materiales necesarios para cumplir con el requerimiento de la elaboración de hormigón de $f'c = 600 \text{ Kg/cm}^2$

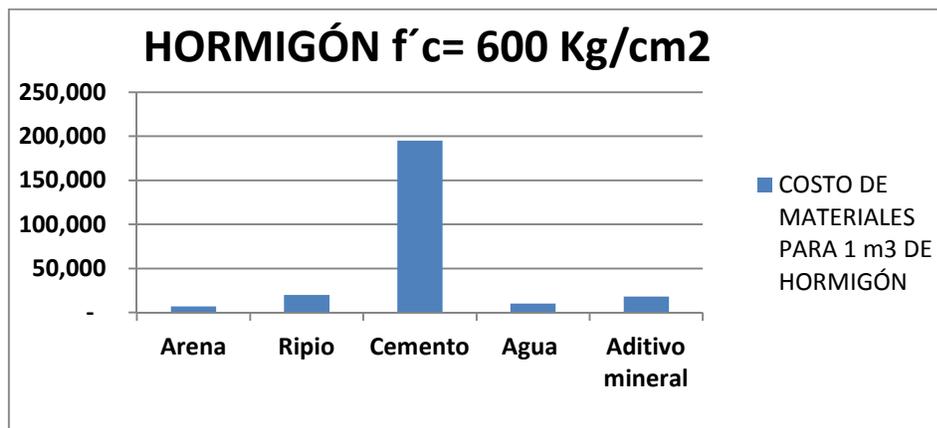


Figura 87. Costo de cada material para la elaboración de 1m^3 de hormigón de $f'c = 600 \text{ Kg/cm}^2$.

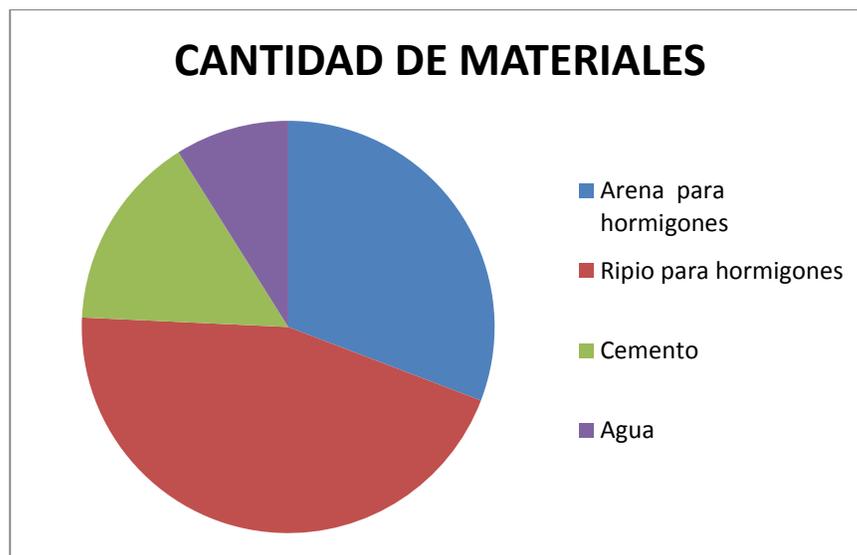


Figura 88. Cantidades de materiales necesarios para cumplir con el requerimiento de la elaboración de hormigón de $f'c = 210 \text{ Kg/cm}^2$

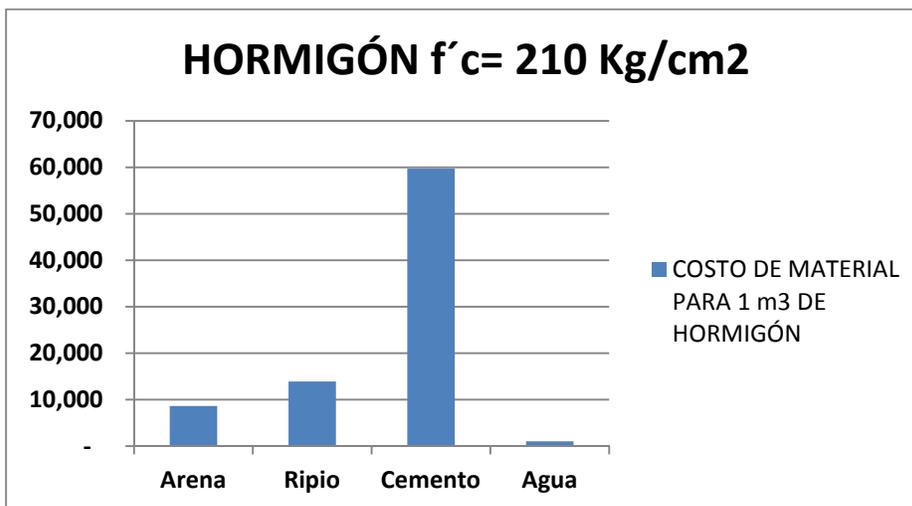


Figura 89. Costo de cada material para la elaboración de 1m³ de hormigón de $f'c = 210 \text{ Kg/cm}^2$

