

EFFECTO DE LA COMPACTACION EN LA RESISTENCIA A FLEXION Y A COMPRESION
DEL CONCRETO

CARLOS WILBER PLAZAS VARGAS

UNIVERSIDAD DEL CAUCA
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL
DEPARTAMENTO DE GEOTECNIA
POPAYÁN
2006

EFFECTO DE LA COMPACTACION EN LA RESISTENCIA A FLEXION Y A COMPRESION
DEL CONCRETO

Trabajo de grado presentado como requisito parcial para optar al título de Ingeniero Civil

CARLOS WILBER PLAZAS VARGAS

Director

GERARDO ANTONIO RIVERA LOPEZ

Ingeniero Civil

Msc .en Ingeniería Civil con Especialización en vías

UNIVERSIDAD DEL CAUCA
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL
DEPARTAMENTO DE GEOTECNIA
POPAYÁN

2006

AGRADECIMIENTOS

El autor expresa sus agradecimientos a:

Gerardo Antonio Rivera, Ingeniero Civil y Director de la investigación, por sus valiosos aportes, orientaciones y constante motivación.

Hugo León Arenas, Ingeniero Civil y Director de los Laboratorios de Materiales, Suelos y Pavimentos de la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad del Cauca, por las facilidades de usar los equipos e instalaciones de laboratorio.

Personal del Laboratorio Materiales, Suelos y Pavimentos de la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad del Cauca, por su colaboración y ayuda en el suministro de equipo y elementos necesarios.

A la empresa Concreto de Occidente. En especial a Andrés Ordóñez por su colaboración y ayuda en el suministro de equipo, materiales y elementos necesarios.

Comité de Investigación de La Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad del Cauca, por su colaboración y la confianza depositada para llevar a cabo esta investigación. En especial al grupo de Geotecnia Vial.

NOTA DE ACEPTACIÓN

Firma del Director

Firma del Jurado

Firma del Jurado

Popayán, abril de 2006

TABLA DE CONTENIDO

	Página
AGRADECIMIENTOS	iv
NOTA DE ACEPTACIÓN	v
TABLA DE CONTENIDO	vi
LISTA DE TABLAS	x
LISTA DE FIGURAS	xiii

CAPÍTULO

1.1 GENERALIDADES.....	15
1.2 OBJETIVOS.....	15
2.0 E L CONCRETO.....	16
3.0 PROPIEDADES FISICAS DE LOS MATERIALES QUE COMPONEN LA MEZCLA DE CONCRETO.....	19
3.1 CEMENTO.....	19
3.1.1 Densidad.....	19
3.1.2 Finura.....	20
3.1.3 Fraguado.....	20
3.2 AGREGADOS FINOS Y GRUESOS.....	21
3.2.1 Granulometría.....	21
3.2.2 Densidad Aparente.....	23
3.2.3 Densidad y absorción de los agregados gruesos.....	24
3.2.4 Densidad y absorción de los agregados finos.....	25
3.3 ADITIVO UTILIZADO EN LAS MEZCLAS DE CONCRETO.....	26
3.4 METODO DE DOSIFICACION.....	27
4.0 ELABORACION DE MEZCLAS.....	36
4.1 INTRODUCCIÓN.....	36
4.2 VOLUMEN DE CONCRETO.....	36
4.3 CANTIDAD DE MATERIAL POR CADA MEZCLA.....	38
4.3.1 MEZCLAS DE BAJA RESISTENCIA.....	38
4.4 MEZCLAS DE MEDIANA RESISTENCIA.....	40
4.4.1 Ajuste por Humedad del Agregado.....	41
4.5 MEZCLAS DE ALTA RESISTENCIA.....	42
4.5.1 Ajuste por Humedad del Agregado.....	42
4.6 ELABORACIÓN DE CONCRETO FRESCO.....	44
4.7 CANTIDAD DE AIRE ATRAPADO.....	46
4.8 ROTURA DE CONCRETO ENDURECIDO.....	48
4.9 ROTURA DE LAS VIGAS DE CONCRETO.....	53
5.0 ANALISIS DE RESULTADOS.....	56
5.1 EN LOS CILINDROS DE CONCRETO.....	56

5.1.1	<i>Variación del Contenido de Aire Atrapado en las Mezclas de Concreto de Acuerdo con la Energía de Compactación.</i>	56
5.1.2	<i>Efecto de la Energía de Compactación Sobre la Resistencia a la Compresión.</i>	60
5.1.3	<i>Relación entre el Contenido de Aire Atrapado en las Mezclas y la Resistencia a la Compresión.</i>	64
5.2	EN LAS VIGAS DE CONCRETO	70
5.2.1	<i>Efecto de la Energía de Compactación Sobre la Resistencia a la Flexión o Modulo de Rotura</i>	70
5.3	CORRELACION ENTRE LA RESISTENCIA A COMPRESION DE LOS CILINDROS Y EL MODULO DE ROTURA DE LAS VIGAS.	73
5.3.1	<i>Correlación entre la resistencia a flexión y la resistencia a compresión a los 28 días para la mezcla de baja resistencia.</i>	76
5.3.2	<i>Correlación entre la resistencia a flexión y la resistencia a compresión a los 28 días para la mezcla de mediana resistencia.</i>	77
5.3.3	<i>Correlación entre la resistencia a flexión y la resistencia a compresión a los 28 días para la mezcla de alta resistencia.</i>	79
6.0	CONCLUSIONES	83
6.1	ANEXO 1. CEMENTO	85
6.1.1	<i>Densidad del cemento Pórtland.</i>	85
6.1.2	<i>Tiempo de fraguado del cemento</i>	86
6.1.3	<i>Finura de Blaine</i>	87
6.1.4	<i>Datos de ensayo</i>	87
6.1.5	<i>Finura % pasa # 200.</i>	87
6.2	ANEXO 2. AGREGADOS GRUESOS	88
6.2.1	<i>Análisis Granulométrico</i>	88
6.2.2	<i>Densidad del Agregado Grueso</i>	90
6.2.3	<i>Peso Unitario</i>	91
6.2.4	<i>Índice de Aplanamiento y Alargamiento del Agregado Grueso.</i>	92
6.3	ANEXO 3. AGREGADOS FINOS	93
6.3.1	<i>Granulometría</i>	93
6.3.2	<i>Peso Específico</i>	95
6.3.3	<i>Equivalente de Arena</i>	95
6.3.4	<i>Peso Unitario Suelto Agregado Fino</i>	96
6.4	ANEXO 4. HUMEDADES	98
	<i>Humedad de material.</i>	98
6.4.1	<i>Humedad del Material para mezcla de baja resistencia.</i>	98

6.4.2	<i>Humedad del Material para mezcla de alta resistencia.....</i>	99
6.4.3	<i>Humedad del Material para mezcla de mediana resistencia.....</i>	100
6.5	ANEXO 5. CORRELACIÓN ENTRE EL MODULO DE ROTURA A LOS 28 DÍAS Y RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN A LOS 28 DÍAS.....	101
6.5.1	<i>Correlación entre la resistencia a flexión a los 28 días y la resistencia a compresión para la mezcla de baja resistencia.....</i>	101
6.5.2	<i>Correlación entre la resistencia a flexión a los 28 días y la resistencia a compresión para la mezcla de mediana resistencia.....</i>	102
6.5.3	<i>Correlación entre la resistencia a flexión a los 28 días y la resistencia a compresión para la mezcla de alta resistencia.....</i>	103
	7. FICHA TECNICA DEL ADITIVO	
	8. BIBLIOGRAFIA	

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Ensayos realizados al cemento Pórtland.....	21
Tabla 2. Granulometría del agregado grueso.....	22
Tabla 3. Granulometría del agregado fino.....	23
Tabla 4. Densidad aparente seca y porcentaje de absorción de los agregados.....	25
Tabla 5. Gradación de los materiales y granulometría ideal.	29
Tabla 6. Relación agua/cemento y resistencia de las mezclas.....	32
Tabla 7. Proporciones para mezcla de mediana resistencia.....	34
Tabla 8. Proporciones para mezcla de baja resistencia.	35
Tabla 9. Proporciones para mezcla de alta resistencia.	35
Tabla 10. Resistencia promedio a la compresión de las mezclas.	36
Tabla 11. Variación de las energías de compactación.....	37
Tabla 12. Volúmenes de concreto empleados para las mezclas.	38
Tabla 13. Humedades de los agregados para la mezcla de baja resistencia.	39
Tabla 14. Ajuste por humedad para la mezcla de baja resistencia.	39
Tabla 15. Cantidades de material para la mezcla de baja resistencia.	40
Tabla 16. Humedades de los agregados para la mezcla de mediana resistencia.	40
Tabla 17. Ajuste por humedad para la mezcla de mediana resistencia.	41
Tabla 18. Cantidades de materiales para la mezcla de mediana resistencia.	41
Tabla 19. Humedades de los agregados para la mezcla de alta resistencia.	42
Tabla 20. Ajuste por humedad para la mezcla de alta resistencia.	43
Tabla 21. Cantidades de material para la mezcla de alta resistencia.	43
Tabla 22. Cantidad de aire atrapado en la mezcla de baja resistencia.....	47
Tabla 23. Cantidad de aire atrapado en la mezcla de mediana resistencia.	47
Tabla 24. Cantidad de aire atrapado en la mezcla de alta resistencia.....	48
Tabla 25. Número de pruebas para cilindros y vigas de hormigón.	50
Tabla 26. Resistencia a la compresión para la mezcla de baja resistencia.	51
Tabla 27. Resistencia a la compresión para la mezcla de mediana resistencia.	52

Tabla 28. Resistencia a la compresión para la mezcla de alta resistencia.	52
Tabla 29. Resistencia a la flexión para la mezcla de baja resistencia con un asentamiento comprendido entre 2.5cm y 7.5cm.	53
Tabla 30. Resistencia a flexión para la mezcla de mediana resistencia con un asentamiento comprendido entre 2.5cm y 7.5cm.	54
Tabla 31. Resistencia a la flexión para la mezcla de alta resistencia con un asentamiento comprendido entre 2.5cm y 7.5cm.	54
Tabla 32. Relación entre la energía de compactación y contenido de aire, para la mezcla de baja resistencia.....	56
Tabla 33. Relación entre la energía de compactación y contenido de aire, para la mezcla de mediana resistencia.....	57
Tabla 34. Relación entre la energía de compactación y contenido de aire, para la mezcla de alta resistencia.	58
Tabla 35. Relación entre la resistencia a compresión y el contenido de aire, para la mezcla de baja resistencia.....	64
Tabla 36. Relación entre la resistencia a compresión y el contenido de aire, para la mezcla de mediana resistencia.....	66
Tabla 37. Relación entre la resistencia a compresión y el contenido de aire, para la mezcla de alta resistencia.....	67
Tabla 38. Correlación entre el módulo de rotura y la Resistencia a la compresión, a los 28 días.....	76
Tabla 39. Correlación entre el módulo de rotura y la Resistencia a la compresión a los 28 días.....	78
Tabla 40. Correlación entre el modulo de rotura y la Resistencia a la compresión a los 28 días.....	79
Tabla 41. Correlación entre el modulo de rotura y la Resistencia a la compresión, a los 28 días para las tres mezclas.....	81
Tabla 42. Densidad del cemento Pórtland.	85
Tabla 43. Tiempo de fraguado del cemento.	86
Tabla 44. Finura % pasa # 200	87

Tabla 45. Granulometría del agregado grueso.....	88
Tabla 46. Ensayo de densidad en agregado grueso.	90
Tabla 47. Peso Unitario Suelto del Agregado Grueso.....	91
Tabla 48. Peso unitario compactado Agregado Grueso	91
Tabla 49. Índice de aplanamiento.....	92
Tabla 50. Índice de alargamiento.	92
Tabla 51. Granulometría de agregado fino.....	93
Tabla 52. Peso específico Agregado Fino.	95
Tabla 53. Equivalente de arena.....	96
Tabla 54. Peso unitario suelto Agregado Fino.	96
Tabla 55. Peso unitario Compacto Agregado Fino.....	97
Tabla 56. Humedad de agregado fino para mezcla de baja resistencia.	98
Tabla 57. Humedad de agregado grueso para mezcla de baja resistencia.....	98
Tabla 58. Humedad de agregado fino para mezcla de alta resistencia.	99
Tabla 59. Humedad de agregado grueso para mezcla de alta resistencia.....	99
Tabla 60. Humedad de agregado fino para mezcla de mediana resistencia.	100
Tabla 61. Humedad de agregado grueso para mezcla de mediana resistencia.....	100

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Agregado grueso	26
Figura 2. Ajuste granulométrico por el método grafico	30
Figura 3. Curvas granulométricas.....	31
Figura 4. Mezcla mecánica y ensayo de asentamiento.....	45
Figura 5 .Desencofrado y curado de las vigas.....	45
Figura 6. Se muestra el refrentado y rotura de cilindros y vigas de hormigón.....	49
Figura 7. Rotura de cilindros de concreto.	50
Figura 8. Rotura de las vigas de concreto.....	53
Figura 9. Falla de las vigas en su tercio central.....	55
Figura 10. Relación entre el contenido de aire atrapado y la energía de compactación. para la Mezcla de baja resistencia	57
Figura 11. Relación entre el contenido de aire atrapado y la energía de compactación para la Mezcla de mediana resistencia.	58
Figura 12. Relación entre el contenido de aire atrapado y la energía de compactación para la Mezcla de alta resistencia.	59
Figura 13. Relación entre la energía de compactación y la resistencia a compresión para la mezcla de baja resistencia.....	62
Figura 14. Relación entre la energía de compactación y la resistencia a compresión para la mezcla de mediana resistencia.....	62
Figura 15. Relación entre la energía de compactación y la resistencia a compresión para la mezcla de alta resistencia.	63
Figura 16. Variación de la resistencia a la compresión con las energías de compactación. 63	
Figura 17. Relación entre la resistencia a compresión y el contenido de aire, para la mezcla de baja resistencia.....	65
Figura 18. Relación entre la resistencia a compresión y el contenido de aire, para la mezcla de mediana resistencia.....	66
Figura 19. Relación entre la resistencia a compresión y el contenido de aire, para la mezcla de alta resistencia.....	68

Figura 20. Relación entre la energía de compactación y el módulo de rotura para la mezcla de baja resistencia.....	70
Figura 21. Relación entre la energía de compactación y el módulo de rotura para la mezcla de mediana resistencia.....	71
Figura 22. Relación entre la energía de compactación y el módulo de rotura para la mezcla de alta resistencia.....	71
Figura 23. Variación entre la resistencia a la compresión y el módulo de rotura.	74
Figura 24. Relación entre la resistencia a flexión y la resistencia a compresión para la mezcla de baja resistencia.....	77
Figura 25. Relación entre la resistencia a flexión y la resistencia a compresión para la mezcla de mediana resistencia.....	78
Figura 26. Relación entre la resistencia a flexión y la resistencia a compresión para la mezcla de alta resistencia	80
Figura 27. Relación entre la resistencia a flexión y la resistencia compresión para las tres mezclas.	82
Figura 28 . Curva de tiempo vs. Penetración.....	86
Figura 29. Curva granulométrica del agregado grueso.....	89
Figura 30. Curva granulométrica de agregados finos.....	94

1 INTRODUCCIÓN

1.1 GENERALIDADES

Este trabajo presenta el marco conceptual, desarrollo y resultados de los ensayos realizados para la determinación de la variación de la resistencia a compresión y la resistencia a la flexión bajo diferentes energías de compactación en cilindros y vigas de concreto.

1.2 OBJETIVOS

Evaluar el efecto de la compactación en la resistencia a la compresión para mezclas de concreto cuyas resistencias estén entre 15-30 Mpa estimando a su vez el efecto en la resistencia a la flexión para cada una de las mezclas elaboradas para un asentamiento 2.5-7.5cm.

Analizar el contenido de aire para cada una de las mezclas y su relación con la resistencia a compresión.

Encontrar para los concretos elaborados en la investigación la relación entre la resistencia a la compresión y la resistencia a la flexión.

2 EL CONCRETO

El concreto es un material de construcción no homogéneo, compuesto de cemento, agua, agregado fino, agregado grueso y en algunos casos aditivos, el cual sirve para soportar esfuerzos de compresión y darle un recubrimiento al refuerzo.

Actualmente se realizan ensayos normalizados a compresión en moldes cilíndricos de concreto de (15cm de diámetro por 30cm de altura) y ensayos a flexión en vigas simplemente apoyadas de (15.0cm*15.0cm con una longitud de 50cm), bajo el criterio de las Normas Técnicas Colombianas para el sector de la construcción (NTC). Estos ensayos son importantes porque permiten evaluar y llevar un control de las resistencias del concreto en las obras, lo cual determina la seguridad de las estructuras; lo que permite prever su comportamiento en el tiempo, bajo amenazas naturales o humanas que pongan en riesgo la funcionalidad y seguridad de las estructuras.

Particularmente en el hormigón, medir la capacidad o resistencia a la compresión es relativamente sencillo comparado con las mediciones de tracción o flexión; la resistencia a la compresión se mide con una prensa, que aplica carga sobre la cara superior del cilindro a una velocidad especificada mientras ocurre la falla, por lo que se utiliza la resistencia a compresión del hormigón como medida de su calidad.

La resistencia mecánica es la capacidad de un material de resistir esfuerzos ya sean de compresión, tracción, flexión o combinaciones de ellas; las cuales definen la aptitud de los materiales para ser utilizados en distintas aplicaciones estructurales, la resistencia a la compresión se puede definir como la máxima resistencia medida de un espécimen estándar de concreto a carga axial.

La forma de expresar la resistencia a compresión simple es generalmente en términos de esfuerzos, generalmente en kilogramos por centímetro cuadrado (Kg / cm^2) ó en (Mpa) a una edad de 28 días, se le designa con el símbolo $f'c$. La forma de evaluar la resistencia a compresión del concreto será mediante pruebas que pueden ser destructivas o no destructivas, las cuales permiten probar repetidamente la muestra donde se puede estudiar la variación de la resistencia y otras propiedades.

Para las pruebas destructivas se puede obtener la resistencia por medio del ensayo de cubos que es menos generalizado que el ensayo de cilindros pero muy utilizado en Gran Bretaña y Alemania, también se puede obtener la resistencia a la compresión del concreto con el ensayo del prisma el cual es menos utilizado que el ensayo de cilindros y el ensayo de cubos, muy empleado en Francia. Por último tenemos el ensayo de cilindros que es el ensayo universalmente más reconocido y utilizado en Colombia para determinar la resistencia a la compresión en el concreto, los procedimientos relativos a este ensayo se encuentran consignados en la norma NTC (550) que hace referencia a la elaboración de los cilindros y NTC (673) referida al ensayo de resistencia a la compresión. Otras de las características mecánicas del concreto endurecido que reviste gran importancia es su resistencia a la flexión, especialmente en estructuras de concreto simple tales como pavimentos donde adicionalmente aparecen esfuerzos de tracción, dicha propiedad tiene importancia en el agrietamiento del concreto debido a las contracciones inducidas por secado o disminución de la temperatura. La resistencia a la flexión del concreto se determina ensayando vigas de sección cuadrada de 55.0cm de longitud por 15cm de lado, elaboradas y curadas de acuerdo a las normas ASTM C-192 Y C -31. Para los ensayos de resistencia a compresión y resistencia a la flexión se utiliza una varilla que será lisa de acero estructural de forma cilíndrica con un diámetro de 16mm y una longitud de 600mm, de punta redondeada.

El hormigón se colocara en moldes en tres capas de igual volumen aproximadamente y cada capa se compacta con un número de golpes como lo indica la NTC (1377) , o se utilizara el método de vibrado ya sea (interno o externo), este método consistirá en someter al concreto a una serie de sacudidas y con frecuencias elevadas, bajo este efecto la masa de concreto que se halla en estado más o menos suelto según su fluidez se ira asentando gradualmente , reduciendo notoriamente el volumen de aire incluido. Se podrá escoger varillado o vibrado dependiendo de la consistencia o fluidez de la mezcla.