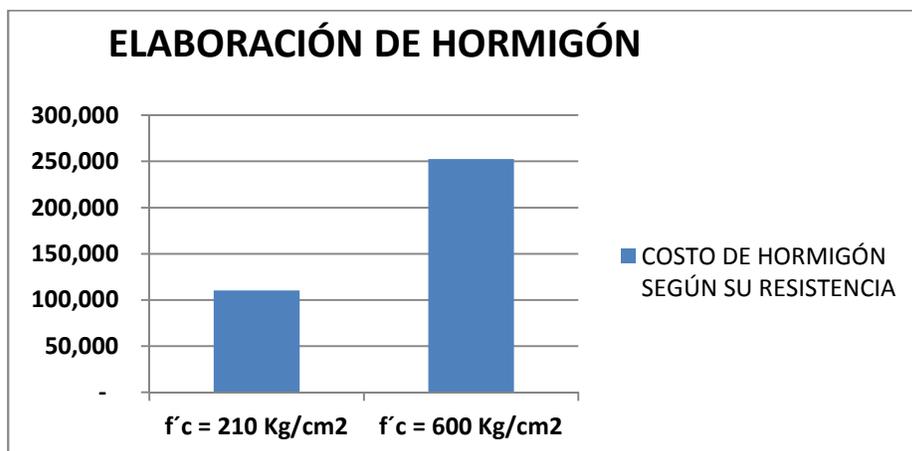


Figura 90. Comparación de costo que demanda la elaboración de hormigones según su resistencia a la compresión simple a los 28 días.

CAPÍTULO VI

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1. Conclusiones

Para alcanzar altas resistencias es necesario reducir la relación agua / cemento, ya que mientras menor cantidad de agua tenga la mezcla de hormigón, mayor será su resistencia a la compresión.

Debido a la baja cantidad de agua la mezcla obtenida es prácticamente seca. Por esta razón se implementa un método de compactación utilizando el martillo de Proctor Modificado, con el cual se reduce el índice de vacíos. El exceso de porosidad disminuye la resistencia del hormigón notablemente.

Se concluye que mientras menor es la cantidad de agregado fino, la mezcla de hormigones de Alto Desempeño sin aditivos químicos presenta mayor resistencia a la compresión.

Es importante el tamaño máximo nominal de los agregados gruesos que se utilicen en dosificaciones de Hormigones de Alto Desempeño, ya que mientras menor sea su tamaño máximo nominal el hormigón aumenta su resistencia.

Al momento de ensayar los especímenes de hormigón a la compresión, la aplicación del capping no altera los resultados finales. Para mejorar la distribución de esfuerzos en un cilindro de prueba, se puede utilizar las almohadillas de neopreno.

Se puede alcanzar altas resistencias a la compresión sin la presencia de aditivo mineral. Esto encarece el costo del hormigón por la presencia excesiva de cemento portland.

Se puede concluir que a mayor cantidad de cemento mayor es su resistencia, a su vez la falla que presenta es de tipo columnar y explosiva.

Se puede concluir según el histograma de resistencia a la compresión versus los días de ensayo (de diferentes autores), que la mayor resistencia obtenida en los especímenes de prueba corresponden a los empleados en la de esta investigación.

El módulo de elasticidad del hormigón está relacionado directamente con la resistencia a la compresión. Si la resistencia a la compresión aumenta, también aumenta su módulo de elasticidad. La determinación del módulo de elasticidad es muy importante en los análisis y modelamientos de las diferentes estructuras.

El resultado que se obtenga del módulo de elasticidad depende del método que se utilice para su cálculo. Así tenemos los módulos de elasticidad para una resistencia a la compresión de 65 MPa.

Método ACI 318	Método ACI 363	Método ASTM
37.75 MPa	33.56 MPa	44.90 MPa

Se puede concluir de la comparación de los módulos de elasticidad que este se encuentra relacionado con el tipo de agregado que se utilice en la mezcla de hormigón. Si el agregado es de buenas características, se consiguen módulos de elasticidad excelentes.

Como se puede observar en el capítulo cinco, la tabla de precios unitarios indica que el costo de hormigón varía según la resistencia a la compresión requerida. Mientras mayor es su requerimiento de resistencia, mayor será su costo de elaboración.

El costo de elaboración por metro cúbico de un hormigón convencional es de 110.40 USD y el costo de elaboración por metro cúbico de hormigón de alta resistencia es de 252.49 USD. Esto quiere decir que el costo por metro cúbico de hormigón de alto desempeño sin aditivo químico duplica al costo por metro cúbico de un hormigón convencional.

Se puede concluir que si se desea resistencias altas a la compresión del hormigón sin el uso de aditivos químicos, se tiene que aumentar la cantidad de cemento sin descuidar el agua de mezclado mínima necesaria que el cemento necesita para su hidratación. Exceso de agua da como resultado un hormigón con resistencia a la compresión pobre.