3 PROPIEDADES FISICAS DE LOS MATERIALES QUE COMPONEN LA MEZCLA DE CONCRETO

En este capítulo se presenta los ensayos realizados al cemento Pórtland (Conquistador) y los ensayos de densidad, humedad y granulometría, peso unitario suelto, peso unitario compacto índice de aplanamiento, índice de alargamiento (donde los ensayos de pesos unitarios y índices se presentan en Anexos N° 2 y 3), estos ensayos se realizaron a los agregados finos y gruesos. El material grueso es un triturado de Yumbo -Valle con un tamaño máximo nominal de (3/4”) y el material fino procede de la fuente de Guayacanes del Río (Cauca). Se utilizó un aditivo plastificante de marca Puzzolith.

Todas estas propiedades se requieren para dosificar las mezclas de concreto, como dichos materiales son utilizados en las centrales de mezclas (Concrecauca), no se realizaron ensayos relacionados con la calidad del material.

3.1 CEMENTO

3.1.1 Densidad

La densidad del cemento Pórtland varía generalmente entre 2.9-3.20 gr./ml dependiendo básicamente de la cantidad y densidad del material puzolánico que se le adicione. La densidad de un cemento no indica la calidad del mismo; su uso principal radica en dosificación y control de mezclas. [3]

La densidad del cemento se determino con base en la norma INCONTEC 221, la cual establece el procedimiento de laboratorio para tal fin. La principal aplicación de la densidad del cemento Pórtland, se basa en el diseño y control de mezclas. Para la determinación de la densidad se debe emplear Kerosene o nafta con una gravedad no inferior a 62° A.P.I.

El ensayo consiste en establecer el volumen correspondiente a un peso de cemento de (64gr), con el frasco de LE CHATELIER, por el desplazamiento de un líquido colocado dentro del frasco. Dicha densidad debe determinarse así:

$$Densidad = \frac{Peso\ del\ Cemento\ (gr)}{Volumen\ Desplazado(ml)}$$

3.1.2 Finura

La importancia de la finura en el cemento Pórtland radica en que a mayor finura el cemento desarrolla mayor resistencia pero desprende más calor. La medida de la finura se expresa por el área de las partículas contenidas en un peso unitario del material, expresándose en unidades de área por unidades de peso por ejemplo cm^2/gr o mt^2/kg .

La finura del cemento se puede medir por tamizado (norma ICONTEC 226) o con el permeámetro de Blaine (norma ICONTEC 33) o con el turbidímetro de Wagner (norma ICONTEC 597). [4]

Con el ensayo de tamizado no se puede determinar específicamente el tamaño de las partículas de cemento que pasan en el tamiz, este ensayo es simplemente de chequeo.

El ensayo que determina la finura del cemento con el permeámetro de BLAINE, sirve de control de calidad del cemento, y se basa en la medida de la permeabilidad que ofrece una capa de cemento, colocada en determinadas condiciones de compactación al paso del aire.

3.1.3 Fraguado

El fraguado del cemento Pórtland no es más que el paso de la mezcla de estado fluido a estado sólido, utilizándose en la práctica los términos de fraguado inicial y fraguado final para describir las etapas del fraguado. Los tiempos de fraguado de la mezcla, se emplean como control de calidad del cemento (norma ICONTEC 121), y se puede determinar con las agujas de GILLMORE (norma ICONTEC 109) o con el aparato de VICAT utilizándose este último método para la determinación de los tiempos de fraguado del cemento Pórtland que compone las mezclas de concreto, este método es el más utilizado para determinar los tiempos de fraguado.

Las propiedades del cemento, tales como Densidad, Tiempo de Fraguado, Finura, se evaluaron según la Norma ICONTEC y el resumen de los resultados se presentan en la Tabla 1.

Los cálculos correspondientes a la determinación de la densidad del cemento, finura y tiempo de fraguado se presentan en el ANEXO N°1.

Tabla 1. Ensayos realizados al cemento Pórtland

		Muestra	Muestra	Muestra	
Muestra	Norma	1	2	3	Promedio
Densidad (gr/cm ³)	ICONTEC 221	2.98	2.99	2.98	2.99
Tiempo de Fraguado (min)	ICONTEC 118	Tiempo de fraguado inicial = 153		Tiempo de fraguado final = 172	
Finura de Blaine (cm ² /gr)	ICONTEC 33	3027.5	3027.5	3027.5	3027.5
Finura % pasa Tamiz #200	ICONTEC 294	99.84	99.94	99.90	99.89

3.2 AGREGADOS FINOS Y GRUESOS

3.2.1 Granulometría

La granulometría es la distribución de los tamaños de las partículas que constituyen una masa de agregados. Se determina mediante el análisis granulométrico que consiste en dividir una muestra representativa del agregado en fracciones según el tamaño de partículas; la medida de cuantía de cada fracción expresada como porcentaje pasa en cada abertura de los tamices seleccionados, se denomina como granulometría.

El análisis granulométrico consiste en hacer pasar el agregado a través de una serie de tamices que tienen aberturas cuadradas y cuyas características se ajustan a la Norma ICONTEC 32. La designación del tamiz se hace de acuerdo a la abertura de la malla medida en milímetros.

El tamizado debe efectuarse cumpliendo con la norma ICONTEC 77, en la que se describe el tamaño de la muestra a ensayar y el procedimiento a seguir para realizar un análisis granulométrico.

Los resultados deben presentarse en forma tabulada y para una mejor interpretación se representa gráficamente el análisis granulométrico a lo que se llama la Curva Granulométrica. El resumen de los resultados de las granulometrías de los agregados se presentan en las Tabla 2 y Tabla 3.

Los cálculos correspondientes a la determinación de las granulometrías y sus respectivas curvas granulométricas de los agregados gruesos y finos se presentan en el anexo N°2.y N°3.

Tabla 2. Granulometría del agregado grueso.

TAMICES	% PASA
1"	100
3/4"	76
1/2"	33
3/8 "	15
N° 4	5
N ° 10	4
Pasa 10	0

Tabla 3. Granulometría del agregado fino.

Tamices	% Pasa
1/4"	100
N° 4	95
N° 8	88
N° 10	85
N° 16	73
N° 30	56
N° 50	29
N° 100	10
N° 200	5.21
Pasa N° 200	0

En la Norma ICONTEC 174 se dan las especificaciones granulométricas, tanto para agregado grueso como para agregado fino a utilizar en concretos.

3.2.2 Densidad Aparente

La Densidad Aparente es la masa promedio de la unidad de volumen de las partículas del agregado incluyendo poros permeables como poros impermeables. La de los agregados gruesos se determina de acuerdo con la Norma ICONTEC 221. El ensayo consiste en tomar una muestra del agregado en estado S.S.S. (Saturado y Superficialmente Seco), se pesa en el aire y sumergido en el agua, luego se pone a secar hasta peso constante y por diferencia de pesos y con base en el volumen desalojado se calcula la densidad aparente.

La densidad aparente del agregado fino se halla de acuerdo con la norma ICONTEC 237. El ensayo consiste en tomar una muestra del agregado en estado S.S.S. (Saturado y Superficialmente Seco), se coloca en un matraz con agua y se pesa.

Luego se pone a secar hasta peso constante; y por diferencia de pesos y con base en el volumen desalojado se calcula la densidad aparente.

La densidad aparente no es una medida de la calidad del agregado, sin embargo una densidad baja puede indicar un agregado de estructura porosa de mala calidad; la mayor parte de los agregados de peso normal tienen una densidad que varía generalmente entre 2.4-2.8 Kg. /dm³.

3.2.3 Densidad y absorción de los agregados gruesos

Se desarrollo con base en la norma ICONTEC 221, la cual, establece los parámetros para la determinación del peso específico y la absorción de los agregados gruesos. El ensayo consiste en tomar una muestra del agregado en estado S.S.S (saturado y superficialmente seco), se pesa en el aire y sumergido en el agua, donde luego se coloca a secar hasta peso constante, y por diferencias de pesos y con base en el volumen desalojado se determina la densidad aparente Este ensayo se determina por la siguiente expresión:

$$\text{Densidad Aparente} = \frac{M}{M_s - M_i} \qquad \% \text{ de Absorción} = \frac{M_s - M}{M} \times 100$$

Donde:

M= Masa en gramos de la muestra seca

M_s = Masa en gramos de la muestra saturada y seca superficialmente.

M_i = Masa en gramos de la muestra sumergida en agua.

3.2.4 Densidad y absorción de los agregados finos

Desarrolladas bajo los parámetros establecidos por la norma INCONTEC 237, la cual tiene como objetivo determinar la densidad y la absorción de los agregados finos. Este ensayo consiste en obtener una cantidad del material en estado S.S.S, donde se coloca en una probeta con agua y se pesa. Luego se procede a secar hasta peso constante; y por diferencias de pesos y con base en el volumen desalojado se determina la densidad aparente. Este ensayo se determina mediante la siguiente expresión:

$$Densidad = \frac{G}{V - G_a - (500 - G)}$$

$$\% \text{ de Absorción} = \frac{500 - G}{G} \times 100$$

Donde:

G = Peso de la muestra seca, en gramos

G_a = Peso o volumen añadida a la muestra, expresado en gr o ml. según el caso

V = volumen de la probeta ml³

% de absorción = (500-G)/G*100

El resumen de las propiedades de los agregados se presenta en la Tabla 4.

Los cálculos correspondientes a la determinación de la densidad aparente seca y porcentaje de absorción de los agregados se presentan en el anexo N° 2 y N° 3.

Tabla 4. Densidad aparente seca y porcentaje de absorción de los agregados.

Agregado	Granulometría TM, TMN ,MF	Densidad Aparente Seca	% de Absorción
Norma	INCONTEC 77	INCONTEC 176, 237	INCONTEC 176, 237
Fino	Los resultados se presentan en los anexos 2 y 3.	2.55	2.23
Grueso		2.67	0.90

3.3 ADITIVO UTILIZADO EN LAS MEZCLAS DE CONCRETO

Para la elaboración de las mezclas de concreto se utilizó un aditivo plastificante o reductor de agua (aditivo tipo A), se recomienda por el fabricante un rango de dosificación para el pozzolith 80 de 260-650ml/100Kg de cemento. La dosificación del aditivo utilizada en las mezclas de concreto fue entre (1% y 2%) del peso del cemento. Al agregar el plastificante a la mezcla este dispersa las partículas de cemento, evitando su aglutinación con lo cual se logra una mejor fluidez de la pasta, y produce un aumento en la manejabilidad de la mezcla. La ficha técnica del plastificante se presenta en el anexo N° 7.

En la Figura 1 se muestra la imagen del agregado grueso que se utilizó para las diferentes mezclas.

Figura 1. Agregado grueso



3.4 METODO DE DOSIFICACION

La dosificación de las mezclas de concreto es la determinación de la combinación más práctica y económica de los agregados disponibles, tales como agua, cemento y en algunos casos aditivos, con el fin de producir una mezcla con el grado de manejabilidad, que al endurecer adquiera las características de resistencia y durabilidad necesarias para el tipo de construcción en que habrá de utilizarse. [6]

Las proporciones más apropiadas se calculan con base en las propiedades de los materiales y la aplicación de las leyes o principios básicos preestablecidos. Las características de las mezclas de prueba indican los ajustes que deben hacerse en la dosificación de acuerdo con las reglas empíricas determinadas.

Para obtener las proporciones de la mezcla de concreto que cumplan con las características deseadas, y con los materiales disponibles y teniendo como base unas proporciones iniciales que se determinan siguiendo el orden que a continuación se indica: Selección del asentamiento, chequeo del tamaño máximo, estimación del agua de mezcla, selección de la relación agua-cemento, cálculo del contenido de cemento, cálculo de la cantidad de cada agregado, cálculo de proporciones iniciales y mezclas de prueba y ajuste por humedad de los agregados. De ser necesario los resultados se deben reajustar hasta conseguir aquellos que permitan cumplir con el asentamiento y la resistencia deseada.

Los pasos seguidos para encontrar las proporciones fueron los siguientes:

Proporciones de los agregados. Para la elaboración de las mezclas trabajadas de 17.5, 21 y 28 Mpa y que durante el trabajo se identificaran respectivamente como, mezclas de baja, mediana y alta resistencia, se procede a combinar los agregados , tal que la granulometría resultante nos garantice un mínimo de vacíos. Para la gradación ideal se tienen unos porcentajes a tomar de material, los porcentajes que se escogen son los que nos reproduzcan una granulometría ideal, el ajuste granulométrico se realizó por el método gráfico donde se trato de reproducir las gradaciones de Fuller o de Weymouth, donde se pueden determinar dibujando las curvas granulométricas del material combinado , de esto se obtuvo una curva granulométrica lo más cerca a la curva ideal recomendada por Weymouth, que permitió determinar que las proporciones para los agregados gruesos y finos fueran de 54 % y 46% respectivamente.

Por que esta nos genera una mejor manejabilidad y garantiza un mínimo de vacíos, la gradación de los agregados se presenta en la Tabla 5 y el ajuste granulométrico por el método gráfico se presenta en la Figura 2 y en la Figura 3 se presentan las curvas granulométricas.

Tabla 5. Gradación de los materiales y granulometría ideal.

Tamiz	Ag. Grueso %pasa	Ag. fino %pasa	Weymouth %pasa
1"	100.0	100.0	100.0
3/4"	76.0	100.0	100.0
1/2"	33.0	100.0	87.0
3/8"	15.0	100.0	63.8
1/4"	0.0	100.0	54.1
Nº 4	0.0	95.0	46.0
Nº 8	0.0	88.0	43.7
Nº 10	0.0	85.0	40.5
Nº 16	0.0	73.0	39.1
Nº 30	0.0	56.0	33.6
Nº 50	0.0	29.0	25.8
Nº 100	0.0	10.0	13.3
Nº 200	0.0	5.2	4.6
Pasa Nº 200	0.0	0.0	2.4

Figura 2. Ajuste granulométrico por el método grafico

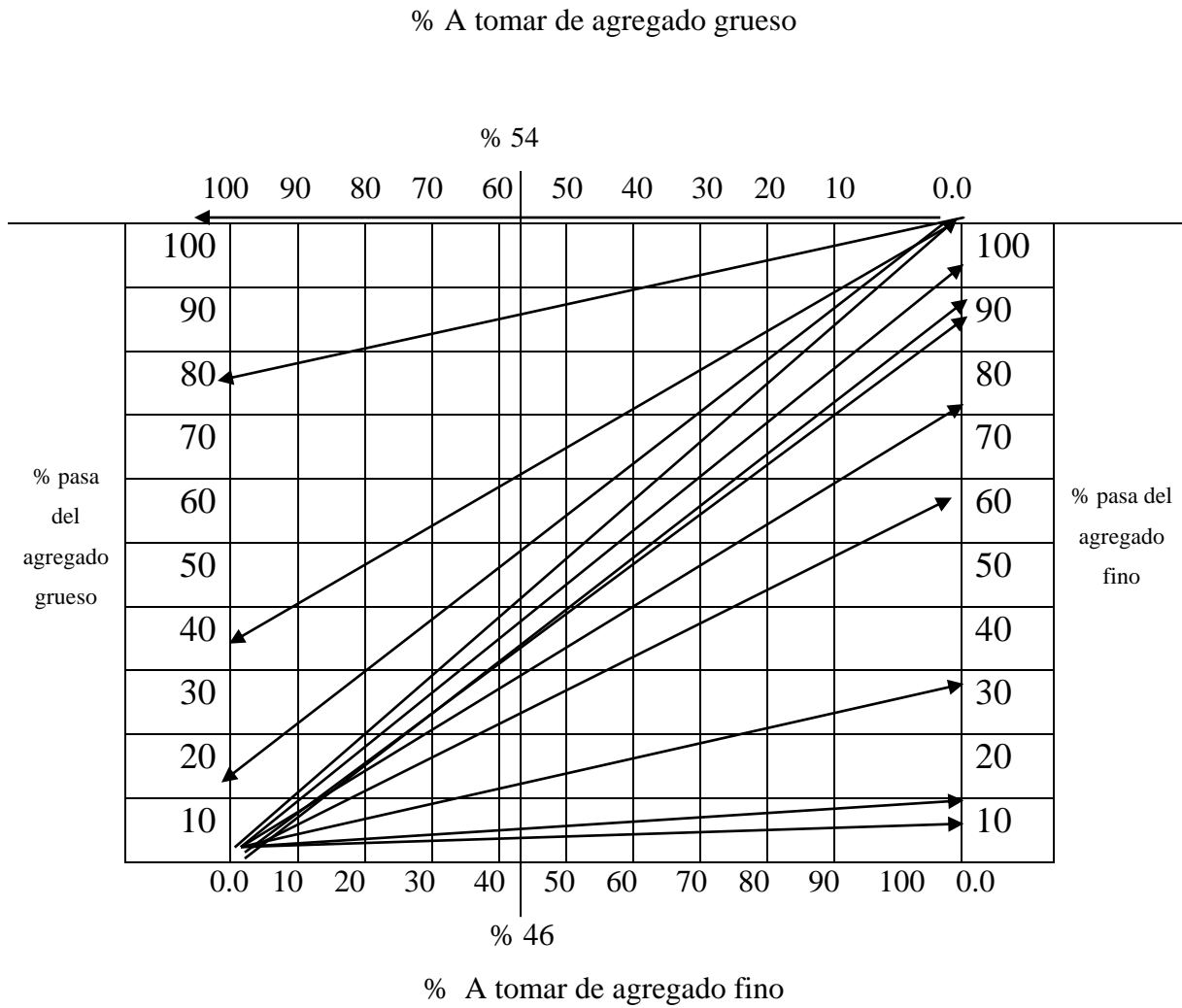
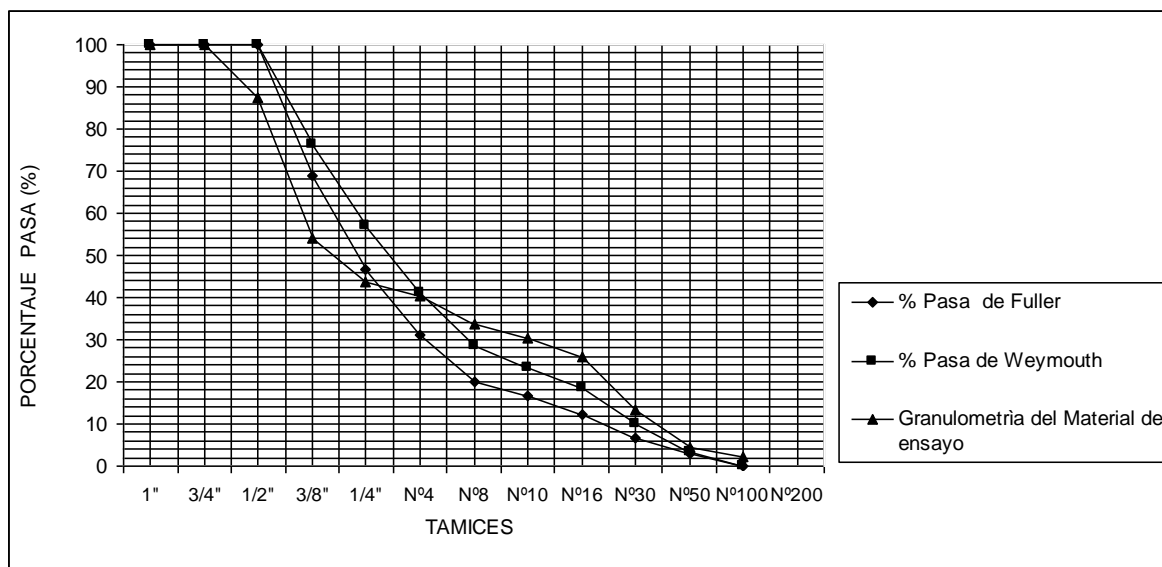


Figura 3. Curvas granulométricas.



1. *Agua por metro cúbico de mezcla.* La cantidad de agua establecida por metro cúbico de mezcla fue de 195 Kg, según el asentamiento asumido (2.5cm-7.5cm) esto por ser los rangos de asentamiento más recomendados para mezclas de concreto de diferentes grados de manejabilidad y por ser los más utilizados en nuestro medio, esto se apoya en la bibliografía relacionada con la dosificación de mezclas de concreto y en la experiencia sobre la dosificación de mezclas adquiridas en el laboratorio de materiales de la Universidad el Cauca y la central de mezcla (Concrecauca).

2. *Relación Agua/Cemento*

En la Tabla 6 se presentan las resistencias de las mezclas con la relación agua/cemento, esta por ser las más utilizadas en nuestro medio y en centrales de mezclas. Durante el desarrollo del trabajo se identificaron las resistencias de 17.5, 21 y 28 Mpa, como mezcla de baja, mediana y alta resistencia respectivamente.

Tabla 6. Relación agua/cemento y resistencia de las mezclas.

A/C	Resistencia de las Mezclas(Mpa)	Mezclas
0.48	28	Alta resistencia
0.56	21	Mediana resistencia
0.62	17.5	Baja resistencia

Con base en la relación agua/cemento asumida de acuerdo a la resistencia como lo muestra la Tabla 6, se tomo una relación A/C de 0.56 para la mezcla de mediana resistencia tomando dicha resistencia por ser una de las más utilizadas en nuestro medio y en centrales de mezclas. Para la cantidad de agua por metro cúbico de concreto, presentada anteriormente, se determinó la cantidad de kilogramos de cemento por metro cúbico de hormigón, con base en las siguientes fórmulas y los siguientes cálculos.

$$C = \frac{A}{A/C}; \quad \text{Kg}/m^3 \text{mezcla}$$

Donde:

A= Cantidad de agua

A/C= Relación agua/cemento

C= cantidad de cemento

- Se determinó el volumen absoluto de agregados en dm³ por metro cúbico de mezcla,

$V = 1000 - \text{Vol. Absoluto de Cemento} - \text{Vol. Absoluto del Agua} - \text{Vol. Absoluto de Aditivo}$

$$V = 1000 - \frac{C}{\gamma_{\text{cemento}}} - \frac{A}{\gamma_{\text{agua}}} - \frac{AD}{\gamma_{\text{aditivo}}}$$

Donde:

V = Volumen absoluto de agregados

C = Cantidad de cemento

A = Cantidad de Agua

AD = Cantidad de aditivo

γ = Densidad respectiva

4. Se calculó la densidad aparente seca de los agregados combinados

$$GA = \frac{100}{\frac{\%A_1}{GA_1} + \frac{\%A_2}{GA_2}}$$

Donde:

$\%A_i$ = Porcentaje de agregado i

GA_i = Densidad aparente seca del agregado i

5. Teniendo el volumen absoluto y la densidad aparente seca promedio de los agregados se halló el peso seco de agregados por metro cúbico de mezcla

$$P = G_A * V$$

Donde:

P = Peso seco de agregados

G_A = Densidad aparente seca del agregado

V = Volumen absoluto de agregados

6. Con los porcentajes requeridos de las diferentes fracciones de agregado, se calculó el peso por metro cúbico de cada uno de los materiales.

$$W_i = \frac{\%A_i}{100} * P$$

Donde :

W_i = Peso por metro cúbico por peso de la fracción i

7. Seguidamente se determinaron las proporciones en peso de cada uno de los componentes por unidad de cemento, mediante el ajuste por humedad.

Aditivo : Agua : Cemento : Agregado Fino : Agregado Grueso

8. Proporciones para la mezcla de mediana resistencia.

Agua: 195 Kg/m³ para un asentamiento entre (2.5-7.5cm)

A/C: 0.56

$$C = \frac{195}{0.56} = 348.2 \text{ kg / m}^3$$

$$Ad = 0.45\% * 348.2 = 1.56 \text{ Kg}$$

AGREGADOS

$$Volumen \text{ Absoluto} = 1000 - \frac{195}{1.0} - \frac{348.2}{2.99} - \frac{1.56}{1.17} = 687.2 \text{ dm}^3$$

Agregado Fino = 46%

Agregado Grueso = 54%

$$G_{promedio} = \frac{100}{\left[\frac{46}{2.55} + \frac{54}{2.67} \right]} = 2.61$$

$$peso \text{ agregado} = 2.61 \times 687.2 = 1796.0 \text{ Kg}$$

$$peso \text{ agregado fino} = 0.46 \times 1796.0 = 826.1 \text{ Kg}$$

$$peso \text{ agregado grueso} = 0.54 \times 1796.0 = 969.84 \text{ Kg}$$

En la Tabla 7 se presenta las proporciones de los materiales para la mezcla de mediana resistencia.

Tabla 7. Proporciones para mezcla de mediana resistencia.

	Aditivo	Agua	Cemento	Agr. Fino	Agr. Grueso	Total
Peso material(Kg)	1.56	195	348.2	826.1	969.84	2340.7
Volumen Abs Material(dm ³)	1.33	195	116.45	323.96	363.24	999.98
Proporciones	0.45	0.56	1.0	2.37	2.78	

La dosificación para la mezcla de baja resistencia se realizó con base en la mezcla de mediana resistencia manteniendo igualmente constantes los volúmenes absolutos de agua, agregado grueso y la proporción de aditivo para modificar la resistencia por metro cúbico de hormigón (se hizo una variación de la relación agua/cemento, empleándose 0.62), las proporciones para la mezcla de baja resistencia se presentan en la Tabla 8.

Tabla 8. Proporciones para mezcla de baja resistencia.

	Aditivo	Agua	Cemento	Agr. Fino	Agr. Grueso	Total
Peso material(Kg)	1.42	195	314.52	853.38	969.85	2334.17
Volumen Abs Material(dm ³)	1.21	195	105.89	334.66	363.24	1000.0
Proporciones	0.45	0.62	1.0	2.71	3.08	

La dosificación para la mezcla de alta resistencia se realizó con base en la mezcla de mediana resistencia, manteniendo igualmente constantes los volúmenes absolutos de agua y agregado grueso, y la proporción de aditivo para modificar la resistencia por metro cúbico de hormigón, (se hizo una variación de la relación agua/cemento, empleándose 0.48). Las proporciones para la mezcla de alta resistencia se presentan en la Tabla 9.

Tabla 9. Proporciones para mezcla de alta resistencia.

	Aditivo	Agua	Cemento	Agr. Fino	Agr. Grueso	Total
Peso material(Kg)	1.83	195	406.25	776.04	969.85	2348.97
Volumen Abs Material(dm ³)	1.56	195	135.87	304.33	363.24	1000.0
Proporciones	0.45	0.48	1.0	1.91	2.39	

4 ELABORACIÓN DE MEZCLAS

4.1 INTRODUCCIÓN

En este capítulo se presenta la metodología empleada para la determinación del volumen de concreto para cada una de las mezclas, y teniendo en cuenta las proporciones calculadas anteriormente se obtienen las cantidades de material a utilizar para cada una de ellas.

4.2 VOLUMEN DE CONCRETO

En las mezclas preparadas se busca evaluar la variación de la resistencia a compresión y a flexión bajo diferentes energías de compactación. El número de mezclas y sus diferentes resistencias promedio a la compresión se presentan en la Tabla 10

Tabla 10. Resistencia promedio a la compresión de las mezclas.

MEZCLAS	RESISTENCIA A LA COMPRESION	MEZCLAS
UNA MEZCLA	15-20 Mpa	Baja resistencia
UNA MEZCLA	20-25 Mpa	Mediana resistencia
UNA MEZCLA	25-30 Mpa	Alta resistencia

En la Tabla 11 se presentan las mezclas con sus resistencias promedio y las diferentes energías de compactación empleadas para los cilindros y vigas trabajadas, junto con los intervalos de asentamiento entre (2.5cm - 7.5cm), admisibles para las mezclas de baja, mediana y alta resistencia, y el número de muestras analizadas para cada mezcla en función de la variación de las energías de compactación.

NOTA.

El número de capas utilizado para una energía de compactación de vibrado fue de (2 capas), para las otras energías de compactación fue de (3 capas).

Tabla 11. Variación de las energías de compactación.

Mezcla	Resistencias Promedio	Energías de Compactación			# de muestras	
		Número de golpes por capa			Cilindros	Vigas
		Cilindros	Vigas	Asentamiento		
1A	Baja resistencia	sin compactación	sin compactación	2.5-7.5cm	2	2
1B		12 golpes por capa	1 golpe por cada 28 cm cuadrados	2.5-7.5cm	2	2
1C		25 golpes por capa	1 golpe por cada 14 cm cuadrados	2.5-7.5cm	2	2
1D		50 golpes por capa	1 golpe por cada 7cm cuadrados	2.5-7.5cm	2	2
1E		Vibrado interno	Vibrado interno		2	2
					10	10
2A	Mediana resistencia	sin compactación	sin compactación	2.5-7.5cm	2	2
2B		12 golpes por capa	1 golpe por cada 28 cm cuadrados	2.5-7.5cm	2	2
2C		25 golpes por capa	1 golpe por cada 14 cm cuadrados	2.5-7.5cm	2	2
2D		50 golpes por capa	1 golpe por cada 7 cm cuadrados	2.5-7.5cm	2	2
2E		Vibrado interno	Vibrado interno		2	2
					10	10
3A	Alta resistencia	sin compactación	sin compactación	2.5-7.5cm	2	2
3B		12 golpes por capa	1 golpe por cada 28 cm cuadrados	2.5-7.5cm	2	2
3C		25 golpes por capa	1 golpe por cada 14 cm cuadrados	2.5-7.5cm	2	2
3D		50 golpes por capa	1 golpe por cada 7cm cuadrados	2.5-7.5cm	2	2
3E		Vibrado interno	Vibrado interno		2	2
					10	10

En la Tabla 12 se presentan los volúmenes parciales y totales de concreto empleados en el Slump, en los cilindros y en las vigas de concreto, para cada una de las mezclas.

Tabla 12. Volúmenes de concreto empleados para las mezclas.

4.3 MEZCLA	1,2,3
Volumen Slump (Its)	5.5
Volumen cilindro (Its)	5.3
Volumen viga (Its)	11.7
No. De cilindros	10
No. De vigas	10
Volumen Total cilindros (Its)	53
Volumen Total vigas (Its)	117
Volumen Total Concreto con 10% de desperdicio. (Its)	193

4.3 CANTIDAD DE MATERIAL POR CADA MEZCLA

4.3.1 MEZCLAS DE BAJA RESISTENCIA

Tomando como referencia las proporciones calculadas a partir de la Tabla 8 y con el volumen de concreto para la elaboración de 10 cilindros y 10 vigas que fue de 0.2 m³ por mezcla, se determinaron los pesos seco de los materiales así.

$$\text{Volumen por Mezcla} = 0.2 \text{ m}^3$$

$$\text{Peso seco de cemento} = 0.2 * 314.52 \text{Kg} = 62.9 \text{Kg}$$

4.3.1.1 Ajuste por Humedad del Agregado

Para determinar las cantidades de material que se utilizaran en la elaboración de las mezclas de concreto (cilindros y vigas), se determino en el laboratorio la humedad natural de los agregados, debido a que estos presentan cierta humedad natural, ésta debe determinarse antes de mezclar los materiales, esto con el fin de calcular la cantidad de agua de aporte. En forma análoga se realiza para las mezclas de mediana y alta resistencia.

El resumen de los resultados de humedad de los agregados para la mezcla de baja resistencia se presenta en la Tabla 13.

Los cálculos correspondientes a la determinación de la humedad de los agregados se presentan en el anexo No 4.

Tabla 13. Humedades de los agregados para la mezcla de baja resistencia.

Humedad	Muestra 1	Muestra 2	Promedio
Agre.Fino (%)	4.65	4.68	4.57
Agre.Grueso (%)	2.38	2.26	2.32

Las proporciones iniciales de los materiales determinadas en el numeral 3.3 deber ser ajustada, por las correspondientes correlaciones por humedad de los agregados, para obtener las cantidades de material a pesar para las diferentes mezclas.

El ajuste por humedad para la mezcla de baja resistencia se presenta en la Tabla 14 y las cantidades de los materiales para esta mezcla se presentan en la Tabla 15.

Tabla 14. Ajuste por humedad para la mezcla de baja resistencia.

Materiales	Proporción	Peso Seco (Kg.)	Peso Húmedo (Kg.)	Agua Absorbida	Agua Agregada	Agua Libre	Aporte
Agua	0.62	38.99	-	-	-	-	-
Cemento	1	62.90	-	-	-	-	-
Agregado fino	2.71	170.46	178.25	3.80	7.79	+3.99	-
Agregado Grueso	3.08	193.73	198.22	1.78	4.49	+2.71	+6.70
Plastificante	0.45	28.3	-	-	-	-	-

Tabla 15. Cantidades de material para la mezcla de baja resistencia.

Materiales	Cantidades para la mezcla
Agua (Kg.)	32.29
Cemento (Kg.)	62.90
Agregado fino (Kg.)	178.25
Agregado Grueso (Kg.)	198.22
Plastificante (Kg.)	28.3

4.4 MEZCLAS DE MEDIANA RESISTENCIA

Tomando como referencia las proporciones calculadas a partir de la Tabla 7 y con el volumen de concreto para la elaboración de 10 cilindros y 10 vigas que fue de 0.2 m³ por mezcla, se determinó el peso seco de los materiales así:

$$\text{Volumen por Mezcla} = 0.2 \text{ m}^3$$

$$\text{Peso seco de cemento} = 0.2 * 348.2 \text{Kg} = 69.64 \text{Kg}$$

El resumen de los resultados de humedad de los agregados para la mezcla de mediana resistencia se presenta en la Tabla 16.

Los cálculos correspondientes a la determinación de la humedad de los agregados se presentan en el anexo N° 4.

Tabla 16. Humedades de los agregados para la mezcla de mediana resistencia.

Humedad	Muestra 1	Muestra 2	Promedio
Agre.Fino (%)	4.67	5.82	5.24
Agre.Grueso (%)	2.32	1.89	2.11

4.4.1 Ajuste por Humedad del Agregado.

El ajuste por humedad para la mezcla de mediana resistencia se presenta en la Tabla 17 y las cantidades de los materiales para esta mezcla se presentan en la Tabla 18.

Tabla 17. Ajuste por humedad para la mezcla de mediana resistencia.

Materiales	Proporción	Peso Seco (Kg.)	Peso Húmedo (Kg.)	Agua Absorbida	Agua Agregada	Agua Libre	Aporte
Agua	0.56	38.9					
Cemento	1	69.64	-	-	-	-	-
Agregado fino	2.37	165.04	173.68	3.68	8.64	+4.96	-
Agregado Grueso	2.78	193.60	197.68	1.74	4.08	+2.34	+7.3
Plastificante	0.45	31.3	-	-	-	-	-

La determinación de las cantidades reales de los materiales para la mezcla de mediana resistencia se realizó con base en la información presentada en la Tabla 17. Las cantidades de los materiales se presentan en la Tabla 18.

Tabla 18. Cantidades de materiales para la mezcla de mediana resistencia.

Materiales	Cantidad
Agua (Kg.)	31.6
Cemento (Kg.)	69.64
Agregado fino (Kg.)	173.68
Agregado Grueso (Kg.)	197.68
Plastificante (Kg.)	31.3

4.5 MEZCLAS DE ALTA RESISTENCIA

Tomando como referencia las proporciones calculadas a partir de la Tabla 9 y con el volumen de concreto para la elaboración de 10 cilindros y 10 vigas que fue de 0.2 m³ por mezcla, se determinaron los pesos secos de los materiales así.

Volumen por Mezcla = 0.2 m³

Peso seco de cemento = 0.2*406.25Kg = 81.25Kg

4.5.1 Ajuste por Humedad del Agregado

Para determinar las cantidades de material que se utilizaran en la elaboración de las mezclas de concreto (cilindros y vigas), se determinó en el laboratorio la humedad natural de los agregados, debido a que estos presentan cierta humedad natural, ésta debe determinarse antes de mezclar los materiales, esto con el fin de calcular la cantidad de agua de aporte. El resumen de los resultados de humedades de los agregados se presenta en la Tabla 19.

Tabla 19. Humedades de los agregados para la mezcla de alta resistencia.

Humedad	Muestra 1	Muestra 2	Promedio
Agre.Fino (%)	5.8	5.85	5.82
Agre.Grueso (%)	1.86	1.92	1.89

Las proporciones iniciales de los materiales determinadas en el numeral 3.3 deben ser ajustada, por las correspondientes correlaciones por humedad de los agregados, para obtener las cantidades de material a pesar para las diferentes mezclas

El ajuste por humedad para la mezcla de alta resistencia se presenta en la Tabla 20 y las cantidades de los materiales para esta mezcla se presentan en la Tabla 21.

Tabla 20. Ajuste por humedad para la mezcla de alta resistencia.

Materiales	Proporción	Peso Seco (Kg.)	Peso Húmedo (Kg.)	Agua Absorbida	Agua Agregada	Agua Libre	Aporte
Agua	0.48	39.0	-	-	-	-	-
Cemento	1	81.25	-	-	-	-	-
Agregado fino	1.91	155.18	164.21	3.46	9.02	+5.56	-
Agregado Grueso	2.39	194.18	197.85	1.75	3.66	+1.91	+7.47
Plastificante	0.45	36.6	-	-	-	-	-

La determinación de las cantidades reales de los materiales para la mezcla de alta resistencia se realizó con base en la información presentada en la Tabla 20. Las cantidades de los materiales se presentan en la Tabla 21.

Tabla 21. Cantidades de material para la mezcla de alta resistencia.

Materiales	Cantidades para la mezcla
Agua (Kg.)	31.53
Cemento (Kg.)	81.25
Agregado fino (Kg.)	164.21
Agregado Grueso (Kg.)	197.85
Plastificante (Kg.)	36.6

4.6 ELABORACIÓN DE CONCRETO FRESCO

El volumen de concreto necesario para la elaboración de 10 cilindros ,10 vigas y la prueba de asentamiento fue 0.2m^3 por mezcla. Con las cantidades calculadas según el numeral 4.2 y efectuando las correlaciones por humedad de los agregados según el numeral 4.3, se realizó la mezcla mecánica de los materiales para las diferentes mezclas establecidas anteriormente como lo son las de baja, mediana y alta resistencia. Al tener la mezcla se procedió a realizar la prueba del Slump a cada una de las mezclas, posteriormente se deposito el material en cada uno de los recipientes tales como vigas y cilindros, mediante la aplicación en cada uno de ellos de las diferentes energías de compactación descritas en la Tabla 11. Una vez vertido el concreto en los cilindros y vigas se taparon para evitar la perdida de humedad, donde se dejaron hasta cumplir las 24 horas. Posteriormente se realizó el desencofrado para luego ser llevadas a realizarles el curado respectivo. En la Figura 4 se muestra la mezcla mecánica y el ensayo de asentamiento realizado para cada una de mezclas., en la Figura 5 se presenta el desencofrado y curado de las vigas.

Figura 4. Mezcla mecánica y ensayo de asentamiento.



Mezcla mecánica



Ensayo de asentamiento

Figura 5 .Desencofrado y curado de las vigas.



Desencofrado



Curado de vigas

4.7 CANTIDAD DE AIRE ATRAPADO

Una vez vertido el concreto en los moldes se pesaron para determinar así mediante la diferencia de pesos la cantidad de aire atrapado, el cual se obtuvo con el siguiente cálculo:

$$\text{Contenido de Aire (\% por volumen)} = 100 * \frac{1 - W_r}{W_t}$$

$$W_r = \frac{\text{Peso de la Mezcla Fresca (contenida en un recipiente)}}{\text{Volumen del Recipiente}}$$

$$W_t = \frac{\sum \text{Peso de los Materiales de la Mezcla}}{\sum \text{Volumenes Absolutos de los Materiales de la Mezcla}}$$

$$\text{Volumen Absoluto} = \frac{\text{Peso Seco del Material}}{\text{Densidad Aparente Seca del Material o Peso Específico}}$$

Donde:

W_r: Peso unitario real por unidad de volumen

W_t: Peso unitario teórico

Los resultados de cantidad de aire atrapado en las mezclas se presentan en las Tabla 22, Tabla 23 y Tabla 24.