6.2. Recomendaciones

Se debe tener presente que para realizar un hormigón de alta resistencia, su granulometría debe ser de buena calidad, libre de impurezas ya que esta influye directamente en su resistencia.

Se recomienda usar agregados finos con un módulo de finura entre 2.5 a 3.5, ya que si son arenas muy finas, dificulta su compactación por ser una mezcla pegajosa.

Es recomendable no exceder en la proporción de materiales finos, ya que aumenta la pasta de la mezcla de hormigón y con ello aumenta el agua de mezclado, disminuyendo su resistencia.

Se recomienda en la fabricación de especímenes de prueba de hormigones de alto desempeño, compactar la mezcla de hormigón usando el martillo de Proctor Modificado 25 veces con el martillo de 2 pulgadas, y 60 veces con el martillo de 12 pulgadas. Con esto se consigue eliminar el aire acumulado de la mezcla.

Se recomienda utilizar en la mezcla de hormigones de alto desempeño, agregados libres de material orgánico. Esto impide una adherencia adecuada del agregado con la pasta, provocando segregación en el hormigón.

Para la elaboración de hormigones de alta resistencia sin aditivos químicos, el agregado grueso juega un papel muy importante. Mientras menor es su tamaño máximo nominal, mayor es su resistencia. Por esto se recomienda usar agregados gruesos con un tamaño máximo nominal de ½ pulgada.

Se recomienda usar aditivo mineral, en un porcentaje no mayor al 10% del peso total de cemento que se va utilizar en la mezcla de hormigón de alto desempeño. Un porcentaje mayor, dificulta su compactación por tener un exceso de finos en la mezcla.

6.3. Bibliografía

A., I. M. (s.f.). *slideshare(mfvalarez/@gmail.com)*. Obtenido de

<http://es.slideshare.net/mfvalarezo/capping>

Arequipa Maldonado Edison Rolando, C. W. (2012).

www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/78/Tesis-Modulo de elasticidad-

agregado-Latacunga. Obtenido de

https://www.google.com.ec/?gfe_rd=cr&ei=GWWTVO6DMtKIqQX714HoCg&gws_rd=ssl#q=repositorio+facultad+ingenieria+civil+universidad+central+del+ecuador

Borja León Libio Patricio, C. V. (2010). *Tesis/Modulo de elasticidad/UCE*. Obtenido de

<http://www.dspace.uce.edu.ec/>

Carrasco, I. M. (2009). AGUA PARA MORTEROS Y HORMIGONES. *Tecnología del*

Hormigón - Ingeniería Civil, UNIDAD 4. Obtenido de

www.frsf.utn.edu.ar/matero/visitante/bajar_apunte.php?id_catedra_PDF

García Chowell, L., & Huerta Martínez, R. (2005). *Concreto de alta Resistencia*.

Mexico: ISBN 968-464-146-X.

GUÍA ACI 211.4R. (s.f.). CONCRETO DE ALTA RESISTENCIA. *CONCRETO DE*

ALTA RESISTENCIA.

<http://es.scribd.com/doc/58060200/31/DENSIDADES>. (s.f.).

http://es.scribd.com/doc/58060200/31/DENSIDADES. Obtenido de

<http://es.scribd.com/doc/58060200/31/DENSIDADES>:

<http://es.scribd.com/doc/58060200/31/DENSIDADES>

Ibaquingo, A. (Noviembre de 2012). *T-ESPE-034439 andrea imbaquingo*. Obtenido de repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/5967/1/T-ESPE-034439.pdf

INEN, N. N. (2011). Norma NT INEN 861.

Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto. (2005). Guía para seleccionar las proporciones para concreto de alta resistencia con cemento Portland y ceniza volante. (I. R. Martínez, Ed.) *CRONCRETO DE ALTA RESISTENCIA*, 1-21.

Martinez, B. (6 de Febrero de 2011). *bladimirmartinezz.blogspot.com*. Obtenido de <http://bladimirmartinezz.blogspot.com/2011/02/analisis-de-precios-unitarios.html>

Milky, M. (s.f.). www.scribd.com/doc/14471810. Obtenido de <http://www.scribd.com/doc/14471810/Ensayo-de-resistencia-a-la-compresion-en-cilindros-normales-de-concreto>

Vásquez, D. I. (s.f.). *ADICIONALES MINERALES; NORMAS Y APLICACIONES*.

Obtenido de www.asocem.org:

https://www.google.com.ec/?gfe_rd=cr&ei=k_taVPrIIsLB8gfTg4G4Ag&gws_rd=ssl#q=ADICIONES+MINERALES%3B+%0B%0BNORMAS+Y+APLICACIONES%0B

veliz, I. J. (s.f.). *www.tecnologiadelconcreto.com*. Obtenido de

www.tecnologiadelconcreto.com:

<http://www.ingenieriacivil.com/2007/09/determinación-de-la-finura-del-cemento.html>