Tabla 22. Cantidad de aire atrapado en la mezcla de baja resistencia.

MEZCLA DE BAJA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN								
Molde N°	Energía de Compactación	Peso Molde (gr)	Peso Molde con Concreto (gr)	Peso Concreto Sin Molde (Kg)	Volumen m ³	Wr	Wt	Cantidad De Aire (%)
1	Sin Compactar	6539	16665	10.1	0.0053	1910.6	2334.17	18.1
2	Sin Compactar	6450	17000	10.6	0.0053	1990.6	2334.17	14.7
3	12 Golpes	6000	17950	12.0	0.0053	2254.7	2334.17	3.4
4	12 Golpes	6100	18099	12.0	0.0053	2264.0	2334.17	3.0
5	25 Golpes	6929	18950	12.0	0.0053	2268.1	2334.17	2.8
6	25 Golpes	6750	18800	12.1	0.0053	2273.6	2334.17	2.6
7	50 Golpes	6800	18950	12.2	0.0053	2292.5	2334.17	1.8
8	50 Golpes	6650	18850	12.2	0.0053	2301.9	2334.17	1.4
9	Vibrado	6810	18900	12.1	0.0053	2281.1	2334.17	2.3
10	Vibrado	6850	18920	12.1	0.0053	2277.4	2334.17	2.4

Tabla 23. Cantidad de aire atrapado en la mezcla de mediana resistencia.

MEZCLA DE MEDIANA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN								
Molde N°	Energía de Compactación	Peso Molde (gr)	Peso Molde con Concreto (gr)	Peso Concreto Sin Molde (Kg)	Volumen m ³	Wr	Wt	Cantidad de Aire (%)
1	Sin Compactar	9000	19800	10.8	0.0053	2037.7	2340.7	12.9
2	Sin Compactar	8900	19850	11.0	0.0053	2066.0	2340.7	11.7
3	12 Golpes	8900	20900	12.0	0.0053	2264.2	2340.7	3.3
4	12 Golpes	8870	20850	12.0	0.0053	2260.4	2340.7	3.4
5	25 Golpes	8900	20950	12.1	0.0053	2273.6	2340.7	2.9
6	25 Golpes	8970	21000	12.0	0.0053	2269.8	2340.7	3.0
7	50 Golpes	9000	21170	12.2	0.0053	2296.2	2340.7	1.9
8	50 Golpes	9050	21250	12.2	0.0053	2301.9	2340.7	1.7
9	Vibrado	9050	21150	12.1	0.0053	2283.0	2340.7	2.5
10	Vibrado	9050	21200	12.2	0.0053	2292.5	2340.7	2.1

Tabla 24. Cantidad de aire atrapado en la mezcla de alta resistencia.

MEZCLA DE ALTA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN								
Molde N°	Energía de Compactación	Peso Molde (gr)	Peso Molde con Concreto (gr)	Peso Concreto Sin Molde (Kg)	Volumen m³	Wr	Wt	Cantidad de Aire (%)
1	Sin Compactar	9198	20400	11.2	0.0053	2113.6	2348.97	10.0
2	Sin Compactar	9270	20500	11.2	0.0053	2118.9	2348.97	9.8
3	12 Golpes	9200	21250	12.1	0.0053	2273.6	2348.97	3.2
4	12 Golpes	9165	21180	12.0	0.0053	2267.0	2348.97	3.5
5	25 Golpes	9370	21550	12.2	0.0053	2298.1	2348.97	2.2
6	25 Golpes	9300	21500	12.2	0.0053	2301.9	2348.97	2.0
7	50 Golpes	9350	21700	12.4	0.0053	2330.2	2348.97	0.8
8	50 Golpes	9300	21620	12.3	0.0053	2324.5	2348.97	1.0
9	Vibrado	9500	21800	12.3	0.0053	2320.8	2348.97	1.2
10	Vibrado	9500	21750	12.3	0.0053	2311.3	2348.97	1.6

4.8 ROTURA DE CONCRETO ENDURECIDO

Una vez los cilindros han cumplido la edad de 28 días de curado y antes de fallar se realizó el refrentado con azufre, según especificaciones presentadas en la Norma ICONTEC 504; tanto los cilindros como las vigas fueron fallados a compresión para obtener sus máximas resistencias. En la Figura 6 se muestra el refrentado y rotura de cilindros y vigas de hormigón.

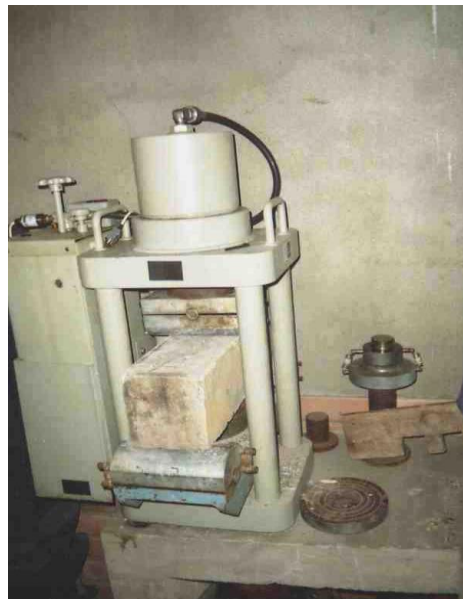
Figura 6. Se muestra el refrentado y rotura de cilindros y vigas de hormigón



Refrentado de cilindros



Rotura de cilindros



Rotura de las vigas

En la Tabla 25 se presentan el número de pruebas realizadas tanto para cilindros como vigas de hormigón, en la Figura 7 se presenta los cilindros de concreto una vez fallados

Tabla 25. Número de pruebas para cilindros y vigas de hormigón.

Nombre del Ensayo	Norma	Numero de pruebas realizadas por mezcla	Numero de pruebas en la investigación
Resistencia a Compresión de cilindros (28 días)	673 ICONTEC	10	30
Flexión (28 días)	Designación E-103-62 MOPT	10	30

Figura 7. Rotura de cilindros de concreto.



Los resultados de las resistencias a compresión del concreto se presentan en función de la variación de la energía de compactación trabajada para cada una de las resistencias, las cuales para la investigación fueron de baja, mediana y alta resistencia. Los resultados se presentan en las Tabla 26, Tabla 27 y Tabla 28.

Tabla 26. Resistencia a la compresión para la mezcla de baja resistencia.

Molde	Número de golpes por capa	Diámetro Promedio (cm)	Área (cm²)	Peso Molde (gr)	Carga Kn	Carga kg	Rc=P/A (kg/cm²)	Rc Promedio (kg/cm²)
1	Sin Compactación	15.1	179.1	6539	293.5	29350	163.9	
2	Sin Compactación	15.4	186.3	4230	271.6	27160	145.8	154.9
3	12 Golpes	15.1	179.1	5190	380.6	38060	212.5	
4	12 Golpes	15	176.7	5289	387.0	38700	219.0	215.8
5	25 Golpes	15.1	179.1	6929	447.4	44740	249.8	
6	25 Golpes	15.2	181.5	6750	411.8	41180	226.9	238.4
7	50 Golpes	15	176.7	6810	430.6	43060	243.7	
8	50 Golpes	15	176.7	6850	450.6	45060	255.0	249.4
9	Vibrado	15	176.7	6800	396.2	39620	224.2	
10	Vibrado	15	176.7	6950	436.5	43650	247.0	235.6

Tabla 27. Resistencia a la compresión para la mezcla de mediana resistencia.

Molde	Número de Golpes por capa	Diámetro Promedio (cm)	Área (cm ²)	Peso Molde (gr)	Carga Kn	Carga kg	Rc=P/A (kg/ cm ²)	Rc Promedio (kg/ cm ²)
1	Sin Compactación	15.6	191.1	8900	390	39000	204.0	
2	Sin Compactación	15.4	186.3	9100	310	31000	166.4	185.2
3	12 Golpes	15.5	188.7	8998	480	48000	254.4	
4	12 Golpes	15.7	193.6	9610	490	49000	253.1	253.8
5	25 Golpes	15.5	188.7	9690	550	55000	291.5	
6	25 Golpes	15.4	186.3	9750	520	52000	279.2	285.3
7	50 Golpes	15.8	196.1	9950	570	57000	290.7	
8	50 Golpes	15.7	193.6	9800	600	60000	309.9	300.3
9	Vibrado	15.4	186.3	9800	530	53000	284.5	
10	Vibrado	15.5	188.7	9700	550	55000	291.5	288.0

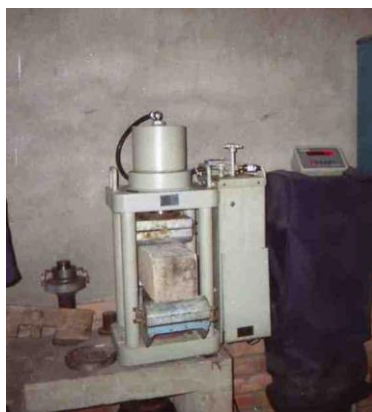
Tabla 28. Resistencia a la compresión para la mezcla de alta resistencia.

Molde	Número de Golpes por capa	Diámetro Promedio (cm)	Área (cm ²)	Peso Molde (gr)	Carga Kn	Carga Kg.	Rc= P/A (kg/ cm ²)	Rc Promedio (kg/ cm ²)
1	Sin Compactación	15.1	179.1	9198	409.0	40900	228.4	
2	Sin Compactación	15.4	186.3	9270	441.4	44140	237.0	232.7
3	25 Golpes	15.1	179.1	9218	559.8	55980	312.6	
4	25 Golpes	15.2	181.5	9165	582.5	58250	321.0	316.8
5	12 Golpes	15.1	179.1	6756	671.2	67120	374.0	
6	12 Golpes	15	176.7	6793	584.9	58490	331.0	352.9
7	50 Golpes	15	176.7	9950	674.9	67490	381.9	
8	50 Golpes	15	176.7	9850	716.8	71680	405.6	393.8
9	Vibrado	15	176.7	6543	620.3	62030	351.0	
10	Vibrado	15	176.7	9910	607.5	60750	343.8	352.4

4.9 ROTURA DE LAS VIGAS DE CONCRETO

En la Figura 8 se presenta la rotura de las vigas de concreto realizadas para las diferentes mezclas.

Figura 8. Rotura de las vigas de concreto.



Los resultados de módulo de rotura se presentan en la Tabla 29, Tabla 30 y Tabla 31.

Tabla 29. Resistencia a la flexión para la mezcla de baja resistencia con un asentamiento comprendido entre 2.5cm y 7.5cm.

Vigas	Dimensiones(cm)	Carga (kg)	Mr (kg/cm ²)	Mr promedio (kg/cm ²)
sin compactar	L=50,b=15,h=15cm	2092	27.5	
sin compactar	L=50,b=15,h=15cm	2467	32.9	30.4
27 golpes	L=50,b=15,h=15cm	2430	32.4	
27 golpes	L=50,b=15,h=15cm	2895	38.6	35.5
54 golpes	L=50,b=15,h=15cm	2580	34.4	
54 golpes	L=50,b=15,h=15cm	3000	40.0	37.2
107 golpes	L=50,b=15,h=15cm	3015	40.2	
107 golpes	L=50,b=15,h=15cm	2783	37.1	38.7
Vibración	L=50,b=15,h=15cm	2925	39.0	
Vibración	L=50,b=15,h=15cm	2730	36.4	37.7

Tabla 30. Resistencia a flexión para la mezcla de mediana resistencia con un asentamiento comprendido entre 2.5cm y 7.5cm.

Vigas	Dimensiones(cm)	Carga (Kg)	Mr(Kg/Cm²)	Mr Promedio (Kg/Cm²)
sin compactar	L=50,b=15,h=15cm	2440	32.5	
sin compactar	L=50,b=15,h=15cm	2780	37.1	34.8
27 golpes	L=50,b=15,h=15cm	2880	38.4	
27 golpes	L=50,b=15,h=15cm	3110	41.5	39.9
54 golpes	L=50,b=15,h=15cm	3100	41.3	
54 golpes	L=50,b=15,h=15cm	3230	43.1	42.2
107 golpes	L=50,b=15,h=15cm	3347	44.6	
107 golpes	L=50,b=15,h=15cm	3173	42.3	43.5
Vibración	L=50,b=15,h=15cm	3170	42.3	
Vibración	L=50,b=15,h=15cm	3270	44.0	43.1

Tabla 31. Resistencia a la flexión para la mezcla de alta resistencia con un asentamiento comprendido entre 2.5cm y 7.5cm.

Vigas	Dimensiones(cm)	Carga (kg)	Mr (kg/cm²)	Mr promedio (kg/cm²)
sin compactar	L=50,b=15,h=15cm	2810	37.5	
sin compactar	L=50,b=15,h=15cm	3000	40.0	38.9
27 golpes	L=50,b=15,h=15cm	3450	46.0	
27 golpes	L=50,b=15,h=15cm	3290	43.9	44.9
54 golpes	L=50,b=15,h=15cm	3580	47.7	
54 golpes	L=50,b=15,h=15cm	3750	50.0	48.9
107 golpes	L=50,b=15,h=15cm	3640	48.5	
107 golpes	L=50,b=15,h=15cm	3860	51.4	49.9
Vibración	L=50,b=15,h=15cm	3410	45.5	
Vibración	L=50,b=15,h=15cm	3790	50.5	48.0

Durante el rompimiento de las vigas, se observó que no se presenta segregación y que la falla se presentó en el tercio central de la luz. El tipo de falla presentada en los cilindros fue generalmente del tipo A y B.

En la Figura 9 se presenta el tipo de falla de las vigas en su tercio central después de ser probadas.

Figura 9. Falla de las vigas en su tercio central.



5 ANALISIS DE RESULTADOS

5.1 EN LOS CILINDROS DE CONCRETO

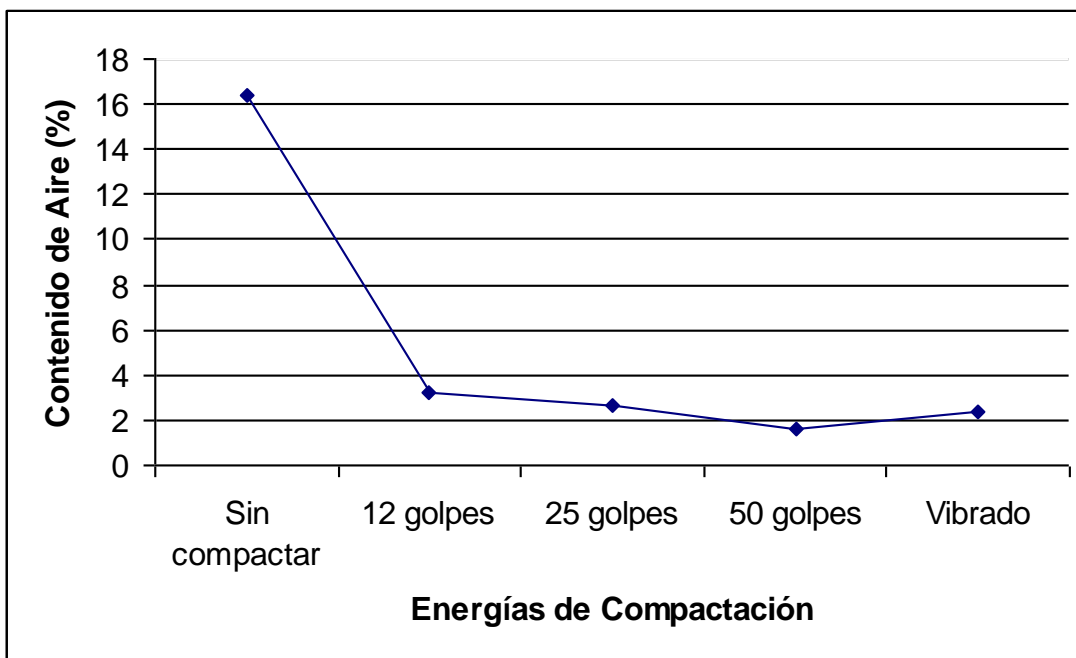
5.1.1 Variación del Contenido de Aire Atrapado en las Mezclas de Concreto de Acuerdo con la Energía de Compactación.

En la Figura 10 y Tabla 32 se presenta la relación entre el contenido de aire promedio y la energía de compactación para la mezcla de baja resistencia.

Tabla 32. Relación entre la energía de compactación y contenido de aire, para la mezcla de baja resistencia

Molde N°	Energía de Compactación por capa	Contenido de Aire (%)	Promedio Contenido de Aire (%)
1	sin compactar	18.10	16.4
2	sin compactar	14.70	
3	12 golpes	3.40	3.2
4	12 golpes	3.00	
5	25 golpes	2.80	2.7
6	25 golpes	2.60	
7	50 golpes	1.80	1.6
8	50 golpes	1.40	
9	vibrado	2.30	2.4
10	vibrado	2.40	

Figura 10. Relación entre el contenido de aire atrapado y la energía de compactación. para la Mezcla de baja resistencia

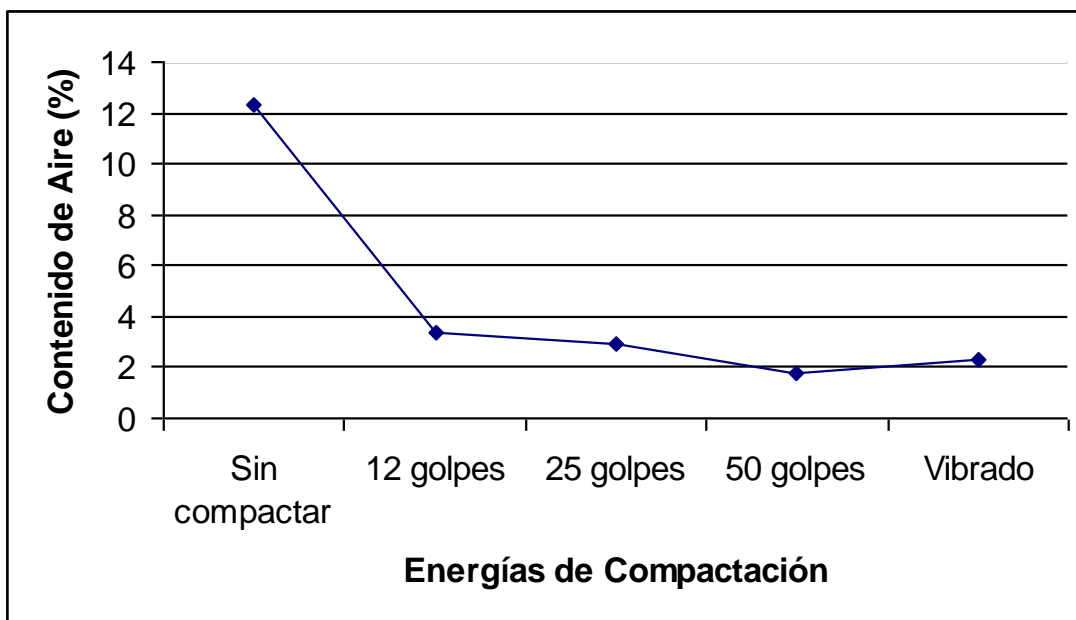


En la Figura 11 y Tabla 33 se presenta la relación entre el contenido de aire promedio y la energía de compactación para la mezcla de mediana resistencia.

Tabla 33. Relación entre la energía de compactación y contenido de aire, para la mezcla de mediana resistencia.

Molde N°	Energía de Compactación por capa	Contenido de Aire (%)	Promedio Contenido de Aire (%)
1	sin compactar	12.9	12.3
2	sin compactar	11.7	
3	12 golpes	3.3	3.4
4	12 golpes	3.4	
5	25 golpes	2.9	2.95
6	25 golpes	3.0	
7	50 golpes	1.9	1.8
8	50 golpes	1.7	
9	vibrado	2.5	2.3
10	vibrado	2.1	

Figura 11. Relación entre el contenido de aire atrapado y la energía de compactación para la Mezcla de mediana resistencia.

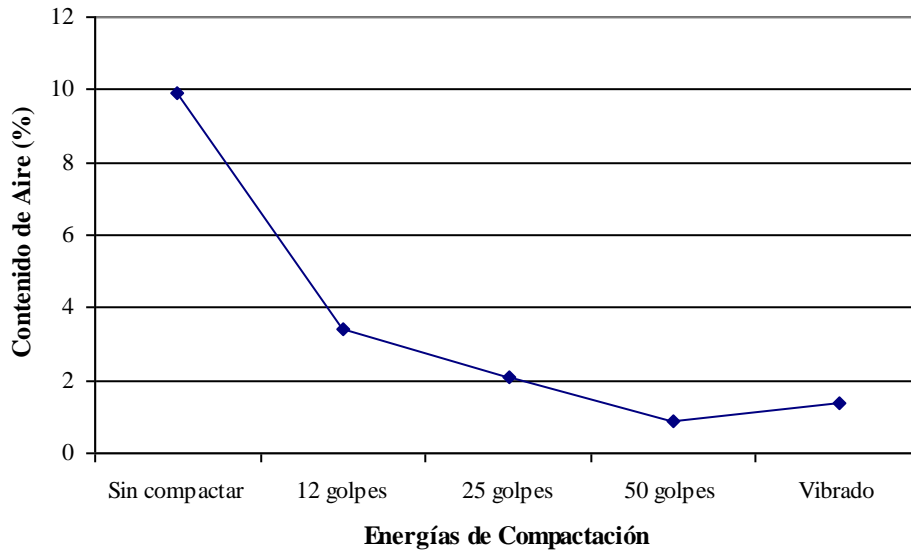


En la Figura 12 y Tabla 34 se presenta la relación entre el contenido de aire promedio y la energía de compactación para la mezcla de alta resistencia.

Tabla 34. Relación entre la energía de compactación y contenido de aire, para la mezcla de alta resistencia.

Molde N°	Energía de Compactación por capa	Contenido de Aire (%)	Promedio Contenido de Aire (%)
1	Sin compactar	10.0	9.9
2	Sin compactar	9.8	
3	12 golpes	3.2	3.4
4	12 golpes	3.5	
5	25 golpes	2.2	2.1
6	25 golpes	2.0	
7	50 golpes	0.8	0.9
8	50 golpes	1.0	
9	Vibrado	1.2	1.4
10	Vibrado	1.6	

Figura 12. Relación entre el contenido de aire atrapado y la energía de compactación para la Mezcla de alta resistencia.



Al analizar el contenido de aire y la energía de compactación para las tres mezclas, se tiene que:

- Para las mezclas de baja, mediana y alta resistencia se puede observar que cuando no se aplica ninguna energía de compactación se presenta un alto contenido de aire, obteniéndose valores del orden de 16.4-9.9%, para las tres mezclas. Donde el contenido de aire atrapado en el concreto genera poca adherencia entre las partículas, presentándose así una menor relación masa /volumen, en una baja durabilidad y resistencia del hormigón.
- A medida que se incrementan las energías de compactación de 12 golpes, a 25 golpes se observa que la cantidad de vacíos comienza a disminuir.
- Cuando se emplean energías de compactación por el sistema de vibrado, se observa que el contenido de aire es mayor que con una energía de compactación de 50 golpes.

- El menor contenido de aire se presenta para los cilindros compactados con una energía de compactación de 50 golpes por capa.
- Al compactar el concreto con 50 golpes por capa, se observa para las tres mezclas, valores muy bajos en su contenido de aire, debido a una mayor densificación de las mezclas, a un mejor acomodo entre partícula y una menor porosidad. Lo que nos conduce a tener una mayor adherencia.

5.1.2 Efecto de la Energía de Compactación Sobre la Resistencia a la Compresión.

Para evaluar el efecto de la compactación en las mezclas trabajadas en la investigación se utilizó como referencia la energía de compactación de 25 golpes por capa, y se tomo este valor igual al 100% debido a que es la energía de compactación recomendada por la norma.

- Para las mezclas de baja, mediana y alta resistencia, se puede observar que cuando no se aplica ninguna energía de compactación, se obtiene una resistencia a compresión comprendida entre el 65%-70% de la resistencia obtenida cuando se compactan los cilindros con 25 golpes.

- Para una energía de compactación de 12 golpes por capa, es decir para la mitad golpes respecto a lo recomendado por la norma (25 golpes por capa), se presentan valores entre el 85% y 90% de la resistencia a compresión obtenida cuando se compactan los cilindros con 25 golpes. De lo expuesto anteriormente se puede concluir que a medida que se incrementa el número de golpes se presenta una disminución en el contenido de aire de la mezcla, una mejor distribución de las partículas entre si, presentándose una mejor adherencia, lo que lleva a incrementos en la resistencia.
- Por otra parte cuando se utiliza energías de compactación de 50 golpes por capa, se observa que la resistencia a compresión esta entre el 100%-109% respecto a la energía de compactación de 25 golpes por capa, lo que indica que se tiene un contenido de aire pequeño dentro de los cilindros de concreto, presentando un mejor acomodo de las partículas entre si y una mayor durabilidad en el hormigón.
- Cuando se utiliza una energía de compactación con vibrado en los cilindros de concreto, se observa que los resultados de la resistencia a compresión están cercanos al 100%, a la resistencia obtenida con 25 golpes.

En la Figura 13, Figura 14 y Figura 15 , se presenta la relación entre la resistencia a compresión y las energías de compactación para cada una de las mezclas.

Figura 13. Relación entre la energía de compactación y la resistencia a compresión para la mezcla de baja resistencia.

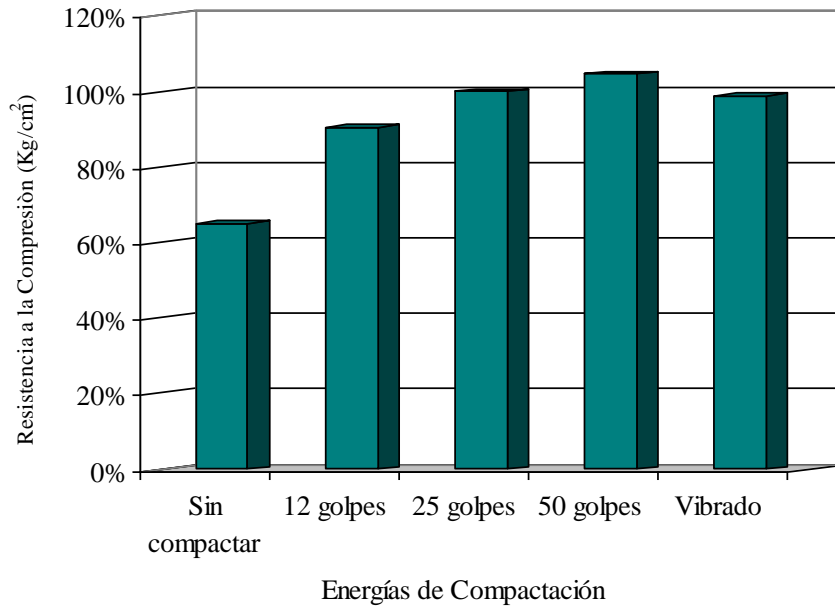


Figura 14. Relación entre la energía de compactación y la resistencia a compresión para la mezcla de mediana resistencia

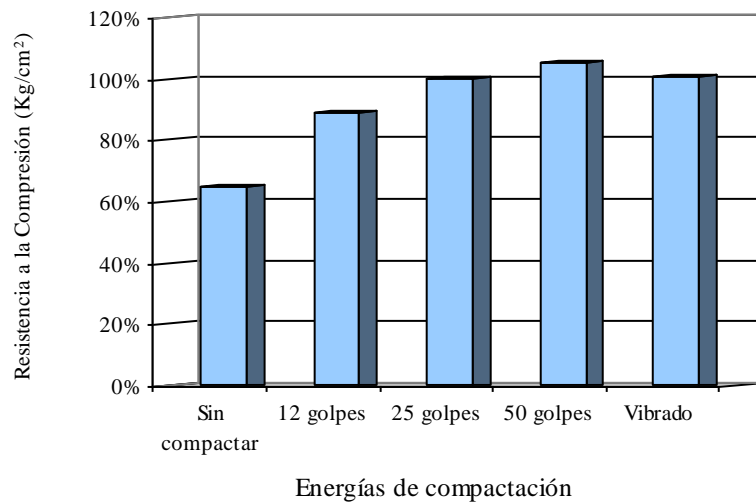
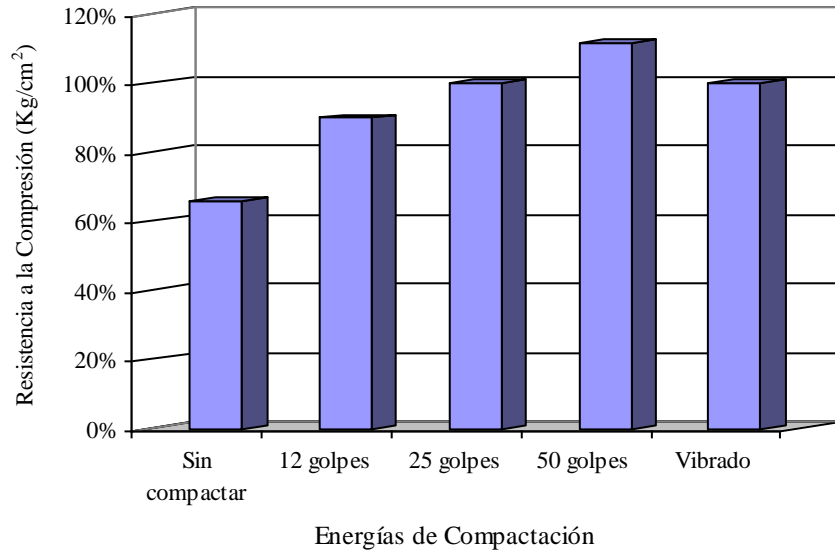
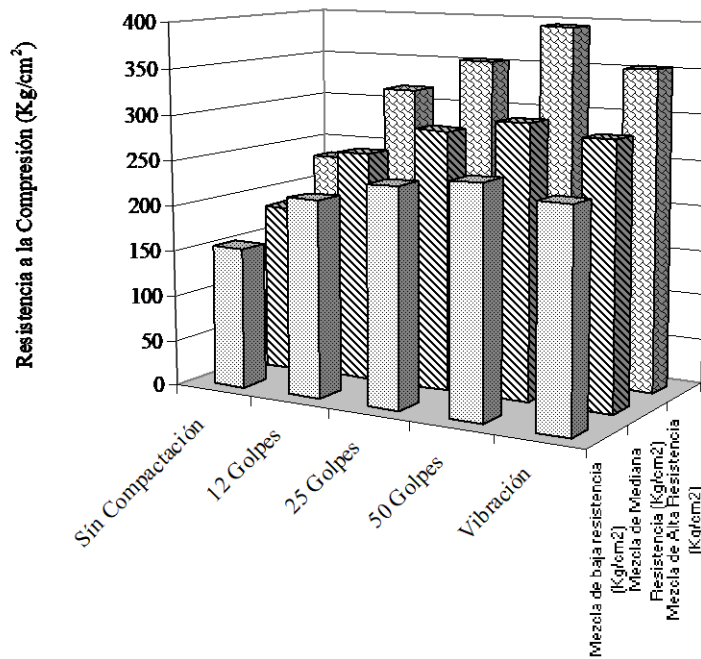


Figura 15. Relación entre la energía de compactación y la resistencia a compresión para la mezcla de alta resistencia.



En la Figura 16. Se presenta un resumen de las resistencias a compresión y las energías de compactación.

Figura 16. Variación de la resistencia a la compresión con las energías de compactación



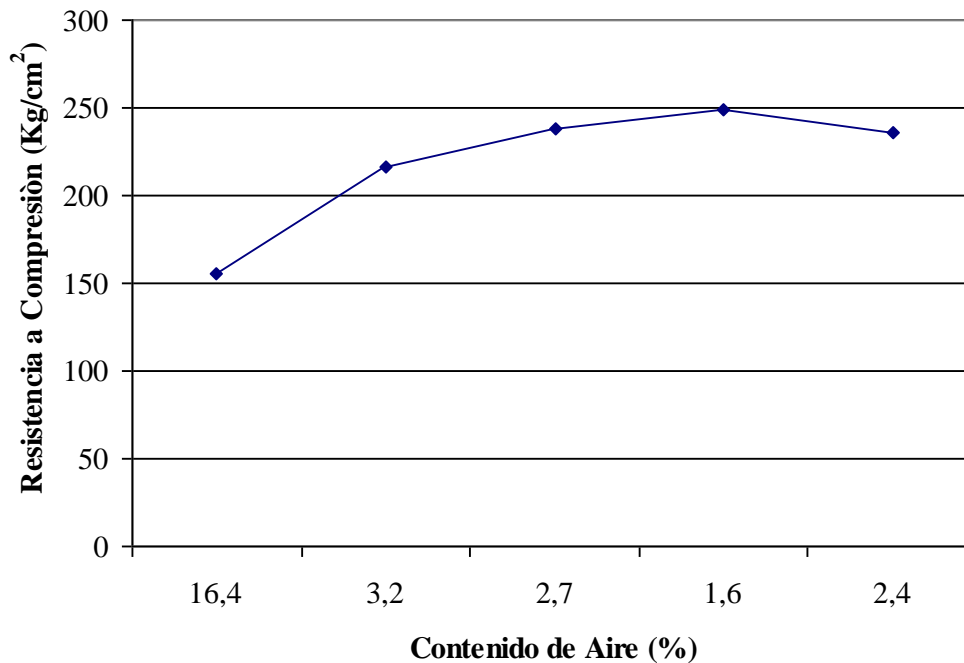
5.1.3 *Relación entre el Contenido de Aire Atrapado en las Mezclas y la Resistencia a la Compresión.*

La relación entre contenido de aire atrapado en las mezclas y la resistencia a la compresión de los cilindros, se presenta en la Tabla 35, Tabla 36 y Tabla 37.

Tabla 35. Relación entre la resistencia a compresión y el contenido de aire, para la mezcla de baja resistencia.

Molde N°	Energía de Compactación por capa	Contenido de Aire (%)	Promedio Contenido de Aire (%)	Rc=P/A Promedio (kg/cm²)
1	sin compactar	18.10	16.4	154.9
2	sin compactar	14.70		
3	12 golpes	3.40	3.2	215.8
4	12 golpes	3.00		
5	25 golpes	2.80	2.7	238.4
6	25 golpes	2.60		
7	50 golpes	1.80	1.6	249.4
8	50 golpes	1.40		
9	vibrado	2.30	2.4	235.6
10	vibrado	2.40		

Figura 17. Relación entre la resistencia a compresión y el contenido de aire, para la mezcla de baja resistencia.



Al analizar la resistencia a compresión y el contenido de aire, en la mezcla de baja resistencia, se observa que:

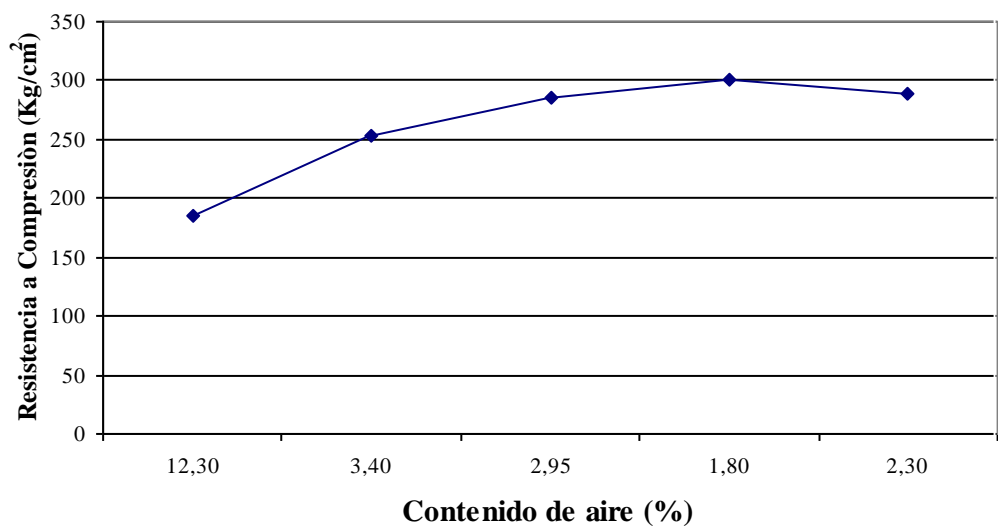
- El mayor contenido de aire es del orden de 16.4%, para cilindros de concreto sin compactar.
- El menor contenido de aire fue de 1.6% para los cilindros compactados con 50 golpes por capa, obteniéndose valores de resistencia altos.
- A medida que disminuye el contenido de aire la resistencia a compresión aumenta.
- Al utilizar una energía de compactación de vibrado para llenar los cilindros de concreto, se encontró que el contenido de aire es del orden de 2.4% y su resistencia a compresión del orden de 235,6 (Kg/cm²). La cual, al ser comparada con la resistencia a compresión obtenida con una energía de compactación de 25 golpes por capa, permite establecer que cuando se aplica vibrado como energía de compactación, la resistencia disminuye.

Tabla 36. Relación entre la resistencia a compresión y el contenido de aire, para la mezcla de mediana resistencia.

Molde N°	Energía de Compactación por capa	Contenido de Aire (%)	Promedio Contenido de Aire (%)	Rc =P/A Promedio (kg/cm ²)
1	sin compactar	12.9	12.3	185.2
2	sin compactar	11.7		
3	12 golpes	3.3	3.4	253.8
4	12 golpes	3.4		
5	25 golpes	2.9	2.95	285.3
6	25 golpes	3.0		
7	50 golpes	1.9	1.8	300.3
8	50 golpes	1.7		
9	vibrado	2.5	2.3	288.0
10	vibrado	2.1		

En la Figura 18 se presenta la relación entre la resistencia a compresión para la mezcla de mediana resistencia y su contenido de aire.

Figura 18. Relación entre la resistencia a compresión y el contenido de aire, para la mezcla de mediana resistencia.



Al analizar la resistencia a compresión y el contenido de aire, en la mezcla de mediana resistencia se observa que:

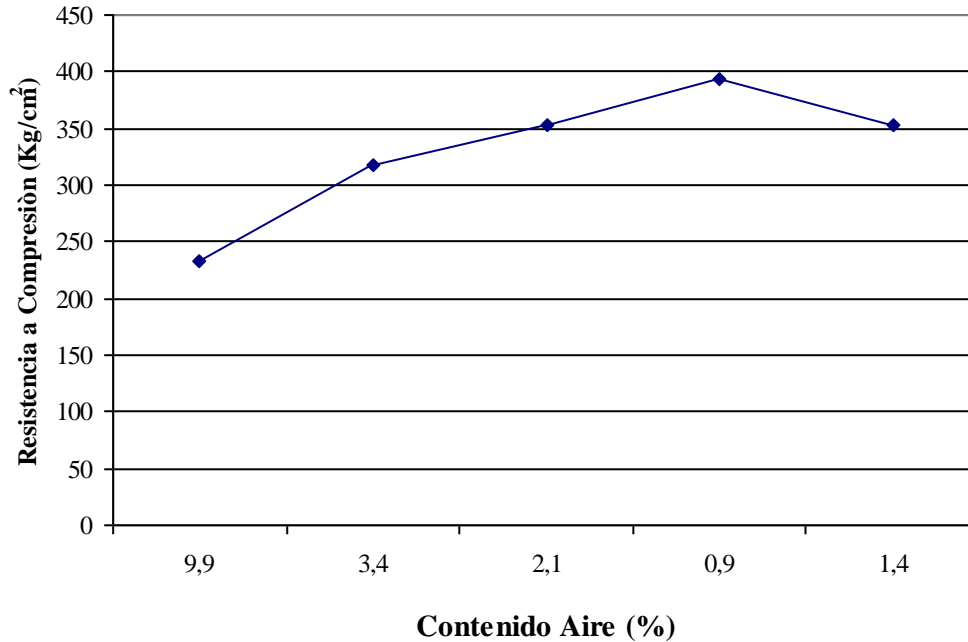
- El mayor contenido de aire es de 12.3% sin utilizar ninguna energía de compactación en los cilindros de concreto.
- Al utilizar una energía de compactación de vibrado para llenar los cilindros de concreto, se encontró que el contenido de aire es del orden de 2.3% y su resistencia a compresión del orden de 288.0 (Kg/cm²). La cual, al ser comparada con la resistencia a compresión obtenida con una energía de compactación de 25 golpes por capa, permite establecer que cuando se aplica vibrado como energía de compactación, la resistencia disminuye.
- El menor contenido de aire fue de 1.8% para los cilindros compactados con 50 golpes por capa, obteniéndose valores de resistencia altos.

Tabla 37. Relación entre la resistencia a compresión y el contenido de aire, para la mezcla de alta resistencia.

Molde N°	Energía de Compactación por capa	Contenido de Aire (%)	Promedio Contenido de Aire (%)	Rc=P/A Promedio (kg/cm ²)
1	Sin compactar	10.0	9.9	232.7
2	Sin compactar	9.8		
3	12 golpes	3.2	3.4	316.8
4	12 golpes	3.5		
5	25 golpes	2.2	2.1	352.9
6	25 golpes	2.0		
7	50 golpes	0.8	0.9	393.8
8	50 golpes	1.0		
9	Vibrado	1.2	1.4	352.4
10	Vibrado	1.6		

En la Figura 19 se presenta la relación entre la resistencia a compresión para la mezcla de alta resistencia y su contenido de aire.

Figura 19. Relación entre la resistencia a compresión y el contenido de aire, para la mezcla de alta resistencia.



Al analizar la resistencia a compresión y el contenido de aire, en la mezcla de alta resistencia, se observa que:

- El menor contenido de aire fue de 0.9%, para los cilindros compactados con 50 golpes por capa obteniéndose los valores de resistencia a compresión de 393.8 (Kg/cm²).
- El mayor contenido de aire es de 9.9% para los cilindros sin compactar.
- Al utilizar una energía de compactación de vibrado para llenar los cilindros de concreto, se encontró que el contenido de aire es del orden de 1.4% y su resistencia a compresión del orden de 352.4 (Kg/cm²). La cual, al ser comparada con la resistencia a compresión obtenida con una energía de compactación de 25 golpes por capa, permite establecer que cuando se aplica vibrado como energía de compactación, la resistencia disminuye.

Al observar los resultados de las tres mezclas se puede concluir que:

- El mayor contenido de aire se presenta en los cilindros que no se aplicó ninguna energía de compactación, obteniendo así valores de resistencia a compresión para el concreto bajos.
- A medida que disminuye el contenido de aire, aumenta la resistencia a compresión, esto se observa hasta cuando se aplica a los cilindros de concreto una energía de compactación de 50golpes por capa.
- Al comparar la energía de compactación de vibrado con una energía de compactación de 25 golpes por capa. Se observa que la resistencia a compresión del concreto para una energía de compactación de vibrado disminuye.

5.2 EN LAS VIGAS DE CONCRETO

5.2.1 Efecto de la Energía de Compactación Sobre la Resistencia a la Flexión o Modulo de Rotura

El efecto de la energía de compactación sobre la resistencia a la flexión en vigas de concreto se presenta en la Figura 20, Figura 21 y Figura 22.

Figura 20. Relación entre la energía de compactación y el módulo de rotura para la mezcla de baja resistencia.

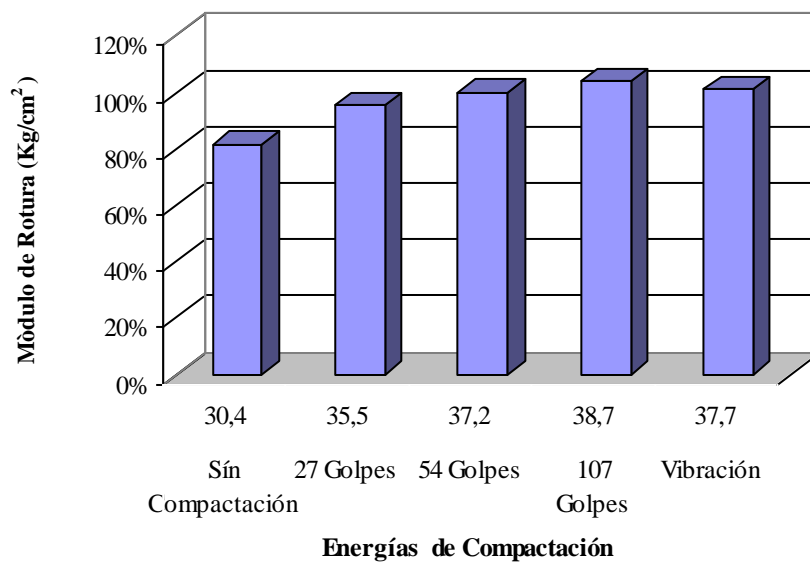


Figura 21. Relación entre la energía de compactación y el módulo de rotura para la mezcla de mediana resistencia.

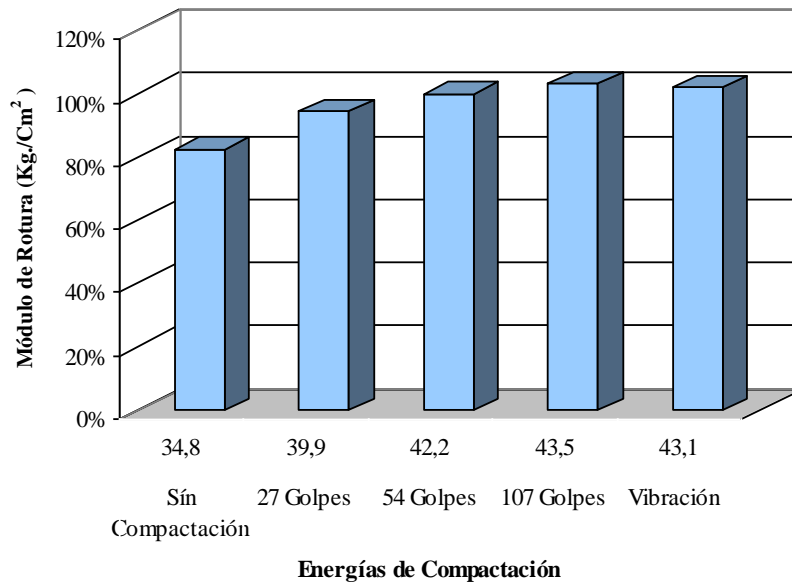
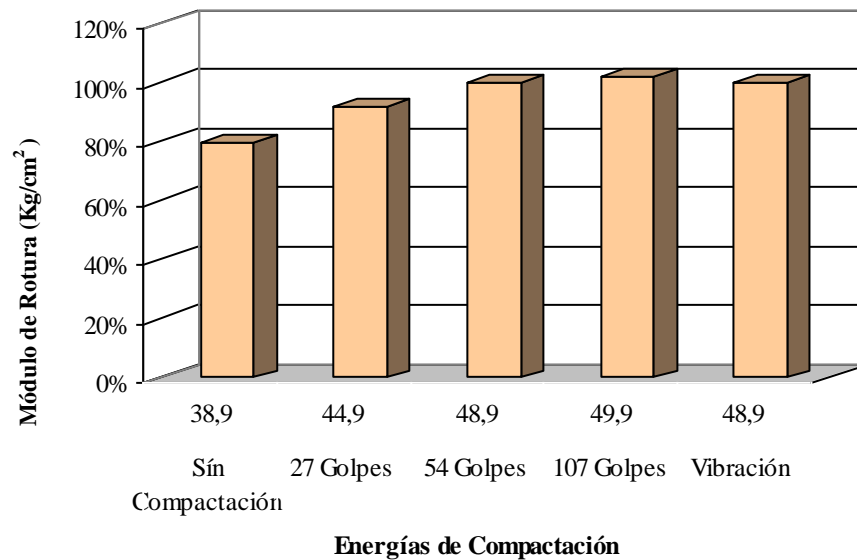


Figura 22. Relación entre la energía de compactación y el módulo de rotura para la mezcla de alta resistencia.



NOTA. Los valores presentados en la parte inferior de las Figura 20, Figura 21, y Figura 22 Son los módulos de rotura de las mezclas de baja, mediana, y alta resistencia.

Al analizar el efecto de la energía de compactación sobre la resistencia a la flexión o Modulo de Rotura en la tres mezclas se puede concluir que: La resistencia a la flexión obtenida con una energía de compactación de 54 golpes por capa (recomendada por la norma), se tomó como el 100% de la resistencia esperada, como se puede observar en la Figura 20, Figura 21 y Figura 22.

- Cuando no se aplica ninguna energía de compactación en los diferentes moldes (vigas), se presenta valores de 80% a 85% de la resistencia a la flexión del concreto respecto a la energía de compactación tomada como referencia, presentándose en dichas vigas, una gran cantidad de aire atrapado, teniendo como consecuencia una poca adherencia entre agregados y una relación masa/volumen baja.
- Para una energía de compactación de 27 golpes por capa, se tiene una resistencia a la flexión entre el 90% - 95% de la resistencia a la flexión obtenida, cuando se compactan las vigas con 54 golpes por capa.
- Se observa que a medida que se incrementan el número de golpes se presenta una disminución de los vacíos en las vigas, llevando esto a un aumento progresivo de la resistencia a la flexión, por un mejor ordenamiento entre partículas, y una mejor relación masa/volumen.
- De las gráficas se observa que cuando se aplica una energía de compactación de 107 golpes en las vigas de concreto para las tres mezclas, se obtiene una resistencia a la flexión entre 100%-104% de la resistencia a flexión obtenida cuando se compactan las vigas con 54 golpes por capa.

- Cuando se aplica una energía de compactación de vibrado para las tres mezclas en las vigas de concreto, se obtienen valores cercanos al 100% de la resistencia a flexión obtenida cuando se compactan las vigas con 54 golpes por capa, de lo cual se esperaba que fuese mayor, por lo que, se considera que tal vez se presentó sobre vibración.

5.3 CORRELACION ENTRE LA RESISTENCIA A COMPRESION DE LOS CILINDROS Y EL MODULO DE ROTURA DE LAS VIGAS.

Como se menciona en la literatura referida a mezclas de concreto, el módulo de rotura y la resistencia a la compresión de los cilindros de concreto tienen una relación proporcional, presentando así una tendencia parabólica.

Cuando no se disponen de datos del módulo de rotura, se considera que este varía entre un 10% y 20% de la resistencia a la compresión. El módulo de rotura y la resistencia a compresión del concreto están relacionados mediante la siguiente expresión:

$$MR = K \times \sqrt[2]{Rc}$$

Donde:

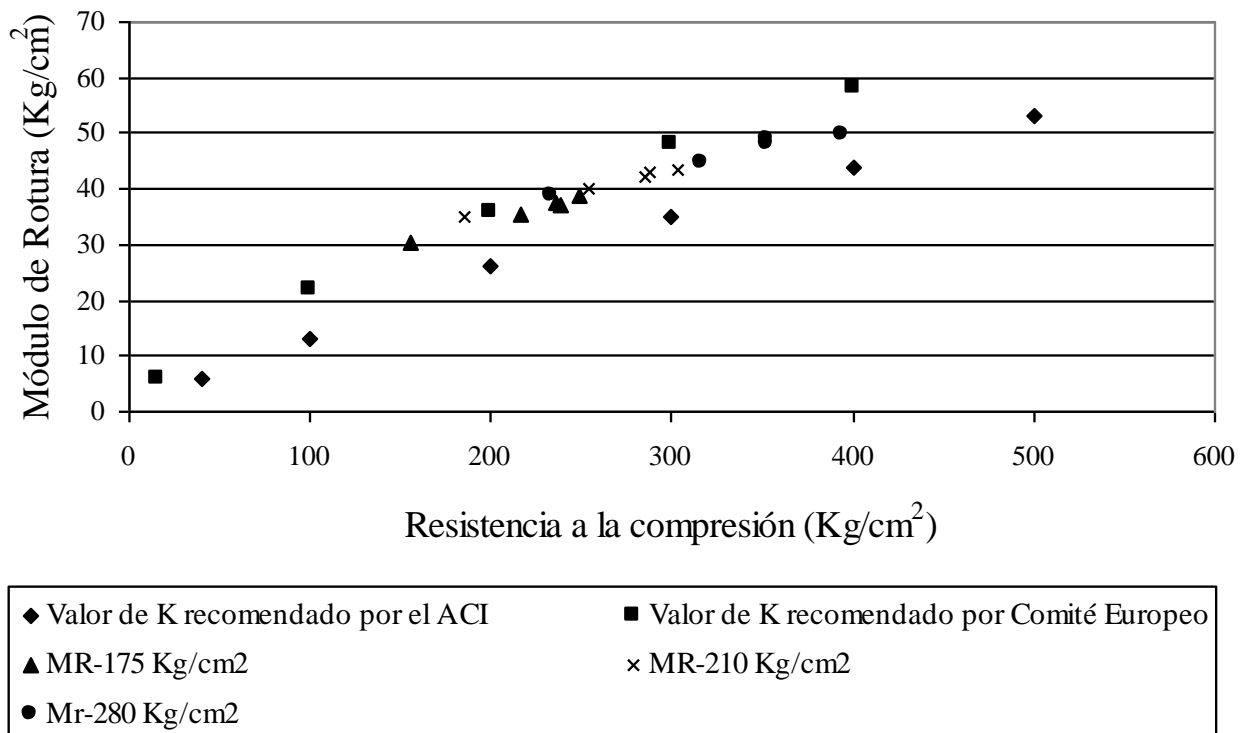
MR = módulo rotura del concreto en Mpa

Rc = resistencia a la compresión del concreto en Mpa

K = constante que varía normalmente entre 2.0 y 2.7

En la Figura 23 . Se presenta la variación del módulo de rotura y la resistencia a compresión para las tres mezclas; con los valores de la constante K recomendados por el ACI y Comité Europeo.

Figura 23. Variación entre la resistencia a la compresión y el módulo de rotura.



De la Figura 23. Se observa que:

- Se presenta la correlación entre el modulo de rotura y la resistencia a compresión recomendados por el ACI y el Comité Europeo. El ACI recomienda un k de 2.0, dado por la expresión $MR = 2.0 \times \sqrt[3]{Rc}$, y el Comité Europeo aconseja un k de 2.5, cuya expresión está dada por $MR = 2.5 \times \sqrt[3]{Rc}$.
- La variación entre el módulo de rotura y la resistencia a compresión del concreto para las 3 mezclas, están comprendidas entre los rangos recomendado por el ACI y el Comité Europeo.

- La variación entre el módulo de rotura y la resistencia a compresión del concreto para las 3 mezclas presentan una tendencia lineal comparado con lo recomendado por el ACI y el Comité Europeo.

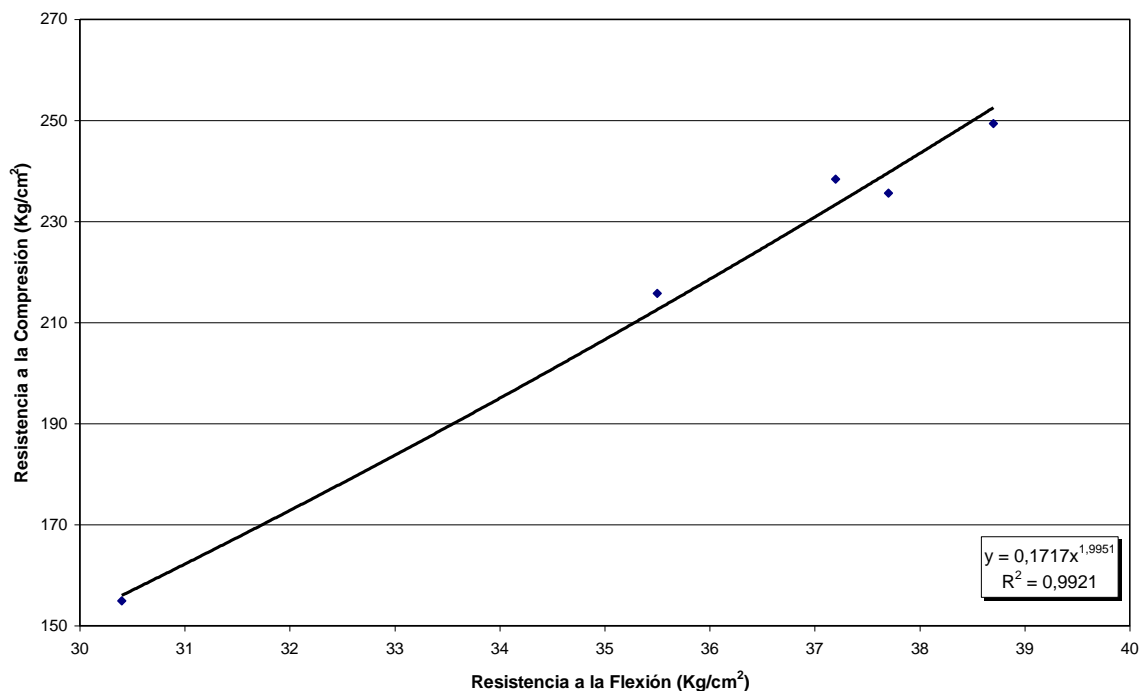
5.3.1 Correlación entre la resistencia a flexión y la resistencia a compresión a los 28 días para la mezcla de baja resistencia.

En la Tabla 38 se presenta los cálculos correspondientes para la determinación del valor de K y su respectiva regresión, en la Figura 24 se presenta la correlación entre el modulo de rotura y la resistencia a la compresión para la mezcla de baja resistencia con una tendencia lineal que tiende un poco hacia la curva recomendada por el ACI, donde dicha mezcla tiene un valor de k del orden de 2.44, esto para los valores de resistencia a la compresión comprendidos entre 154.9 a 235.6 Kg/cm², y módulos de rotura de 30.4 a 37.7 Kg/cm², y con una coeficiente de correlación (r) estándar del orden de 0.99.

Tabla 38. Correlación entre el módulo de rotura y la Resistencia a la compresión, a los 28 días.

Nº	Mr28dias (Kg/cm ²)	Rc28dias (Kg/cm ²)	$\sqrt{RC28dias}$	Mr calculado (Kg/cm ²)	(Mr28dias- Mr calculado) ²
1	30.4	154.9	12.45	30.38	0.0004
2	35.5	215.8	14.59	35.60	0.01
3	37.2	238.4	15.44	37.67	0.221
4	38.7	249.4	15.79	38.53	0.029
5	37.7	235.6	15.35	37.45	0.063
Σ	179.5		73.62	179.63	0.323
	S _N = 3.28				

Figura 24. Relación entre la resistencia a flexión y la resistencia a compresión para la mezcla de baja resistencia.



Los cálculos realizados para el coeficiente de correlación (r) estándar, y la correlación entre la resistencia a flexión a los 28 días y la resistencia a compresión para la mezcla de baja resistencia se presenta en el anexo N° 5.

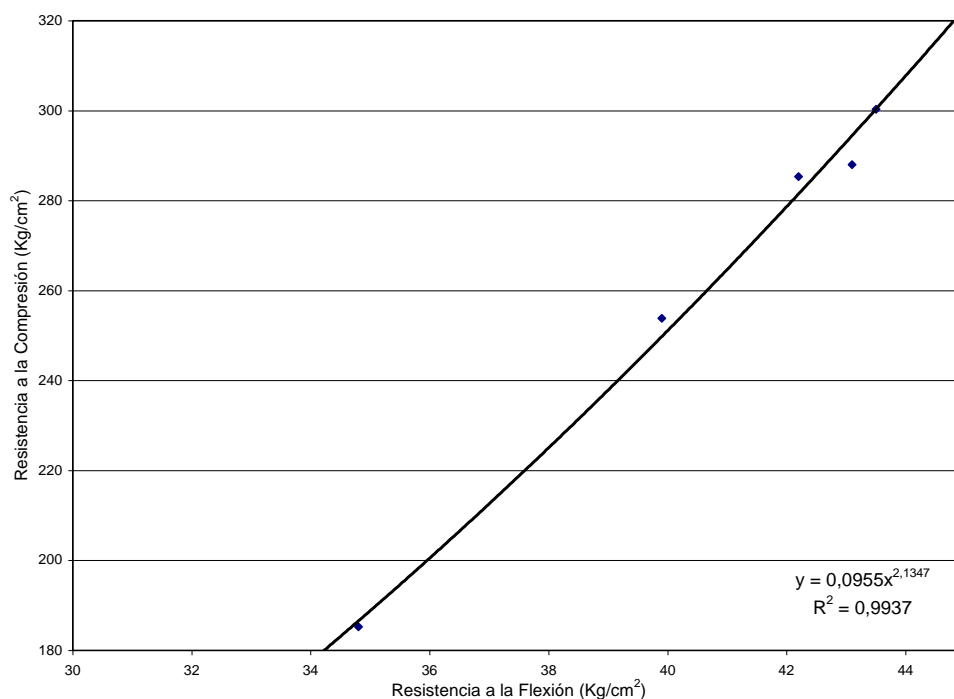
5.3.2 Correlación entre la resistencia a flexión y la resistencia a compresión a los 28 días para la mezcla de mediana resistencia.

En la Tabla 39 se presenta los cálculos correspondientes para la determinación del valor de K y su respectiva regresión, en la Figura 25 se presenta la correlación entre el modulo de rotura y la resistencia a la compresión para la mezcla de mediana resistencia con una tendencia lineal que tiende un poco hacia la curva recomendada por el ACI, donde dicha mezcla tiene un valor de k del orden de 2.52, esto para los valores de resistencia a la compresión comprendidos entre 185.2 a 288.0 Kg/cm², y módulos de rotura de 34.8 a 43.1 Kg/cm², con un coeficiente de correlación (r) estándar del orden de 0.99.

Tabla 39. Correlación entre el módulo de rotura y la Resistencia a la compresión a los 28 días.

Nº	Mr28días (Kg/cm ²)	Rc28días (Kg/cm ²)	$\sqrt{RC28días}$	Mr calculado (Kg/cm ²)	(Mr28días- Mr calculado) ²
1	34.8	185.2	13.61	34.30	0.25
2	39.9	253.8	15.93	40.14	0.058
3	42.2	285.3	16.89	42.56	0.13
4	43.5	300.3	17.33	43.68	0.032
5	43.1	288.0	16.97	42.78	0.10
Σ	203.5		80.73	203.46	0.57
	S _N = 3.58				

Figura 25. Relación entre la resistencia a flexión y la resistencia a compresión para la mezcla de mediana resistencia.



Los cálculos realizados para el coeficiente de correlación (r) estándar, y la correlación entre la resistencia a flexión a los 28 días y la resistencia a compresión para la mezcla de mediana resistencia se presenta en el anexo N° 5.

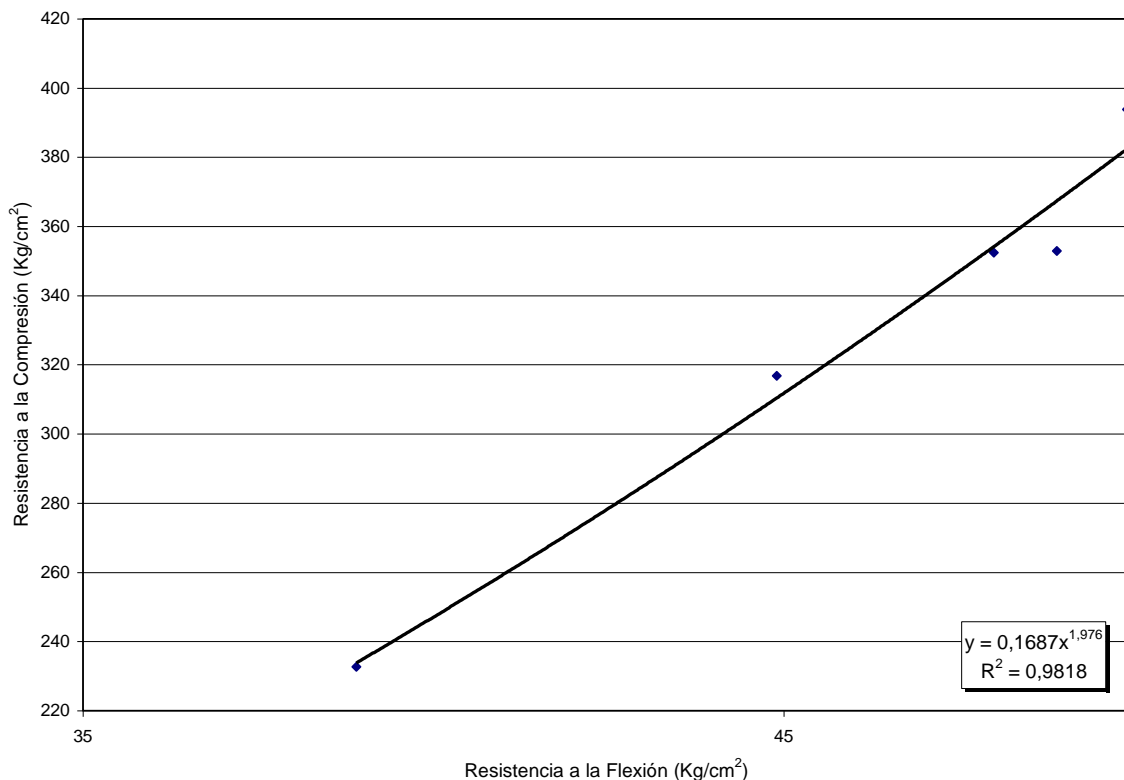
5.3.3 Correlación entre la resistencia a flexión y la resistencia a compresión a los 28 días para la mezcla de alta resistencia.

En la Tabla 40 se presenta los cálculos correspondientes para la determinación del valor de K y su respectiva regresión, en la Figura 26. Se presenta la correlación entre el modulo de rotura y la resistencia a la compresión para la mezcla de alta resistencia con una tendencia lineal que tiende un poco hacia la curva recomendada por el ACI, donde dicha mezcla tiene un valor de k del orden de 2.55, esto para los valores de resistencia a la compresión comprendidos entre 232.7 a 352.4 Kg/cm², y módulos de rotura del orden de 38.9 a 48.0 Kg/cm² y con un coeficiente de correlación (r) estándar del orden de 0.99.

Tabla 40. Correlación entre el modulo de rotura y la Resistencia a la compresión a los 28 días.

N°	Mr28días (Kg/cm ²)	Rc28días (Kg/cm ²)	$\sqrt{RC28días}$	Mr calculado (Kg/cm ²)	(Mr28días- Mr calculado) ²
1	38.9	232.7	15.25	38.88	0.0004
2	44.59	316.8	17.79	45.36	0.59
3	48.9	352.9	18.78	47.88	1.04
4	49.9	393.8	19.84	50.60	0.49
5	48.0	352.4	18.77	47.86	0.019
Σ	230.6		90.43		1.76
	S _N = 4.45				

Figura 26. Relación entre la resistencia a flexión y la resistencia a compresión para la mezcla de alta resistencia



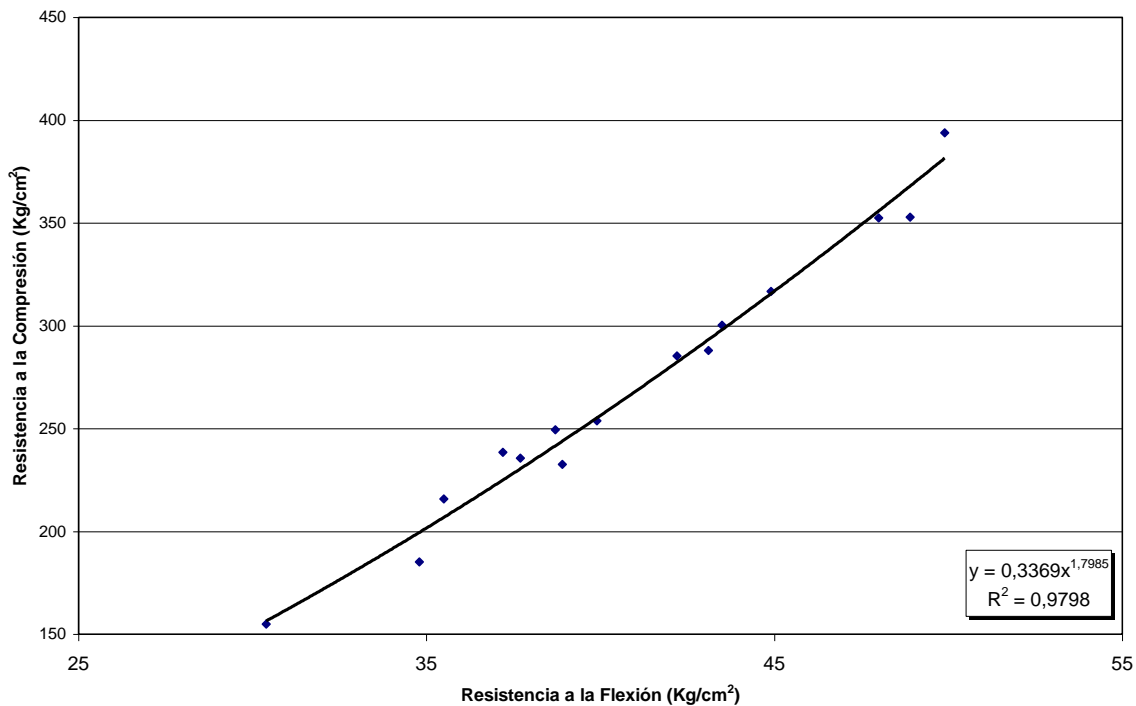
Los cálculos realizados para el coeficiente de correlación (r) estándar, y la correlación entre la resistencia a flexión a los 28 días y la resistencia a compresión para la mezcla de alta resistencia se presenta en el anexo N° 5.

En la Tabla 41 se presentan los cálculos correspondientes para la determinación del valor de K y su respectivo coeficiente de correlación (r), en la Figura 27 se observa la correlación entre el modulo de rotura y la resistencia a la compresión para las tres mezclas, se observa que la tendencia es lineal y tiende un poco hacia la curva recomendada por el ACI, donde se tiene un valor de k del orden de 2.51, esto para los valores de resistencia a la compresión comprendidos entre 154.9 a 352.4 Kg/cm², y módulos de rotura del orden de 30.4 a 48.0 Kg/cm² y con un coeficiente de correlación (r) estándar del orden de 0.98.

Tabla 41. Correlación entre el modulo de rotura y la Resistencia a la compresión, a los 28 días para las tres mezclas.

Nº	Mr28días (Kg/cm ²)	Rc28días (Kg/cm ²)	$\sqrt{RC28días}$	Mr calculado (Kg/cm ²)	(Mr28días- Mr calculado) ²
1	30.4	154.9	12.45	30.38	0.0004
2	35.5	215.8	14.59	35.60	0.01
3	37.2	238.4	15.44	37.67	0.221
4	38.7	249.4	15.79	38.53	0.029
5	37.7	235.6	15.35	37.45	0.063
6	34.8	185.2	13.61	34.30	0.25
7	39.9	253.8	15.93	40.14	0.058
8	42.2	285.3	16.89	42.56	0.13
9	43.5	300.3	17.33	43.68	0.032
10	43.1	288.0	16.97	42.78	0.10
11	38.9	232.7	15.25	38.88	0.0004
8	44.9	316.8	17.79	45.36	0.212
9	48.9	352.9	18.78	47.88	1.04
10	49.9	393.8	19.84	50.60	0.49
11	48.0	352.4	18.77	47.86	0.019
Σ	613.6		244.78		2.65
	$S_N = 3.77$				

Figura 27. Relación entre la resistencia a flexión y la resistencia compresión para las tres mezclas.



Los cálculos realizados para el coeficiente de correlación (r) estándar, y la correlación entre la resistencia a flexión a los 28 días y la resistencia a compresión para las tres mezclas se presenta en el anexo N° 5.

6 CONCLUSIONES

- Cuando se utiliza una energía de compactación con vibrado en los cilindros de concreto, se observa que los resultados de la resistencia a compresión comparados con los resultados de la resistencia a compresión para una energía de compactación de 25 golpes por capa, tienden a ser muy similares.
- Al analizar los resultados de la resistencia a compresión de los cilindros de concreto para las tres mezclas, y la influencia de la energía de compactación en esta, se observa que cuando se emplea energías de compactación de 50 golpes por capa, se presenta una mayor resistencia a la compresión, para un asentamiento entre 2.5-7.5cm.
- La resistencia a compresión es inversamente proporcional al contenido de aire o sea que a mayor contenido de aire, menor será el valor de la resistencia a compresión, para mezclas con un asentamiento entre 2.5-7.5cm.
- Al analizar la relación entre el modulo de rotura y la energía de compactación en las vigas, se observó que, para una energía de compactación de 107 golpes por capa se presenta un mayor módulo de rotura, para mezclas con un asentamiento entre 2.5-7.5cm.
- Al analizar los resultados de la resistencia a compresión de los cilindros de concreto para las tres mezclas, y la influencia de la energía de compactación en esta, se observa que el mayor contenido de aire se presenta en cilindros de concreto donde no se aplicó ninguna energía de compactación.
- Los valores de la constante (K) que relacionan el Módulo de Rotura y la Resistencia a la compresión, varían entre 2.44 y 2.55. para las tres mezclas analizadas.
- A medida que disminuye el contenido de aire, aumenta la resistencia a compresión, esto se observa hasta cuando se aplica a los cilindros de concreto una energía de compactación de 50golpes por capa.

ANEXOS

6.1 ANEXO 1. CEMENTO

6.1.1 Densidad del cemento Pórtland.

En la Tabla 42 se presenta la información requerida para el cálculo de la densidad del cemento Pórtland

Temperatura de cemento (° C): 20

Fabricante y tipo de cemento: Cemento del Valle tipo I

Tabla 42. Densidad del cemento Pórtland.

Ensayo N°	1	2	3
Peso del cemento (gr)	64	64	64
Lectura inicial (ml)	0.5	0.4	0.4
Lectura final (ml)	22.0	21.8	21.9
Peso específico (gr/ml)	2.98	2.99	2.98
Peso específico promedio (gr/ml)			2.99

Para el cemento se desarrollo como parámetros de control de calidad el tiempo de fraguado cuyos resultados se presentan en la Tabla 43 respectivamente.

6.1.2 Tiempo de fraguado del cemento

Tabla 43. Tiempo de fraguado del cemento.

Tiempo (minutos)	Penetración (mm)
30	40
45	40
60	40
75	39
90	39
105	39
120	39
135	37
150	29
165	9

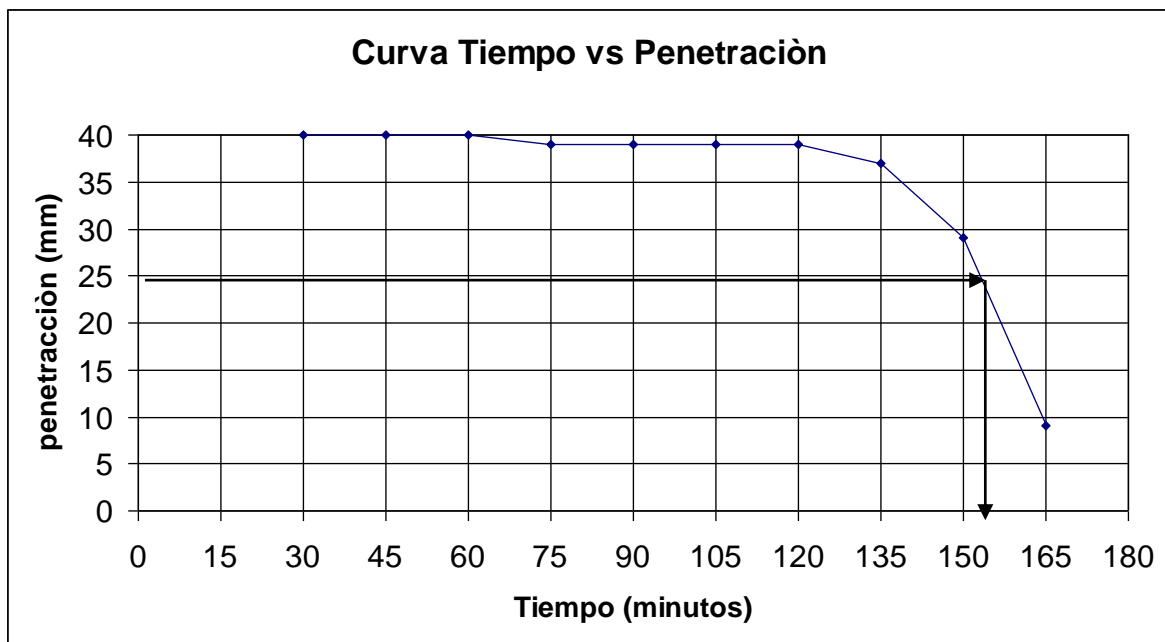
Agua para pasta de consistencia = 24%

Tiempo de fraguado inicial =153min

Tiempo de fraguado final =172min

En la Figura 28 se presenta la curva de tiempo vs. Penetración para establecer los tiempos de fraguado.

Figura 28 . Curva de tiempo vs. Penetración



El ensayo de Finura se desarrolló por dos métodos los cuales fueron el de Blaine y el de tamizado cuyos resultados se presentan en la Tabla 44 respectivamente.

6.1.3 Finura de Blaine

Datos de calibración del equipo

Tiempo entre marcas = 95seg

Superficie especifica = 4500 cm²/gr

Constante del equipo $K = \frac{4500}{\sqrt{95}}$

K=461.69

6.1.4 Datos de ensayo

Tiempo = 43seg

$$S = K \times \sqrt{t}$$

$$S = 461.69 \times \sqrt{43} = 3027.5 \text{ cm}^2 / \text{gr}$$

6.1.5 Finura % pasa # 200

Tabla 44. Finura % pasa # 200

Peso Retenido (G)	Finura (%)
Muestra 1 0.08	99.84
Muestra 2 0.03	99.94
Muestra 3 0.05	99.90
Promedio	99.89

6.2 ANEXO 2. AGREGADOS GRUESOS

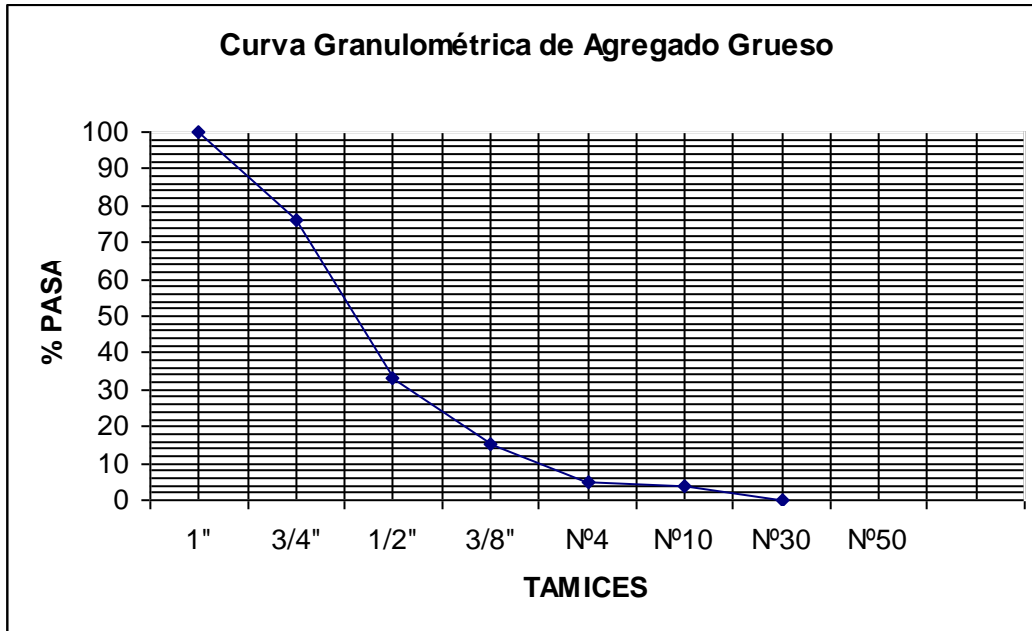
6.2.1 Análisis Granulométrico

El Análisis Granulométrico de los agregados gruesos se presentan en la Tabla 45 y su curva granulométrica se presenta en la Figura 29.

Tabla 45. Granulometría del agregado grueso.

TAMICES	PESO RETENIDO (gr)	% RETENIDO	%RETENIDO ACUMULADO	% PASA
1”	0	0	0	100
3/4 “	762	23.55	24	76
1/2”	1424	44.01	67	33
3/8 ”	568	17.55	85	15
Nº 4	336	10.4	95	5
Nº10	266.5	0.82	96	4
Pasa Nº 10	118.98	3.67	100	0
TOTAL		100		

Figura 29. Curva granulométrica del agregado grueso.



El coeficiente de Uniformidad y de Curvatura para los agregados gruesos se determinó a partir de la curva granulométrica, y sus resultados fueron:

Coeficiente de Uniformidad

$$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} = 2.41$$

Coeficiente de Curvatura

$$C_c = \frac{D_{(30)}^2}{D_{10} * D_{60}} = 1.30$$

6.2.2 Densidad del Agregado Grueso

Los resultados del ensayo de densidad del agregado grueso se presentan en la Tabla 46.

Tabla 46. Ensayo de densidad en agregado grueso.

Ensayo N°	1	2	Promedio
Temperatura de ensayo (°C)	23	22	
Peso muestra sss (W _{sss})	3263	3226	
Peso muestra en el agua (W _a)	2048	2019	
Peso muestra seca (W _s)	3233	3200	
W _s - W _a	1185	1181	
W _{sss} - W _a	1215	1207	
$Densidad\ No\ min\ al = \frac{W_s}{W_s - W_a}$	2.73	2.71	2.72
$Densidad\ Aparente = \frac{W_s}{W_{sss} - W_a}$	2.66	2.65	2.66
$Densidad\ Aparente\ SSS = \frac{W_{sss}}{W_{sss} - W_a}$	2.68	2.67	2.68
$Absorción = \frac{W_{sss} - W_s}{W_s} * 100$	0.93	0.81	0.87

6.2.3 *Peso Unitario*

Los resultados de los ensayos de peso unitario suelto y compacto se presentan en las Tabla 47 y Tabla 48.

Tabla 47. Peso Unitario Suelto del Agregado Grueso.

6.3 ENSAYO N°	1	2	Promedio
Tamaño Máximo Nominal (pulg)	3/4	3/4	
Volumen del Recipiente (V) (dm ³)	13958	13938	
Peso del Material Suelto (P) (Kg)	20124	19945	
Peso Unitario Suelto $\frac{P}{V}$ (Kg / dm ³)	1.441	1.43	
Humedad del material (%)	4	4	
Peso Unitario Seco Suelto (Kg/dm ³)	1.43	1.42	1.43

Tabla 48. Peso unitario compactado Agregado Grueso

6.4 ENSAYO POR MÉTODO DE COMPACTACIÓN	Apisonado		Promedio
Volumen del Recipiente (V) (dm ³)	13958	13958	
Peso del Material Suelto (P) (Kg)	21442	21440	
Peso Unitario Suelto $\frac{P}{V}$ (Kg / dm ³)	1.54	1.54	
Humedad del material (%)	4	4	
Peso Unitario Seco Suelto (Kg./dm ³)	1.51	1.52	1.52

6.2.4 Índice de Aplanamiento y Alargamiento del Agregado Grueso.

Los índices de aplanamiento y alargamiento para los agregados gruesos se presentan en las Tabla 49 y Tabla 50 respectivamente, los cuales son parámetros de control de calidad.

Tabla 49. Índice de aplanamiento.

Tamaños	Peso inicial (gr.)	Peso pasante en la abertura (gr.)	% part. Laminas $\frac{\text{Peso Pasante}}{\text{Peso Inicial}} * 100$	Corrección del Método	
				Granul. Original % ret	$\frac{\% \text{ de Part. Lamiar} * \% \text{ Ret}}{\Sigma \% \text{ Ret}}$
2 1/2"-2"					
2"-1 1/2"					
1 1/2"- 1"					
1" - 3/4"	2467	439	17.6	40.68	6.9
3/4"-1/2"	1417	108	7.62	40.29	3
1/2"-3/8"	421	82	1.95	15.1	0.3
3/8"-1/4"	123.4	93	75.4	6.07	4.5
Índice de Aplanamiento					14.7

Tabla 50. Índice de alargamiento.

Tamaños	Peso inicial (gr.)	Peso pasante en la abertura (gr.)	% part. Largas $\frac{\text{Peso Pasante}}{\text{Peso Inicial}} * 100$	Corrección del Método	
				Granul. Original % ret	$\frac{\% \text{ de Part. Lamiar} * \% \text{ Ret}}{\Sigma \% \text{ Ret}}$
2 1/2"-2"					
2"-1 1/2"					
1 1/2"- 1"					
1" - 3/4"	2467	153	6.20	40.68	2.5
3/4"-1/2"	1417	552.3	46	40.29	18.1
1/2"-3/8"	421	158.3	37.6	15.1	5.5
3/8"-1/4"	123.4	76.2	61.8	6.07	3.6
Índice de Aplanamiento					29.6

6.3 ANEXO 3. AGREGADOS FINOS

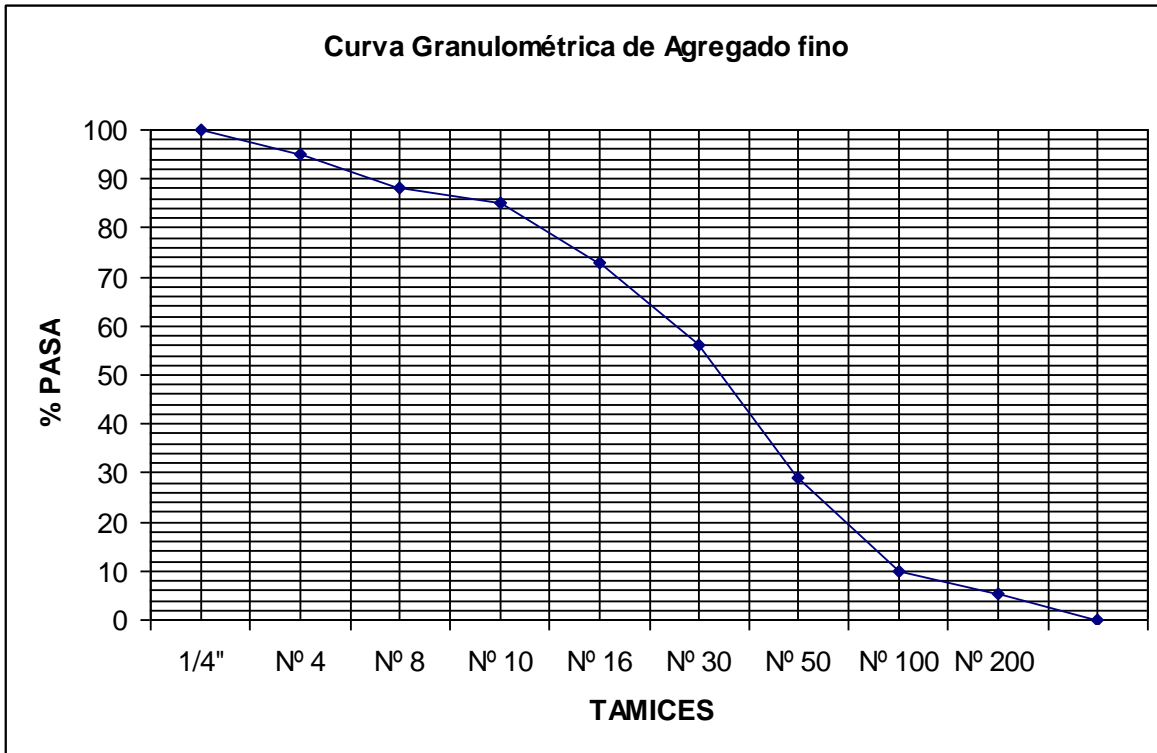
6.3.1 Granulometría

El Análisis Granulométrico de los agregados finos se presentan en la Tabla 51 y su curva granulométrica se presenta en la Figura 30.

Tabla 51. Granulometría de agregado fino.

Tamices	Peso Retenido (gr.)	% Retenido	%Retenido Acumulado	% Pasa
1/4"	0	0	0	100
Nº 4	67.30	5	5	95
Nº 8	79.30	6	12	88
Nº 10	39.60	3	15	85
Nº 16	147.10	12	27	73
Nº 30	202.40	16	44	56
Nº 50	336.40	27	71	29
Nº 100	240.90	20	90	10
Nº 200	52.90	4.30	94.79	5.21
Pasa Nº 200	64.10	5.21	100	0

Figura 30. Curva granulométrica de agregados finos.



6.3.2 Peso Específico.

Los resultados del ensayo de Peso Específico del agregado fino se presentan en la Tabla 52.

Tabla 52. Peso específico Agregado Fino.

Ensayo N°	1	2	Promedio
Temperatura del ensayo (°C)	24	24	
Peso muestra saturada superficialmente (W _{ss}) (gr)	269.80	290.49	
Peso matraz+agua (W _{ma}) (gr)	651.10	646.90	
Peso matraz +agua+muestra (W _{mam}) (gr)	817.40	825.90	
Peso de la muestra seca (W _s) (gr)	263.70	284.40	
$Densidad\ nominal = \frac{W_s}{W_s + W_{ma} - W_{mam}}$	2.71	2.70	2.71
$Densidad\ aparente = \frac{W_s}{W_{ss} + W_{ma} - W_{mam}}$	2.55	2.55	2.55
$Densidad\ aparente_{ss} = \frac{W_{sss}}{W_{sss} + W_{ma} - W_{mam}}$	2.61	2.61	2.61
$Absorcion = \frac{W_{sss} - W_s}{W_s} \times 100$	2.31	2.14	2.23

6.3.3 Equivalente de Arena

El estado de humedad del material para el ensayo de equivalente de arena fue seca al aire.

Los cálculos de la humedad del material se presentan en la Tabla 53.

Tabla 53. Equivalente de arena.

Ensayo N°	1	2	Promedio
Lectura del nivel de arena (LS)	3	3	
Lectura del nivel de arcilla (LC)	7	6	
$Equivalente\ de\ arena = \frac{Ls}{Lc} \times 100$	42.9	50	46.45

6.3.4 Peso Unitario Suelto Agregado Fino

Los valores de los parámetros utilizados y el resultado del peso unitario suelto del agregado fino se presentan en la Tabla 54, los correspondientes al peso unitario compacto se presentan en la Tabla 55.

Tabla 54. Peso unitario suelto Agregado Fino.

Ensayo N°	1	2	3	4	5
Peso del molde (Wm) (gr)	4704	4704	4704	4704	4704
Diámetro del molde (Dm) (cm)	15.2	15.2	15.2	15.2	15.2
Altura del molde (Hm) (cm)	15.7	15.7	15.7	15.7	15.7
Volumen del molde (Vm) (cm ³)	2849	2849	2849	2849	2849
Peso del molde +muestra (Wmm) (gr)	8713	8821	8881	8910	8993
Peso de la muestra (Wm) (gr)	4009	4117	4177	4206	4289
Peso unitario de la muestra (γ_d) (gr/cm ³)	1.41	1.45	1.47	1.48	1.51
Peso unitario suelto = $\gamma_d = 1.46$ (gr/cm³)					

Tabla 55. Peso unitario Compacto Agregado Fino

Ensayo N°	1	2	3	4	5
Peso del molde (Wm) (gr)	4704	4704	4704	4704	4704
Diámetro del molde (Dm) (cm)	15.2	15.2	15.2	15.2	15.2
Altura del molde (Hm) (cm)	15.7	15.7	15.7	15.7	15.7
Volumen del molde (Vm) (cm ³)	2849	2849	2849	2849	2849
Peso del molde +muestra (Wmm) (gr)	9471	9537	9571	9618	9638
Peso de la muestra (Wm) (gr)	4767	4833	4867	4914	4934
Peso unitario de la muestra (γ_d) (gr/cm ³)	1.67	1.7	1.71	1.72	1.73
Peso unitario compacto $\gamma_d = 1.71(\text{gr/cm}^3)$					

6.4 ANEXO 4. HUMEDADES

Humedad de material

6.4.1 *Humedad del Material para mezcla de baja resistencia.*

En la Tabla 56 y Tabla 57 se presentan los valores de humedad para los materiales de la mezcla de baja resistencia, donde se calcularon por la siguiente expresión.

$$\text{Humedad (\%)} = \frac{(P1 - P2)}{(P2 - P3)} \times 100$$

Tabla 56. Humedad de agregado fino para mezcla de baja resistencia.

	Muestra 1	Muestra 2	
Peso húmedo (P1) (gr)	2008.79	2068.43	PROMEDIO
Peso seco (P2) (gr)	1924.79	1981.20	
Peso recipiente (P3) (gr)	118.13	121.27	
Humedad (%)	4.65	4.68	4.67

Tabla 57. Humedad de agregado grueso para mezcla de baja resistencia.

	Muestra 1	Muestra 2	
Peso húmedo (P1) (gr)	3626	3453	PROMEDIO
Peso seco (P2) (gr)	3546	3381	
Peso recipiente (P3) (gr)	187.58	191.43	
Humedad (%)	2.38	2.26	2.32

6.4.2 Humedad del Material para mezcla de alta resistencia.

En la Tabla 58 y Tabla 59 se presentan los valores de humedad para los materiales de la mezcla de alta resistencia, donde se calcularon por la siguiente expresión.

$$\text{Humedad (\%)} = \frac{(P1 - P2)}{(P2 - P3)} \times 100$$

Tabla 58. Humedad de agregado fino para mezcla de alta resistencia.

	Muestra 1	Muestra 2	
Peso húmedo (P1) (gr)	2080.0	2108.0	PROMEDIO
Peso seco (P2) (gr)	1971.0	1998.0	
Peso recipiente (P3) (gr)	106.0	119.0	
Humedad (%)	5.8	5.85	5.82

Tabla 59. Humedad de agregado grueso para mezcla de alta resistencia.

	Muestra 1	Muestra 2	
Peso húmedo (P1) (gr)	3683.0	3875.0	PROMEDIO
Peso seco (P2) (gr)	3619.0	3805.0	
Peso recipiente (P3) (gr)	193.0	150.0	
Humedad (%)	1.86	1.92	1.89

6.4.3 Humedad del Material para mezcla de mediana resistencia.

En la Tabla 60 y Tabla 61 y se presentan los valores de humedad para los materiales de la mezcla de mediana resistencia, donde se calcularon por la siguiente expresión.

$$\text{Humedad (\%)} = \frac{(P1 - P2)}{(P2 - P3)} \times 100$$

Tabla 60. Humedad de agregado fino para mezcla de mediana resistencia.

	Muestra 1	Muestra 2	
Peso húmedo (P1) (gr)	2014.9	2090.3	PROMEDIO
Peso seco (P2) (gr)	1930.0	1982.0	
Peso recipiente (P3) (gr)	118.13	121.27	
Humedad (%)	4.68	5.82	5.24

Tabla 61. Humedad de agregado grueso para mezcla de mediana resistencia.

	Muestra 1	Muestra 2	
Peso húmedo (P1) (gr)	3624.1	3450.4	PROMEDIO
Peso seco (P2) (gr)	3546.0	3390.0	
Peso recipiente (P3) (gr)	187.5	191.5	
Humedad (%)	2.32	1.89	2.11

6.5 ANEXO 5. CORRELACIÓN ENTRE EL MODULO DE ROTURA A LOS 28 DÍAS Y RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN A LOS 28 DÍAS.

6.5.1 Correlación entre la resistencia a flexión a los 28 días y la resistencia a compresión para la mezcla de baja resistencia.

$$K = \frac{\sum Mr}{\sum \sqrt{Rc_{28\text{días}}}} = \frac{179.5}{73.62} = 2.44$$

$$Mr_{\text{calculado}} = K \sqrt{Rc_{28\text{días}}}$$

$$Mr_{\text{calculado}} = 2.44 \sqrt{Rc_{28\text{días}}}$$

$$S^2_{yx} = \frac{\sum (Mr_{28\text{días}} - Mr_{\text{calculado}})^2}{n} = \frac{0.323}{5} = 0.065$$

$$r = \sqrt{1 - \left(\frac{0.065}{3.285^2}\right)} = 0.99$$

6.5.2 Correlación entre la resistencia a flexión a los 28 días y la resistencia a compresión para la mezcla de mediana resistencia.

$$K = \frac{\sum Mr}{\sum \sqrt{Rc_{28\text{días}}}} = \frac{230.6}{90.43} = 2.55$$

$$Mr_{\text{calculado}} = K \sqrt{Rc_{28\text{días}}}$$

$$Mr_{\text{calculado}} = 2.55 \sqrt{Rc_{28\text{días}}}$$

$$S^2_{yx} = \frac{\sum (Mr_{28\text{días}} - Mr_{\text{calculado}})^2}{n} = \frac{1.76}{5} = 0.352$$

$$r = \sqrt{1 - \left(\frac{0.352}{4.45^2}\right)} = 0.99$$

6.5.3 Correlación entre la resistencia a flexión a los 28 días y la resistencia a compresión para la mezcla de alta resistencia.

$$K = \frac{\sum Mr}{\sum \sqrt{Rc28dias}} = \frac{613.6}{244.78} = 2.51$$

$$Mr_{calculado} = K \sqrt{Rc28dias}$$

$$Mr_{calculado} = 2.51 \sqrt{Rc28dias}$$

$$S^2_{yx} = \frac{\sum (Mr_{28dias} - Mr_{calculado})^2}{n} = \frac{2.65}{5} = 0.53$$

$$r = \sqrt{1 - \left(\frac{0.53}{3.77^2}\right)} = 0.98$$

7 FICHA TECNICA DEL ADITIVO

8 BIBLIOGRAFIA

1. ASOCRETO. Determinación del Módulo de Elasticidad del Concreto. Revista: Noticreto N° 77. 2006
2. CALABERA, José; FERNANDEZ, Jaime; GARBITO, Claudia. El Refrentado de Cilindros y la Resistencia a la Compresión. Revista: Noticreto N° 77
3. Norma ICONTEC. 221G
4. RIVERA, Gerardo. Concreto Simple.
5. RIVERA, Gerardo; RUIZ, Julia. Comportamiento de Mezclas de Concreto.
6. SANCHEZ, Diego. Tecnología del Concreto y el Mortero.

